

ДВУХКАНАЛЬНЫЙ БЕСКОНТАКТНЫЙ КОНДУКТОМЕТР

В. Никулин, В. Демкин,
С. Колесников

Разработанный в МГИЭТ кондуктометр, который представляют авторы статьи, полностью исключает наиболее характерные недостатки известных одноканальных контактных кондуктометров. Благодаря двум автономным каналам измерения: удельной проводимости и температуры с линейными метрологическими характеристиками в заданном диапазоне — его можно использовать для измерения параметров кипящих жидкостей, например кислот.

Метод измерения электропроводности растворов (кондуктометрия) широко используется в лабораторной и производственной практике для химического анализа, физико-химических исследований и автоматического контроля ряда технологических параметров. Измерение концентраций датчиками проводимости — один из самых распространенных и быстрых методов измерения мгновенных значений концентраций в движущихся потоках.

Известны два основных направления в разработке конструкций датчиков проводимости: датчики, непосредственно контактирующие с измеряемой средой, и осуществляющие измерения бесконтактным способом [1]. В приборах второго типа гальванический контакт электродов измерительной ячейки с контролируемым раствором отсутствует. Это обстоятельство значительно расширяет возможности кондуктометрических преобразователей, особенно в условиях химической промышленности.

Метод бесконтактной высокочастотной кондуктометрии основан на взаимодействии электрического поля высокой частоты с раствором в ячейке — выполненном из изоляционного материала сосуде, на внешней (по отношению к раствору) стороне которого крепятся электроды. К электродам ячейки, включенной в соответствующую измерительную схему, подводится напряжение высокой частоты (от нескольких мегагерц до десятков мегагерц) и регистрируется один из электрических параметров ячейки, который функционально связан с электропроводностью контролируемого раствора. В общем случае измерительная ячейка представляет собой комплексное сопротивление, активная и реактивная составляющие которого функционально связаны с элек-

трофизическими свойствами анализируемого вещества — электропроводностью σ и диэлектрической проницаемостью ϵ . Следовательно, если концентрация раствора связана с его электрофизическими свойствами, ее можно определить, измеряя активную, реактивную или полную проводимость ячейки.

В зависимости от природы реактивной составляющей, которая обусловлена типом электродов и конфигурацией сосуда ячейки, последние принято подразделять на емкостные (ячейки конденсаторного типа) и индуктивные (рис.1).

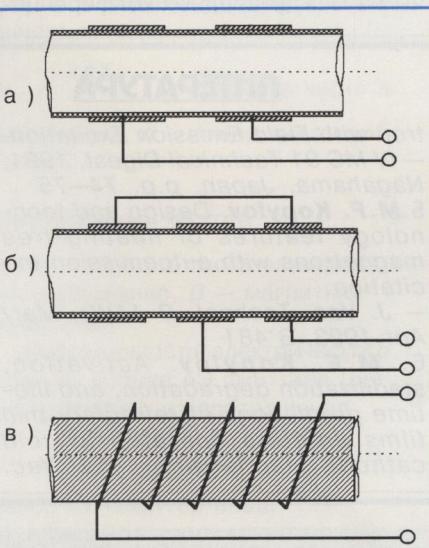


Рис. 1. Схемы высокочастотных кондуктометрических ячеек:

- а) емкостная ячейка с двумя электродами;
б) емкостная ячейка с тремя электродами;
в) индуктивная ячейка.

Конструктивно ячейки могут быть выполнены наливными, погружными и проточными. Высокочастотные кондуктометры относятся к приборам косвенного типа. С их помощью производят относительные измерения электропроводности: измеряет-

ся не электропроводность, а один из электрических параметров ячейки, функционально с ней связанный. Поэтому их применению предшествует экспериментальное построение калибровочных графиков — статических характеристик прибора, на которые сложным образом влияют геометрические параметры ячейки, частота питающего генератора, тип и параметры измерительной схемы, температура исследуемого раствора и др. Вследствие этого каждый прибор должен иметь индивидуальную градуировку.

Вид статической характеристики определяется в основном зависимостью электрических свойств ячейки (ее активной и реактивной проводимости) от электропроводности раствора. Электрические свойства аналитически исследуются с помощью их эквивалентных схем, в которых распределенные параметры ячейки с определенной точностью заменены сосредоточенными элементами цепи. Такой анализ в ряде случаев позволяет качественно оценить вид статических характеристик прибора, чтобы выбрать геометрические параметры ячейки и частоту генератора, которые обеспечат измерение электропроводности в заданном диапазоне.

