

Изобретение относится к технике влагометрии на СВЧ и может быть использовано для измерения влажности локальных участков диэлектрических сред, а также для определения профиля или плана распределения влажности, в частности, субстратов в гидропонных теплицах, почвогрунтов, сыпучих минеральных удобрений, зернопродуктов и т.д.

Наиболее близким по технической сущности и достигаемому эффекту к заявляемому является способ зондовой СВЧ-влагометрии, по которому производят взаимодействие первичного измерительного преобразователя, настроенного на резонанс, с участком диэлектрической среды посредством его электромагнитного СВЧ-поля и определяют коэффициент отражения и разность фаз падающей и отражающей волн, которые зависят от диэлектрической проницаемости измеряемой среды и по значению которых судят о влажности среды.

Принцип работы измерителя предполагает максимальное рассогласование антенны, являющейся первичным измерительным преобразователем, с влажной средой и полное согласование ее с сухой средой.

Недостатками этого способа являются: необходимость механической подстройки антенны на резонанс для каждого типа измеряемой среды, что усложняет эксплуатацию и понижает точность измерения; отсутствие определенного направления в диаграмме направленности первичного измерительного преобразователя, выполненного в виде четвертьволновой антенны, являющейся линией из распределенных параметров, что не обеспечивает возможность измерения влажности в окрестности точки среды или поверхности среды, и существенно ухудшает ее применение для измерения влажности локальных участков среды.

Задачей изобретения является обеспечение возможности измерения влажности вокальных участков диэлектрических сред, а также повышение точности измерений и упрощение эксплуатации.

Поставленная задача решается тем, что в способе зондовой СВЧ-влагометрии, заключающемся во взаимодействии первичного измерительного преобразователя с участком исследуемой среды посредством его электромагнитного поля и определении влагосодержания в результате измерения диэлектрической проницаемости среды, согласно изобретению, воздействуют на исследуемый участок диэлектрической среды локальным электромагнитным полем высокودобротного диэлектрического резонатора с собственной добротностью не менее 2000, являющегося чувствительным элементом первичного измерительного преобразователя, при этом определяют его добротность Q и резонансную частоту ω и вычисляют влажность W по формуле

$$W = K \frac{\left(\frac{1}{Q} - \frac{1}{Q_0} \right) \omega_0}{\omega - \omega_0},$$

где K - коэффициент, определяемый эмпирически для конкретного типа измеряемой диэлектрической среды,

ω_0 - калибровочное значение собственной частоты резонатора, взаимодействующего с сухой средой;

ω - значение собственной частоты резонатора, взаимодействующего с измеряемой средой;

Q_0 - калибровочное значение добротности резонатора, взаимодействующего с сухой средой;

Q - значение добротности резонатора, взаимодействующего с измеряемой средой.

Также, согласно изобретению, для получения значений резонансной частоты ω и добротности Q первичного измерительного преобразователя возбуждают резонатор в диапазоне частот, включающем резонансную кривую первичного измерительного преобразователя, взаимодействующего с измеряемой средой, и определяют его амплитудно-частотную характеристику.

Способ зондовой СВЧ-влагометрии осуществляют следующим образом.

Помещают откалиброванный (по известным значениям резонансной частоты ω_0 и добротности Q_0) первичный измерительный преобразователь в исследуемую диэлектрическую среду, находят величину резонансной частоты ω и добротности Q диэлектрического резонатора, являющегося чувствительным элементом первичного измерительного преобразователя, и определяют влажность по вышеуказанной формуле.

При этом, для получения значений резонансной частоты ω и добротности Q первичного измерительного преобразователя возбуждают резонатор в диапазоне частот, включающем резонансную кривую первичного измерительного преобразователя, взаимодействующего с измеряемой средой, и определяют его амплитудно-частотную характеристику.

Причем, полученная величина влажности соответствует влажности W среды, расположенной в электромагнитном поле, локализованном в непосредственной близости от полюса диэлектрического резонатора, имеющего диаграмму направленности, характерную для полюса диполя.

