

## ПЕРВИЧНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРОКИНЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

© 1998 г. Д. А. Гришук, И. Ф. Кузьмицкий, И. О. Оробей

Белорусский государственный технологический университет  
Белоруссия, 220630, Минск, ул. Свердлова, 13а

Поступила в редакцию 30.09.97 г.

Описан первичный преобразователь для непрерывного определения заряда поверхности (электрокинетического потенциала). Метод измерения основан на использовании сдвигового потока жидкости для создания переменного потенциала (тока) течения. Измерительная схема содержит синхронный детектор с ограничителем уровня входного сигнала для уменьшения влияния сильных кратковременных импульсных помех.

Первичные преобразователи используются в измерительно-информационных системах управления технологическими процессами, имеющими место в коллоидных дисперсных средах. Устойчивость таких сред определяется балансом сил молекулярного притяжения и электростатического отталкивания [1], который зависит от параметров двойного электрического слоя (д.э.с.). Наиболее доступной для измерения характеристикой д.э.с. является  $\zeta$ -потенциал, что и определило его использование в качестве параметра для построения систем оптимального управления технологическими процессами очистки сточных вод, проклейки бумаги, тонкой фильтрации и т.д. [2–4].

В настоящее время для измерения электрокинетического потенциала (э.к.п.) в промышленных условиях наибольшее распространение получил метод переменного потенциала (тока) течения раствора, на основе которого разработаны детекторы с генерацией тока течения при возвратно-поступательном движении поршня [5]. По совокупности параметров (быстродействие, непрерывность процесса измерения и т.д.) детекторы тока течения выгодно отличаются от других первичных преобразователей электрокинетических характеристик в электрический сигнал. Использование переменного потенциала течения вызвано осложнениями, возникающими из-за нестабильности состояния поверхностей измерительных электродов. Разность потенциалов между измерительными электродами можно представить в виде

$$E = E_{Sf} + E_A + E_N, \quad (1)$$

где  $E_{Sf}$  – составляющая потенциала течения раствора,  $E_A$  – свободная составляющая потенциала асимметрии электродов,  $E_N$  – потенциал электрохимических шумов.

Изменение  $E_A(t)$  проявляется как низкочастотный шум, который может быть отфильтрован при соблюдении условия

$$dE_{Sf}/dt \gg dE_A/dt. \quad (2)$$

Значения  $E_A(t)$  и  $dE_A/dt$  зависят от характеристик электродной системы, концентрации и валентности ионов и веществ в растворе, наличия поверхностно-активных веществ на поверхности электродов и т.д. Верхний предел скорости изменения  $E_{Sf}(t)$  определяется временем релаксации д.э.с., что налагает ограничения на частоту возвратно-поступательного движения поршня и ухудшает метрологические характеристики первичных преобразователей [6]. Детекторам тока течения присущи и такие недостатки, как разрушение частиц при возвратно-поступательном движении поршня, плохая проточность ячейки и т.д.

С учетом этого для измерения э.к.п. разработан первичный преобразователь с генерацией потенциала (тока) течения раствора при помощи ротора, создающего на электродах переменный измерительный сигнал, в то время как относительно ротора сдвиговой поток постоянен (рис. 1а). Получены аналитические зависимости амплитуды сигнала от физических характеристик среды и геометрических характеристик прибора. Ток течения  $I_{Sf}$  и разность потенциалов между электродами  $E_{Sf}$ , возникающие вследствие сдвигового потока, определяются следующими формулами:

$$I_{Sf} = -HR_0\omega \frac{\sigma_s \cdot 2F}{RT}, \quad (3)$$

$$U_{Sf} = \frac{c\omega R_0}{2h[\lambda_0 + (2\lambda_s/h)]} \frac{\sigma_s \cdot 2F}{RT}, \quad (4)$$

где  $\omega$  – частота вращения ротора,  $R_0$  – радиус ротора,  $h$  – ширина капилляра,  $c$  – длина капилляра

(расстояние между электродами),  $\lambda_0$  – проводимость раствора,  $\lambda_s$  – поверхностная проводимость,  $H$  – высота ротора,  $\sigma_{s,2}$  – плотность заряда поверхности скольжения д.э.с., которая связана с электрокинетическим потенциалом следующим соотношением:

$$\sigma_{s,2} = \sqrt{8\epsilon\epsilon_0RTC} \operatorname{sh}[zF(\zeta/2)RT], \quad (5)$$

где  $\epsilon$  – диэлектрическая проницаемость среды,  $\epsilon_0$  – диэлектрическая постоянная,  $F$  – константа Фарадея,  $R$  – газовая постоянная,  $T$  – температура,  $z$  – заряд ионов электролита,  $C$  – концентрация электролита.

