

Изобретение относится к радиоизмерительной технике и предназначено для измерений проходящей или падающей мощности больших уровней в передающих трактах

радиопередатчиков, радиолокационных станций, ускорителей, испытательных стендов.

Наиболее близким к заявляемому полноволновому ваттметру по совокупности признаков является устройство для измерения мощности СВЧ [1]. Устройство состоит из отрезка прямоугольного волновода и датчика давления электромагнитного поля, выполненного в виде высокочувствительного механотронного преобразователя, на штыре которого жестко укреплена плоская металлическая пластина, встроенная в стенку волновода.

В указанном устройстве переменная составляющая погрешности рассогласования при измерении проходящей мощности достигает больших значений в полосе частот из-за, во-первых, наличия только одной металлической пластины, во-вторых, расположения пластины на узкой стенке волновода, в-третьих, неизвестных размеров пластины и ее положения на стенке. На узкой стенке поперечные составляющие электромагнитного поля основного типа волны равны нулю. Давление на узкую стенку зависит только от продольной составляющей магнитного поля. Сигнал на выходе механотронного преобразователя пропорционален силе, действующей на плоскую металлическую пластину, то есть интегральному эффекту. В рассогласованном волноводе сила давления не будет зависеть от фазы стоячей волны лишь по частоте, на которой длина прямоугольной пластины кратна половине длины волны в волноводе (усредняется одна полуволна стоячей волны). На этой частоте переменная составляющая погрешности рассогласования равна нулю, а с изменением частоты резко возрастает. При произвольном выборе длины металлической пластины, особенно меньше половины длины волны в волноводе, переменная составляющая погрешности рассогласования достигает неприемлемых для практики значений, ограничивающих область применения рассматриваемого устройства. Например, в максимальной рабочей полосе частот прямоугольного волновода  $\pm 20\%$  переменная составляющая погрешности достигает  $\Delta = \pm 19\%$  при коэффициенте стоячей волны не более 1,5, если длина металлической пластины выбрана равной половине длины волны в волноводе на средней частоте. В данном случае сила давления и, следовательно, переменная составляющая погрешности рассогласования не зависят от поперечного размера пластины и ее положения на узкой стенке.

В основу изобретения поставлена задача создания волноводного ваттметра, в котором новое расположение двух плоских металлических пластин, встроенных в широкую стенку отрезка прямоугольного волновода, определяемое новым математическим выражением, позволяет уменьшить переменную составляющую погрешности рассогласования в полосе частот и использовать один широкополосный ваттметр вместо нескольких (двух-трех), предназначенных

для эксплуатации в более узких рабочих полосах и обеспечивающих одинаковый предел погрешности рассогласования. Такой технический результат достигается тем, что в волноводный ваттметр, состоящий из отрезка прямоугольного волновода и датчика давления электромагнитного поля, выполненного в виде высокочувствительного механотронного преобразователя, на штыре которого жестко укреплена одна плоская металлическая пластина, установленная в стенке отрезка прямоугольного волновода, согласно изобретению, введена дополнительная плоская металлическая пластина, установленная в стенке отрезка прямоугольного волновода и жестко укрепленная на штыре высокочувствительного механотронного преобразователя, при этом обе плоские металлические пластины выполнены одинаковой длины, установлены в широкой стенке отрезка прямоугольного волновода и смещены друг относительно друга в продольном направлении на расстоянии  $l$  и в поперечном направлении, причем расстояние от ребра волновода до края удаленной металлической пластины определяется по формуле

$$x_2 = \frac{a}{2} \left\{ -\frac{h_2}{a} + \frac{1}{\pi} \arccos \left[ \left( \varphi_f \frac{h_1}{h_2} \cos \frac{\varphi_1 - \varphi_f}{4\pi l / \Lambda} \right) \frac{1}{\varphi_{h_2}} \right] \right\}$$

$$\varphi_f = 1 - \frac{f_{кр}^2}{f^2}$$

при

$$\varphi_1 = \varphi h_1 \cos \pi \left( 2 \frac{x_1}{a} + \frac{h_1}{a} \right)$$

$$\varphi h_1 = \frac{\sin \pi h_1 / a}{\pi h_1 / a}$$

$$\varphi h_2 = \frac{\sin \pi h_2 / a}{\pi h_2 / a}.$$

где  $a$  - размер широкой стенки отрезка прямоугольного волновода;

$h_2$  - поперечный размер удаленной плоской металлической пластины;

$h_1$  - поперечный размер ближайшей плоской металлической пластины;

$\Lambda$  - длина волны в отрезке прямоугольного волновода;

$f_{кр}$  - критическая частота;

$f$  - частота;

$x_1$  - расстояние от ребра волновода до края ближайшей металлической пластины.