Благодаря тому, что первичный измерительный преобразователь взаимодействует с диэлектрической средой посредством концентрированного местного электромагнитного поля высокودобротного диэлектрического резонатора с собственной добротностью не менее 2000, определение влажности производится в окрестности точки, расположенной в непосредственной близости от диэлектрического резонатора, имеющего диаграмму направленности, характерную для диполя. Такая локализация зондовой СВЧ-влагометрии позволяет с высокой степенью верности определять характер распределения влажности как по поверхности среды (в плане), так и по объему (в профиле).

При этом изменения резонансной частоты ω и добротности Q резонаторного датчика несут достоверную информацию об изменении действительной и мнимой составляющих комплексной диэлектрической проницаемости, которые непосредственно зависят от влажности исследуемого локального участка диэлектрической среды.

В результате взаимодействия первичного измерительного преобразователя с измеряемой средой происходит 10 - 20 кратное уменьшение добротности его чувствительного элемента, что подтверждается экспериментальными данными,

приведенными в таблице. Экспериментально установлено, что при уменьшении добротности первичного измерительного преобразователя, взаимодействующего с влажной средой, менее 100, происходят изменения формы наблюдаемой резонансной кривой, объясняемые гармоническим возбуждением первичного измерительного преобразователя. Это явление понижает точность результатов измерений и обуславливает ограничение минимального значения (2000) собственной добротности диэлектрического резонатора.

Для получения значений резонансной частоты ω и добротности Q первичного измерительного преобразователя возбуждают резонатор в диапазоне частот, включающем резонансную кривую первичного измерительного преобразователя, взаимодействующего с измеряемой средой, и определяют его амплитудно-частотную характеристику. При изменении типов измеряемых сред достаточно корректировать калибровочные значения резонансной частоты ω_0 и добротности Q_0 и величину калибровочного коэффициента k , что повышает точность и упрощает измерения.

Пример конкретной реализации способа.

Дисковый диэлектрический резонатор с собственной частотой $\omega = 10$ ГГц и добротностью $Q=3120$, изготовленный из высокособотной керамики типа ТБСН с $\epsilon = 81$ и $\delta = 2 \cdot 10^{-4}$, имеющий диаметр диска 3мм, поместили в экранирующий корпус, изготовленный из латуни с внутренними размерами $4 \times 9 \times 12$ мм, имеющий радиопрозрачное окно диаметром 5мм, выполненное по центру одной из граней корпуса. Диэлектрический резонатор поместили в центре корпуса между размещенными в нем двумя линиями связи; входной, соединенной с генератором качающейся частоты, и выходной, соединенной с входом индикатора КСВН и ослабления, обеспечивая этим возбуждение его TE_{010} типом колебаний и диаграмму направленности, характерную для полюса диполя, имеющую высокую напряженность электромагнитного поля, локализованного в окрестности радиопрозрачного окна.

С помощью полученного таким образом измерительного комплекса проводили измерения влажности локальных участков диэлектрической среды, определяя резонансную частоту ω и добротность Q диэлектрического резонатора, являющегося чувствительным элементом первичного измерительного преобразователя, электромагнитно связанного со средой.

Измерения влажности проводили следующим образом.

