

тир, для подключения которого на корпусе преобразователя имеется штуцер.

Преобразователь подходит по параметру допускаемой погрешности, а также он позволяет механизировать процесс измерения благодаря встроенному приводу вакуумного арретирования.

Схема измерения представлена на рисунке 3. Данная схема позволяет исключить ряд погрешностей, связанных с установкой на измерительной позиции и более точно измерять параметры меры.



Рисунок 3 – Схема измерения

УДК 621.3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ НЕМАГНИТНЫХ ЖИДКОСТЕЙ

Петрович В.А.¹, Завацкий С.А.¹, Волчэк С.А.¹, Серенков В.Ю.¹, Петлицкий А.Н.²

¹Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Республика Беларусь

²"Белмикрoанализ" Филиала НТЦ "Белмикросистемы" ОАО "ИНТЕГРАЛ"-управляющая компания холдинга "ИНТЕГРАЛ", Минск, Республика Беларусь

Введение

Пусть имеется конденсатор с плоско параллельными, одинаковыми по площади (S) обкладками (электродами), изготовленными из металла. Расстояние между обкладками – d . Для этого простейшего случая расчет величины емкости конденсатора C_x , заполненного жидкостью с диэлектрической проницаемостью ϵ_x осуществляется по формуле: $C_x = \epsilon_0 \epsilon_x \left(\frac{S}{d}\right)$, где ϵ_0 – диэлектрическая постоянная. Для определения ϵ_x при этом достаточно экспериментально определить величину C_x .

Классический вариант определения C_x – формирование последовательного колебательного контура с использованием этого конденсатора ($L_0 C_x$) и определение на заданной частоте величины C_x . При этом заданная частота должна быть равной резонансной частоте контура, включающего в себя изучаемый конденсатор C_x . Значение добротности колебательного контура Q должно быть максимальным и составлять десятки – тысячи единиц. В том случае, если Q меньше указанных величин, зарегистрировать состояние резонанса становится либо крайне затруднительным, либо вообще невозможным.

Известные Q -метры, работая в диапазоне частот от десятков килогерц и выше, для контуров с Q более 5 позволяют тем самым определять величину ϵ_x .

Однако в диапазоне частот от единиц герц до нескольких килогерц классический метод резонансного контура становится неприемлемым. Это связано с тем, что для обеспечения измерений на столь низких частотах создать колебательный контур со значительной величиной Q нереально. Для этого требуется L_0 высокой добротности и значительное по величине произведение fL_0 . Это противоречит задаче измерения при $f \rightarrow 0$. Увеличение C_x для получения низкой резонансной

частоты ($f_{рез}$) также имеет ограничения: увеличение C_x – это увеличение площади обкладок S во-первых, и уменьшение расстояния между ними во-вторых. Эти обстоятельства зачастую имеют решающее значение.

Метод колебательного контура, как уже отмечалось, неприменим и для низкодобротных колебательных контуров, когда добротность колебательного контура определяется добротностью конденсатора C_x , т.е. свойствами изучаемой жидкости. При этом становятся невозможными измерения и при повышенных частотах.

Методика определения диэлектрической проницаемости жидкостей по их иммитасным характеристикам

В настоящее время ОАО МНИПИ (г. Минск) выпускает измерители иммитанса серии Е7, и в частности – приборы Е7-25 и Е7-28. Например, прибор Е7-25 работает в диапазоне частот от 25 до 10^6 Гц, а прибор Е7-28 от 25 до 10^7 Гц.

Диапазон измеряемых добротностей любых двухполосников находится в пределах от 10^{-4} до 10^4 . При этом в основе определения Q (и обратной величины $\text{tg} \delta = Q^{-1}$) является измерение угла сдвига фаз ϕ в двухполоснике. Далее, в зависимости от того, как программируется последующая работа прибора, на табло выводятся численные значения параметров эквивалентных схем измеряемого двухполосника: параллельной или последовательной – C_p , R_p , L_p и C_s , R_s , L_s , соответственно.

В том случае, когда для C_x (частный случай двухполосника) значение Q оказывается значительно больше единицы (более 5-10 единиц), значение C_p , C_s и C_x будут совпадать друг с другом с точностью не хуже 1%. Это дает возможность определять ϵ_x с использованием указанной формулы для C_x и далее не обсуждается. Этот случай, когда изучаемый материал высокодобротный.