Расположение двух плоских металлических пластин, встроенных в широкую стенку волновода со взаимным смещением поперек широкой стенки с выбором расстояния от ребра волновода до края одной из пластин по приведенной формуле, позволило уменьшить в полосе частот переменную составляющую погрешности рассогласования  $\Delta$ . Последнее объясняется тем, что сила давления на каждую из пластин зависит и от продольной составляющей магнитного поля, и от поперечных составляющих электрического и магнитного поля. Узлы (или пучности) продольной и поперечной составляющих электромагнитного

поля в рассогласовании. волноводе сдвинуты относительно друг друга на четверть длины волны в волноводе. При суммировании сил давления обеих пластин зависимость результирующей силы и выходного сигнала механотронного преобразователя от фазы стоячей волны компенсируется, причем выбором размеров  $x_1, x_2, h_1, h_2, l_0, l$  достигается наименьшее влияние фазы в полосе частот. Расположение пластин на разных расстояниях  $x_1, x_2$  от ребра волновода эквивалентно реализации неравномерного амплитудного распределения, причем выбором расстояния  $x_2$  обеспечивается равенство нулю погрешности  $\Delta$  на одной из расчетных частот  $f$  и равенстве двух максимальных значений погрешности в полосе частот, одно из которых достигается на частоте, меньшей  $f$ , а другое - на частоте, большей  $f$ . Равенство двух максимальных значений погрешности в полосе частот является оптимальным вариантом: уменьшение  $f$  приводит к увеличению значений погрешности в максимуме на частоте, большей  $f$ , а увеличение  $f$  - на частоте, меньшей  $f$ . В обоих случаях предел погрешности  $\Delta$  в полосе частот будет возрастать. То есть, минимальное предельное значение переменной составляющей погрешности рассогласования в полосе частот соответствует равенству двух максимальных значений погрешности, достигаемых на двух частотах, одна из которых меньше  $f$ , а другая - больше  $f$ . На частоте  $f$  достигается равенство  $\Delta$  нулю, причем расстояние между пластинами в продольном направлении  $l$ , в зависимости от выбора  $x_1$ , может быть выбрано от 0 до  $0,25 \Lambda$  или больше. Например, для  $x_1 = 0$  при  $f = f_{кр}/0,65$  (примерно средняя частота максимальной рабочей полосы стандартного прямоугольного волновода) получаем  $x_2 = 0$  для  $l = 0,25 \Lambda$  и  $x_2 = 0,145a$  для  $l = 0$ , или  $x_2 = 0,5a$  для  $l = 0,105 \Lambda$ .

На фиг.1 приведен чертеж волноводного ваттметра. На фиг.2 - 5 изображены графики зависимости: эффективного коэффициента отражения от частоты (фиг.2, 4, 5 с указанием относительной полосы частот  $\Delta f/f_{cp} = (f - f_{cp})/f_{cp}$  в процентах) и нормированной координаты  $x_2/a$  от  $x_1/a$  (фиг.3). Здесь и далее  $f_{cp}$  - средняя частота максимальной рабочей полосы частот стандартного прямоугольного волновода  $\pm 20\%$ ;  $| \rho_{эф} | = | \rho_0 | | \rho_x |$  - модуль так называемого эффективного коэффициента отражения, - функции, определяющей зависимость суммарного выходного сигнала механотронного преобразователя от фазы стоячей волны и используемой для расчета переменной составляющей погрешности рассогласования  $\Delta = 2 | \rho_n | | \rho_{эф} | | \rho_p |$  - параметр, определяющий зависимость  $| \rho_{эф} |$  от продольного размера (длины) металлической