Известные СВЧ кондуктометры, работающие на частоте (f) меньше 30МГц, связаны с конструкцией объемного резонатора, точнее с его рабочим объемом. Измеряемый параметр [2] косвенно определяется по величине добротности или потери энергии в проводящей среде и металлической стенке резонатора. Зависимость добротности от удельной проводимости нелинейная. Это условие требует микропроцессорной коррекции и приведения к окончательной функциональной зависимости удельной проводимости и частоты. В ОЗУ микропроцессора до-

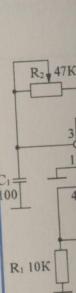


Рис. 2

ку в ре...
эффекта
лабора
прибора
проточн
ного, ос
ных по
в том ч
чается

Эле...
ществе
темпер
электр
ры на
электр

Эле...
зраст...
ненци
где А
ратур

В у...
ле сп...
жени...
где С...
темп...
 σ_{to} —
=18°
 α —
элек

полнительно записывается программа управления гидро- и пневмоисполнительными узлами, сопряженными с термостатом. Поэтому уровень проводимости контролируется по дискретной схеме дозирования, что недопустимо в условиях непрерывных технологических процессов. Для получения необходимых градировочных характеристик приходится постоянно производить подстрой-

Таким образом, одновременно измеряя температуру раствора и его удельную проводимость, а также используя приведенные формулы, можно судить о величине его проводимости при других значениях температуры. Это можно использовать в различных технологических процессах, где необходимо учитывать изменение температуры контролируемого раствора.

Для учета температуры в датчик бесконтактной кондуктометрии вводится второй канал. Принципиальная и структурная схемы бесконтактного измерителя проводимости приведены на рис.2,3.

Измеритель температуры (электронный термометр), принципиальная схема которого приведена на рис.4 устанавливается в одном корпусе с датчиком удельной проводимости. Переключатель позволяет в любой последовательности коммутировать измерительные каналы с общим индикатором (5), определяя удельную проводимость раствора или его температуру. По графикам, аналогичным приведенным на рис.2, можно судить об изменении удельной проводимости раствора при отклонении его температуры от нормальных условий, (по Стандарту РФ — 20°C, а по стандарту ISO 9000 — 25°C).

Введение в схему датчика микропроцессора или стыковка его через интерфейс с IBM PC позволяет реализовать специально разработанные алгоритм и программу коррекции результатов измерений в соответствии с изменением температуры жидкостей, включая сильные электролиты. Благодаря гибкой структуре прибора введение дополнительных блоков и узлов не требует принципиальных конструктивных изменений и макетирования.

Особенность электрической принципиальной схемы прибора — резкое снижение частоты, что устраняет все недостатки, присущие системам СВЧ. Уменьшение частоты в среднем на два порядка исключает влияние ВЧ и СВЧ электромагнитных

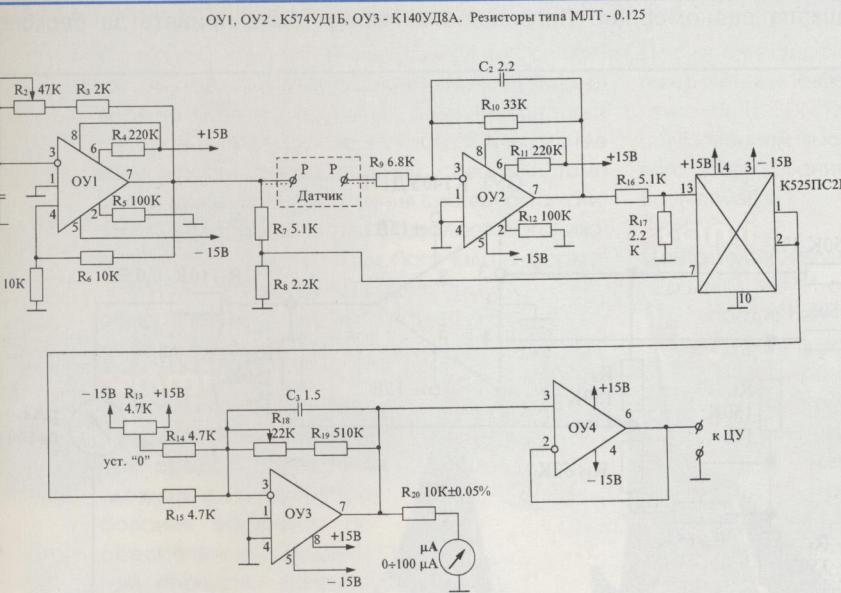


Рис. 2. Принципиальная схема бесконтактного измерителя проводимости

ку в резонанс. Подобные приборы эффективно применяются только в лабораториях. Универсальность прибора, т.е. использование его как проточного, наливного или погружного, особенно для контроля сильных по концентрации электролитов, в том числе кипящих кислот, исключается полностью.