При Q менее 5-10 единиц, т. е. если изучаемый материал низкодобротный, то, например, $C_p = C_x \frac{1}{1+tg^2\delta}$ и $C_p \neq C_s \neq C_x$, т. е. параметры эквивалентных схем измеряемого двухполюсника не несут информации о C_x . При этом непосредственно использовать регистрируемое прибором значение C_p и C_s для определения ϵ_x нельзя. В связи с этим, мы предлагаем поступать следующим образом:

1. Создается датчик, представляющий собой колебательный контур, в котором конструктивно совмещены L_0 и C_x путем изготовления обкладок конденсатора в виде коаксиально расположенных двух металлических спиралей (или одной спирали, внутри которой размещен второй электрод в виде стержня). Спираль – это индуктивность L_0 , конденсатор – это «обкладки в виде спиралей», между которыми расположен либо изучаемый материал, либо материал с известным значением ϵ_x , например, воздух с $\epsilon_B = 1$.

2. Датчик помещается, например, в сухой воздух. При этом приборы Е7-25 или Е7-28 должны зафиксировать $tg\delta$ порядка 10^{-3} и менее. Этот критерий исправности датчика и его готовности к последующему использованию. Кроме этого, при регистрации величины C_B в диапазоне частот 1-10 кГц должно быть зафиксировано и следующее условие: $C_p = C_s = C_B = \epsilon_0 \left(\frac{S}{d}\right)$.

3. На участке, где C_B зависит от частоты, эта зависимость регистрируется и находится резонансная частота $f_{рез}^B$ по максимальным значениям $tg\delta$.

4. Датчик погружается в жидкость с неизвестным значением ϵ_x и находится новая резонансная частота $f_{рез}^x$ по максимальным значениям $tg\delta$.

Сдвиг $f_{рез}^x$ относительно $f_{рез}^B$ в область более низких частот будет обусловлен величиной диэлектрической проницаемости ϵ_x .

5. По формуле $\epsilon_x = \left(\frac{f_{рез}^B}{f_{рез}^x}\right)^2$ определяется величина диэлектрической проницаемости изучаемой жидкости.

Экспериментальные результаты и их обсуждение

В качестве объекта исследований была выбрана смесь дистиллированной воды и этилового спирта. Приготовление конкретного раствора (с определенным объемным соотношением вода-спирт) осуществлялось следующим образом: точки 1, 2 и 3 на рисунке 1 получены путем пипетирования в этиловый спирт воды; точки 4, 5 и 6 получены при пипетировании в воду спирта. Измерения проводили при 20°C. В качестве датчика использовали следующую конструкцию: наружный спиралевидный электрод и центральный стержневой электрод, оба выполнены из нержавеющей стали. Численное значение $tg\delta$ для всех приготовленных растворов (от чистой воды до

чистого спирта) находилось в пределах от 5 до 1 000 единиц. Таким образом, изучаемые растворы представляли собой низкодобротные системы. Определение C_B осуществлялось на частоте 1 кГц, область резонансных частот для водно-спиртовых смесей находилась в пределе 50-500 кГц.

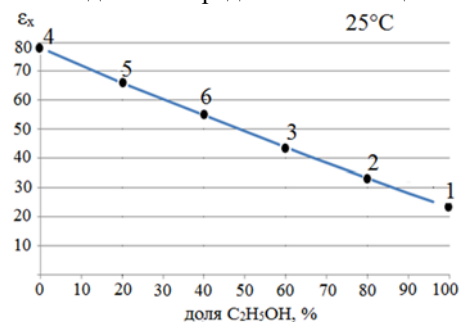


Рисунок 1 – Зависимость диэлектрической проницаемости водно-спиртовой смеси от весовой доли спирта

На рисунке 1 представлена зависимость диэлектрической проницаемости водно-спиртовой смеси от весовой доли спирта, которая имеет линейный характер, что свидетельствует об отсутствии образования молекулярно-структурных комплексов. Кроме этого, по нашему мнению, линейность зависимости указывает на постоянство значений поляризуемости как молекул воды, так и молекул спирта, без взаимного влияния.

Из приведенного рисунка также видно, что крайние точки графика (точки 1 и 4), соответствуют известным численным значениям диэлектрической проницаемости для чистой воды и чистого спирта. Так, по нашим экспериментальным результатам диэлектрическая проницаемость воды составляет 79,5, а спирта – 23.

Для возможного практического использования предложенной методики специфично, что геометрические параметры датчиков не оказывают влияния на регистрируемые результаты по величине ϵ_x , что также подтверждается предложенной формулой для определения ϵ_x . Вместе с тем, изменяя геометрические параметры датчиков, можно смещать частотный диапазон измерений как в область более низких, так и более высоких значений.

Заключение

В данной работе предложена методика определения диэлектрической проницаемости немагнитных жидкостей на измерителях иммитанса серии Е7 с использованием индуктивно-емкостных датчиков, эффективность которой подтверждается приведенными экспериментальными результатами.

При соответствующей доработке конструкции датчиков и методики возможно использование их не только для выборочного (путем взятия проб), но и непрерывного мониторинга состава и качества жидкостей, автоматизации соответствующих технологических процессов, научных исследований.