пластины  $l_0: | \rho_x |$  - параметр, определяющий зависимость  $| \rho_{эф} |$  от поперечных размеров металлических пластин и их положения на широкой стенке волновода;  $| \rho_n |$  - максимальное значение модуля комплексного коэффициента отражения нагрузки в рабочей полосе частот. Графики на фиг.2, 4, 5 скомпонованы для удобства сравнительного анализа: на фиг.2 - графики для устройства по прототипу с пластиной, встроенной в узкую стенку (кривая "У") и с пластиной, встроенной в широкую стенку при  $h_w = 0,269a, x = 0$  (кривая "Ш"). В обоих случаях  $l_0 = \Lambda_{cp}/2$ , где  $\Lambda_{cp}$  - длина волны в волноводе на средней частоте  $f_{cp}$ ; на фиг.4, 5 - графики для заявляемого волноводного ваттметра давления с пластинами одинаковой ширины  $h_1 = h_2 = 0,1a$ , одинаковой длины  $l_0 = \Lambda_{max}/2$  ( $\Lambda_{max}$  - длина волны в волноводе на нижней граничной частоте  $f_{св} - 20\%$ ) при  $x_1 = 0,3a, l = 0,2085 \Lambda_{cp}, x_2 = 0,45a$  (фиг.4) и при  $x_1 = 0,1a, l = 0, x_2 = 0,1053 a$  (фиг.5).

Волноводный ваттметр содержит отрезок прямоугольного волновода 1 (на фиг.1 представлен вид сверху на широкую стенку), встроенные в его широкую стенку плоские металлические пластины 2, 3, жестко укрепленные на штыре высокочувствительного механотронного преобразователя 4, соединенного с электронным блоком 5. Плоские металлические пластины 2, 3 выполнены одинаковой длины  $l_0$ , смещены вдоль широкой стенки на расстояние  $l$ , имеют поперечные размеры  $h_1, h_2$  и удалены от ребра волновода на расстоянии  $x_1, x_2$ . Механотронный преобразователь 4 представляет собой электронную лампу, управление анодным током которой осуществляется изменением расстояния между анодом и катодом при механическом воздействии на штырь, находящийся вне вакуумного баллона. В электронном блоке 5 предусмотрена схема питания накала лампы, схема индикации, например мостовая схема, к которой подключены оба анода и катод лампы, а также индикаторный прибор.

Волноводный ваттметр работает следующим образом.

При подаче мощности в передающий тракт на стенки отрезка волновода 1, в том числе на плоские металлические пластины 2, 3, действуют силы давления электромагнитного поля. Пластины, а вместе с ними и штырь механотронного преобразователя 4, под действием сил электромагнитного поля отклоняются на расстояние, пропорциональное проходящей и падающей мощности. С отклонением штыря изменяется межэлектродное расстояние между анодами и катодом, что приводит к изменению анодных токов и, например, к разбалансировке мостовой схемы. Уровень мощности фиксируется на индикаторном приборе электронного блока 5. Зависимость результирующей силы давления от фазы стоячей волны в полосе частот компенсируется выбором