Схема первичного преобразователя показана на рис. 1б. Зазор между ротором 1 и стенкой стакана 2 образует щелевой капилляр, в котором при вращении ротора создается сдвиговый поток. Ротор приводится в движение двигателем 3. Дисперсная среда или раствор подается и отводится через штуцеры 4. На внутренней поверхности стакана располагаются измерительные электроды 5, выполненные из серебряной проволоки  $\varnothing 0.4$  мм, покрытой слоем AgCl. Верхняя часть стакана герметизируется крышкой 6. Для определения моментов формирования щелевого капилляра между измерительными электродами на валу ротора устанавливается стробоскопический диск 7. Снижение влияния проводимости на результаты измерений обеспечивается выбором метода создания тока течения. Ток замыкается через сопротивление  $R_1$ , на котором вследствие вращения ротора формируются треугольные или трапецидальные импульсы напряжения с амплитудой, пропорциональной току течения. Форма импульсов зависит от соотношения расстояния между электродами  $c$  и ширины ротора  $a$ , а их частота равна удвоенной частоте вращения ротора. Измеряемый сигнал появляется синхронно с опорным сигналом, формируемым блоком 12. Для выделения сигнала из шума используется синхронный детектор 13.

Первичный преобразователь обладает высокой чувствительностью к электромагнитным полям промышленного происхождения. Спектральные составляющие низкочастотных и одиночных импульсных помех в полосе пропускания синхронного детектора сравнимы с амплитудой основной гармоники полезного сигнала. Для уменьшения влияния этих помех в измерительную схему введены блоки 14–17.

Принципиальная схема преобразователя приведена на рис. 2 (оптопара и схема формирования опорного сигнала не показаны). Падение напряжения на входном сопротивлении усиливается с помощью дифференциального усилителя  $M_1$ . Второй усилительный каскад выполнен на операционных усилителях  $M_2, M_3$ . Синхронный детектор реализован на аналоговом перемножителе

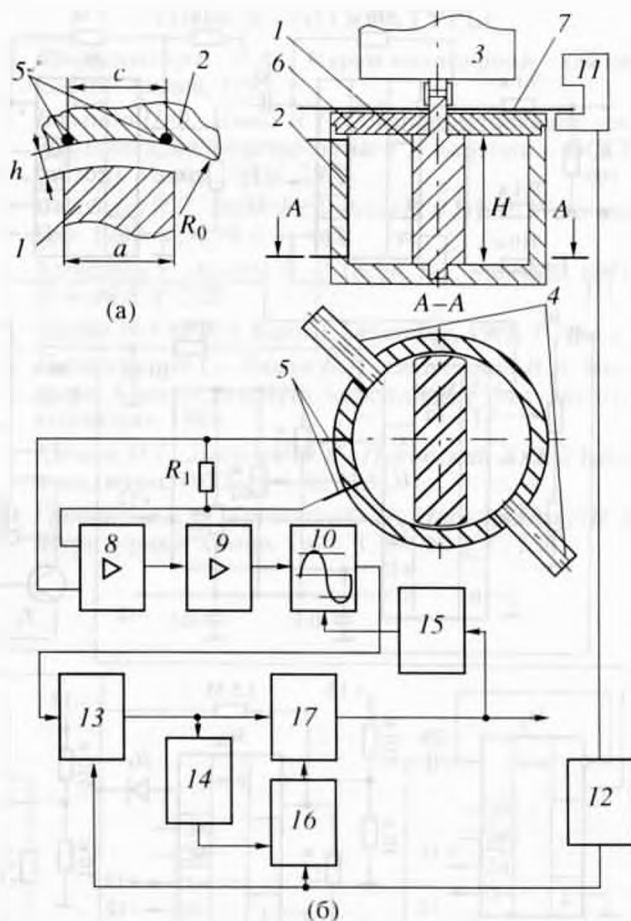


Рис. 1. Конструкция и блок-схема измерительного преобразователя э.к.п. 1 – ротор; 2 – стакан; 3 – двигатель; 4 – штуцеры; 5 – измерительные электроды; 6 – крышка; 7 – стробоскопический диск; 8 – предварительный усилитель; 9 – второй усилительный каскад; 10 – регулируемый ограничитель; 11 – оптопара; 12 – формирователь опорного сигнала; 13 – синхронный детектор; 14 – блок определения срыва сигнала; 15 – устройство задания уровня ограничения; 16 – формирователь импульсов перезаписи; 17 – выходной каскад.

$M_4$ . Регулируемый ограничитель выполнен на диодах  $D_1, D_2$  и на формирователе дифференциального сигнала, включающем усилители  $M_5, M_6$ . Определитель срыва сигнала состоит из буферного повторителя  $M_9$ , высокочастотного фильтра и схемы дифференциального компаратора на операционных усилителях  $M_{10}, M_{11}$ . Выходной каскад представляет собой устройство выборки-хранения (у.в.х.) с малым временем записи и большим временем хранения на интегральных у.в.х.  $M_7, M_8$ . Формирователь импульсов перезаписи для у.в.х. выполнен на микросхемах  $M_{12}, M_{13}$ .