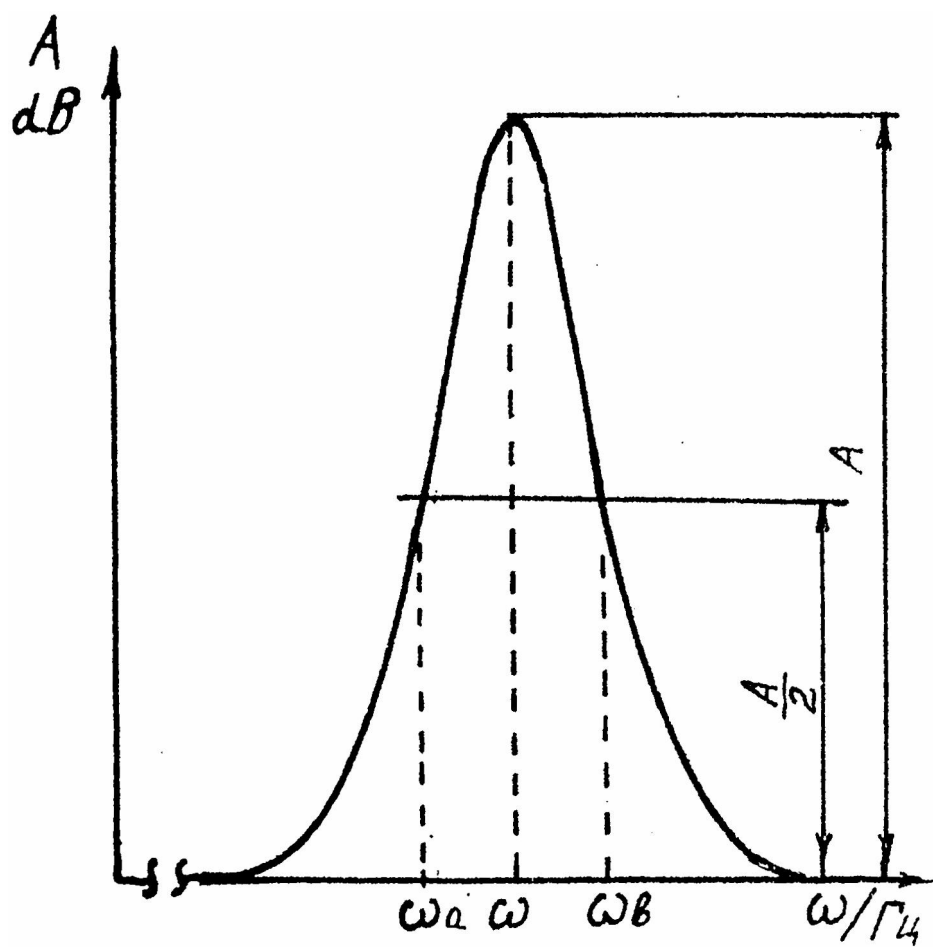
Вводили первичный измерительный преобразователь в исследуемую среду на необходимую глубину или совмещали его с ее поверхностью, ориентируя радиопрозрачное окно на исследуемый участок среды. Затем определяли амплитудно-частотную характеристику первичного измерительного преобразователя, по которой судили о значениях резонансной частоты ω и добротности Q , равной отношению резонансной частоты ω к ширине $\Delta\omega$ резонансной кривой на половинном уровне амплитуды сигнала A . Таким

образом определяли калибровочные значения резонансной частоты ω и добротности Q_0 первичного измерительного преобразователя, взаимодействующего с обезвоженной средой. Калибровочный коэффициент k вычисляли из формулы, определяя значения резонансной частоты ω и добротности Q первичного измерительного преобразователя, взаимодействующего со средой, влажность которой предварительно определяли термогравиметрическим методом. При этом величина калибровочного коэффициента k в диапазоне измеряемой влажности от 60% до 85% практически не изменялась, что подтверждается проведенными исследованиями с минеральной ватой, используемой в качестве субстрата в гидропонных теплицах.

В результате исследований обезвоженной минеральной ваты получены следующие калибровочные значения: $\omega_0 = 10001,875$ МГц; $Q_0 = 247$.

Для влажной минеральной ваты полученные экспериментальные и расчетные данные приведены в таблице.

№	Влажность W, %	Резонансная частота ω , МГц	Ширина резонансной кривой $\Delta\omega$, МГц
1	60	10003,87	47,188
2	65	10004,35	49,526
3	70	10005,04	52,937
4	75	10005,60	56,212
5	80	10006,60	61,769
6	85	10007,57	67,619



Фиг.