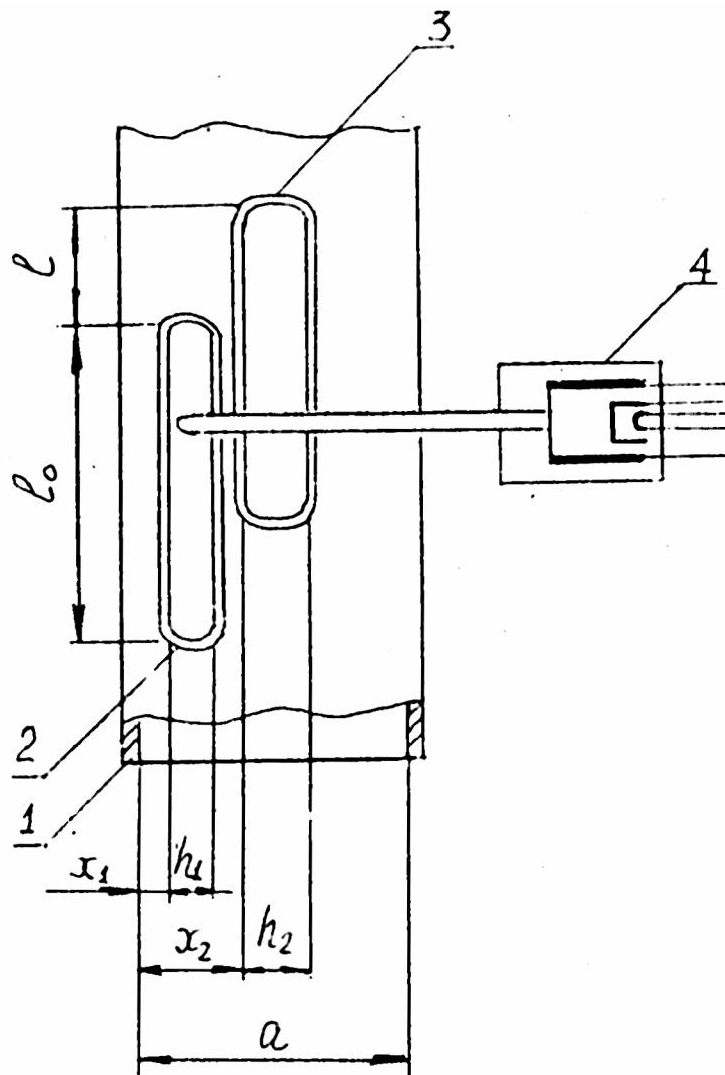
размеров  $l_0, l, x_1, x_2, h_1, h_2$ : доминирующее влияние продольной составляющей магнитного поля на одну из пластин (например, на пластину 2) компенсируется доминирующим влиянием поперечных составляющих электромагнитного поля на другую пластину (например, на пластину 3). На фиг.4, 5 первый минимум частотной зависимости  $|\rho_{эф}| = 0$  обеспечивается равенством  $|\rho_0| = 0$  при  $l_0 = \Lambda_{max}/2$ , второй минимум - равенством  $|\rho_x| = 0$  за счет выбора  $l$  и  $x_2$  на частоте  $f = f_{ср} - 4,96\%$  (фиг.4) или на частоте  $f = f_{ср} - 4,04\%$  (фиг.5), третий минимум - равенство размера  $l_0$  длине волны в волноводе на частоте  $f_{ср} + 17\%$ . Обе характеристики минимизированы в максимальной рабочей полосе частот прямоугольного волновода  $\pm 20\%$ :

значения  $|\rho_{эф}|_{max}$  достигаются на двух частотах, а в полосе частот  $|\rho_{эф}| \leq |\rho_{эф}|_{max}$ , причем любое изменение одного из размеров ( $l$  или  $x_2$ ) приведет к смещению второго минимума и, следовательно, к увеличению значения  $|\rho_{эф}|$  в одном из максимумов, то есть в рабочей полосе частот. Таким образом, обеспечивается наиболее эффективная компенсация в полосе частот зависимости силы давления на две пластины от фазы стоячей волны.

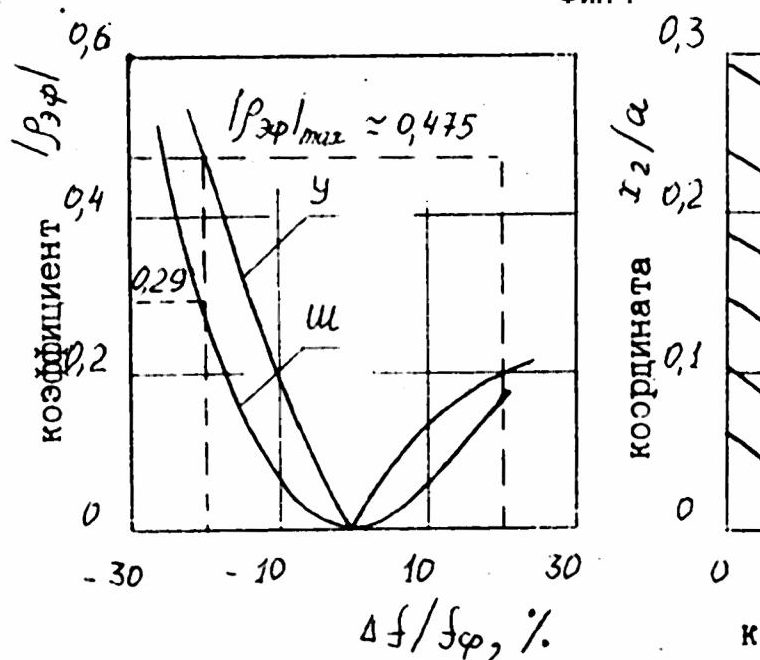
Например, сравнивая кривые на фиг.2 и фиг.4, получим уменьшение переменной составляющей погрешности расоогласования примерно в 3,5 раза относительно известного устройства с одиночной пластиной в широкой стенке (кривая "Ш") и примерно в 5,6 раза относительно известного устройства с одиночной пластиной в узкой стенке (кривая "У"). При этом