Электропроводность жидкости существенным образом зависит от температуры. Для водных растворов электролитов увеличение температуры на 1°C приводит к возрастанию электропроводности на 1 — 2,5 %.

Электропроводность жидкости возрастает с температурой по экспонциальному закону $\sigma_0 = A e^{-(B/T)}$, где А и В — постоянные, Т — температура.

В узком температурном интервале справедливо линейное приближение $\sigma_t = \sigma_{t_0} [1 + \alpha(t - t_0)]$, где σ_t — электропроводность при температуре t ; σ_{t_0} — электропроводность при $t = 18^\circ\text{C}$; α — температурный коэффициент электропроводности.

Колебания температуры в любом технологическом процессе приводят к критическим значениям проводимости и концентрации среды, которые жестко коррелируются с качеством продукции.

Это касается прецизионных технологий, например в микроэлектро-

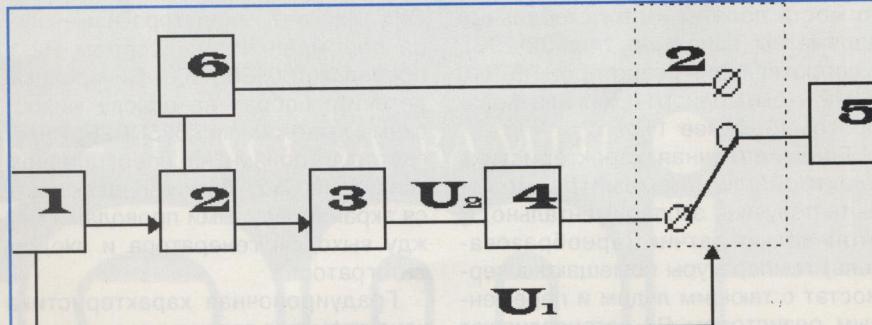


Рис.3. Структурная схема бесконтактного измерителя проводимости
1 — перестраиваемый генератор импульсов; 2 — датчик удельной проводимости;
3 — интегратор; 4 — синхронный детектор; 5 — стрелочный индикатор; 6 — измеритель температуры; 7 — переключатель

нике, биологических процессах, особенно в аппаратуре искусственного поддержания жизнедеятельности организма, и др.

колебаний на измерительный температурный канал, что особенно важно для повышения точности контроля в непрерывных технологических

процессах. Это значительно упрощает конструкции экранирующих устройств и одновременно обеспечивает необходимый теплоотвод. Последнее очень важно в операционных усилителях, к которым предъявляются особые требования по теплоотводу для обеспечения минимального дрейфа нуля.

Падение напряжения на диоде датчика VD1 при изменениях температуры изменяется с коэффициентом 2,1 мВ/град, а напряжение на вы-

метку шкалы. Затем датчик помещают в термостат со ступенчатым изменением температуры. Резистором R11 устанавливают стрелку прибора на отметку шкалы, соответствующую температуре кипения воды (100°C). Необходимая достоверность градуировки шкалы прибора обеспечивается двух или трехкратным повторением ступенчатого измерения температуры в термостате. Градуировочная характеристика линейна, шкала равномерная. Погрешность

дистиллированной воды, проводимость которой не менее чем в 30 раз меньше проводимости сравнительного раствора и может быть принята за нуль. Переменным резистором R14 устанавливают нулевое напряжение на выходе измерителя. Затем в датчик наливают раствор хлористого натрия с концентрацией 1 г/л, проводимость которого не менее чем в 30 раз превышает проводимость сравнительного раствора и может быть принята за бесконеч-