для фиг.4  $l = 0,2085 \Lambda_{ср}$ , то есть меньше частного случая  $l = 0,25 \Lambda_{ср}$  широко известного в технике измерения мощности варианта расположения двух одинаковых квадратичных преобразователей вдоль одной оси ( $x_1 = x_2$ ). Когда  $l$  меньше  $0,25 \Lambda_{ср}$ , расстояния от ребра волновода до краев пластин не равны между собой  $x_1 \neq x_2$ , причем возможен выбор  $l = 0$ . Кривые для выбора расстояния  $x_2$  в этом случае приведены на фиг.3, минимизированная частотная характеристика - на фиг.5. Сравнивая кривые на фиг.2 и фиг.5, получим уменьшение переменной составляющей погрешности расоогласования относительно известного устройства в 5,5 раза (кривая "Ш") и в 9 раз (кривая "У").

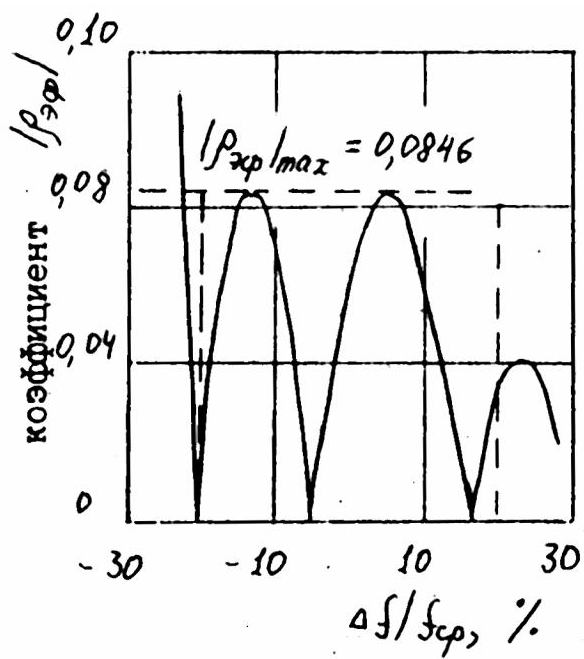
Кривые для выбора расстояния  $x_2$  в этом случае приведены на фиг.3, минимизированная частотная характеристика - на фиг.5. Сравнивая кривые на фиг.2 и фиг.5, получим уменьшение переменной составляющей погрешности расоогласования относительно известного устройства в 5,5 раза (кривая "Ш") и в 9 раз (кривая "У").



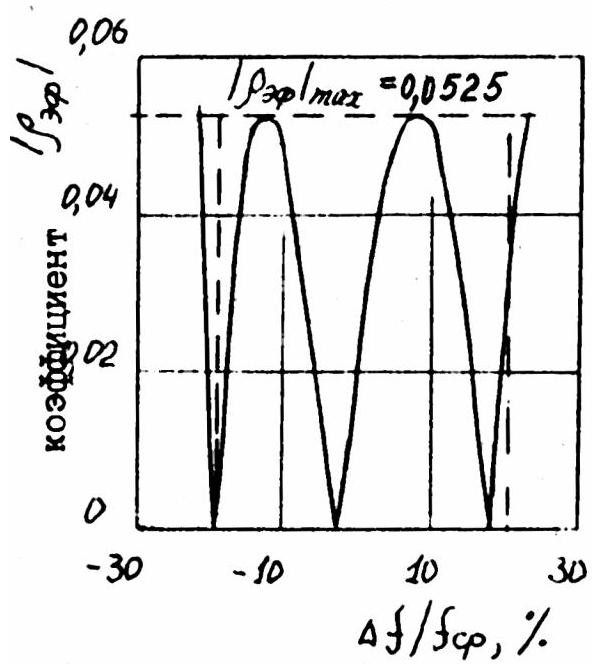
Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 4



Фиг. 5