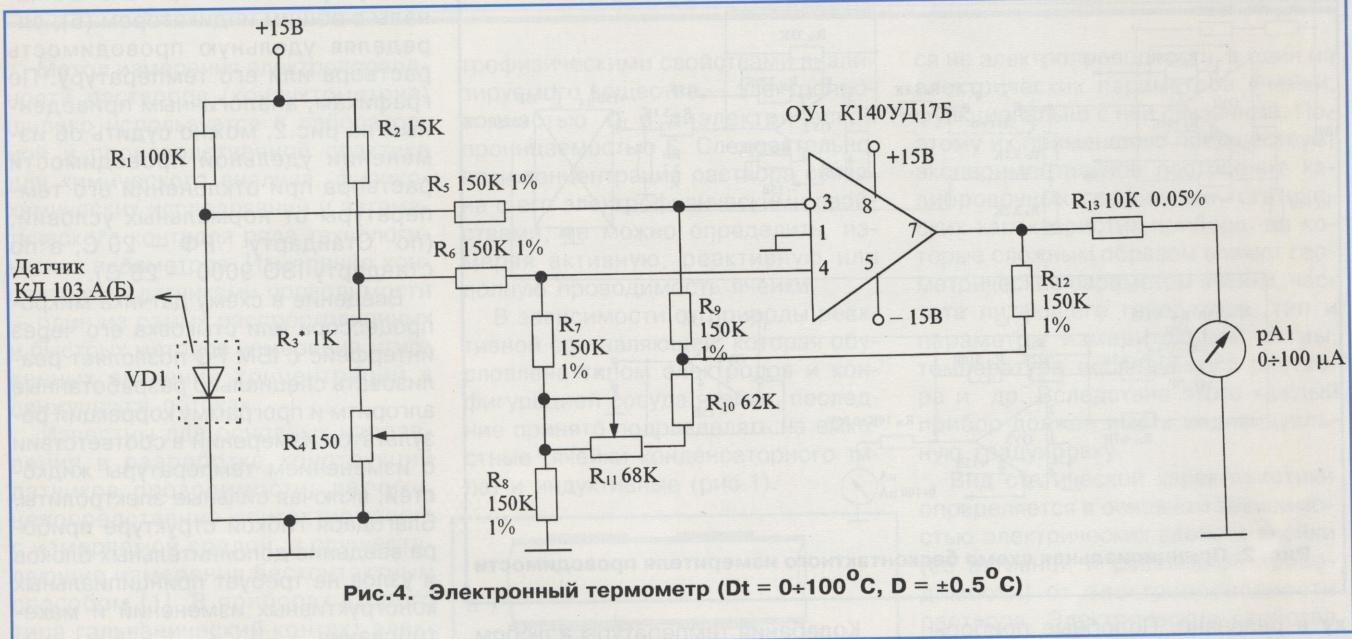


Рис.4. Электронный термометр ($Dt = 0\div100^{\circ}\text{C}$, $D = \pm 0.5^{\circ}\text{C}$)

ходе операционного усилителя ОУ1 — с коэффициентом $+0,01\text{B}/\text{град}$. Микроамперметр постоянного тока pA1, подключенный к выходу ОУ, регистрирует температуру в диапазоне $0\div100^{\circ}\text{C}$.

Резисторы R1-R3 измерительного моста должны иметь стабильные параметры (например, типа С2-29В), а сопротивления резисторов R5-R10 и R12 — быть одного номинала с разбросом не более 1%.

Градуировочная характеристика электронного термометра может быть получена экспериментально. С этой целью датчик (преобразователь) температуры помещают в термостат с тающим льдом и переменным резистором R4 устанавливают стрелку вольтметра на нулевую от-

градуировки шкалы зависит только от точности термостатирования и обеспечения ступенчатого изменения температуры, начального и конечного значения шкалы ($0\div100^{\circ}\text{C}$).

Перестраиваемый генератор собран на операционном усилителе ОУ1. Частота генератора изменяется переменным резистором R2 в пределах 100–500 кГц. Синхронный детектор собран на основе микросхемы умножителя К525ПС2Б. Интегратор выполнен на операционном усилителе ОУ2. Датчик подключается экранированными проводами между выходом генератора и входом интегратора.

Градуировочная характеристика кондуктометра строится экспериментально. Для этого в датчик налива-

ность. Регулировкой потенциометра R18 устанавливают выходное стандартное напряжение 10 В, что соответствует полной шкале удельной электрической проводимости.

Прибор может быть отградуирован в соответствии с требованиями заказчика, а также в соответствии с международными рекомендациями MP-56 (образцовые растворы, воспроизводящие проводимость электролитов) и MP-63 (методика калибровки ячеек проводимости).

Метрологическое обеспечение кондуктометра при его серийном производстве для данного диапазона измерений может быть подтверждено сертификатом РОСТЭСТ — МОСКВА.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кулаков М.В. Технологические измерения и приборы для химического производства.— М. Машиностроение, 1974
2. Дмитриев Д.А., Суслин М.А., Герасимов Б.И., Кораблев М.А., Федюнин П.А. СВЧ методы в кондуктометрии жидких сред. — Заводская лаборатория 7, 1996