Импульсная помеха проявляется на выходе синхронного детектора в виде резкого изменения напряжения, что вызывает появление импульса на выходе компаратора  $M_{11}$ , по фронту которого

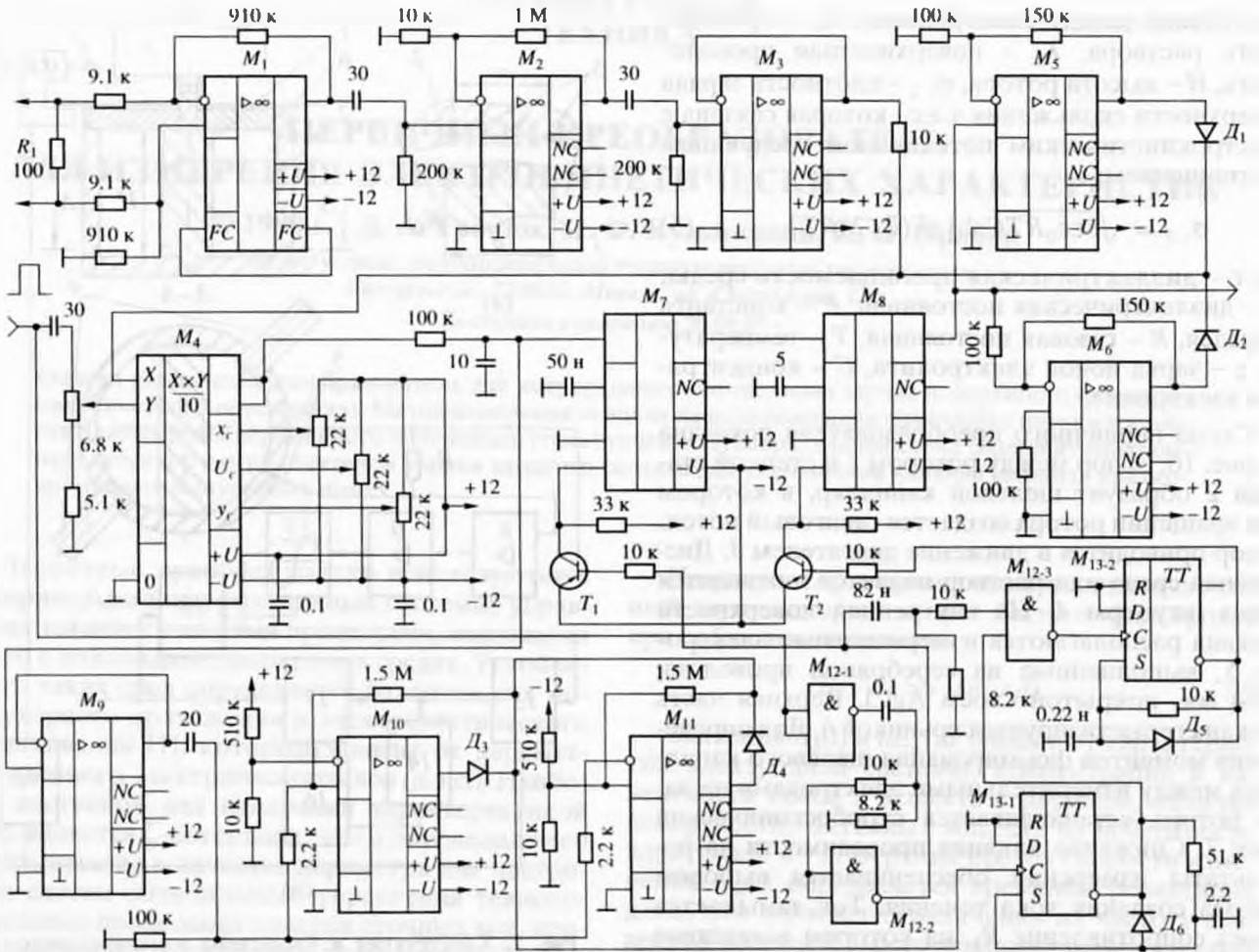


Рис. 2. Принципиальная электрическая схема.  $M_1$  – К544УД1,  $M_2, M_3, M_5, M_6, M_9$ – $M_{11}$  – К140УД8,  $M_4$  – К525ПС2Б,  $M_7, M_8$  – КР1100СК2,  $M_{12}$  – К561ЛА7,  $M_{13}$  – К561ТМ2;  $T_1, T_2$  – КТ3107Е;  $D_1$ – $D_6$  – Д311.

осуществляется временный запрет перезаписи значения напряжения с у.в.х.  $M_7$  в у.в.х.  $M_8$ . В нормальном режиме работы перезапись осуществляется по спаду сигнала с оптопары. На усилителях  $M_5, M_6$  с использованием выходного напряжения

у.в.х.  $M_8$  задаются уровни ограничения сигнала на входе синхронного детектора. Значение уровней ограничения выбирается в пределах 1.1–1.5 амплитуды полезного сигнала в зависимости от динамических характеристик информативного параметра, определяющих максимальную скорость нарастания сигнала.

Испытания работы преобразователя в зоне действия сильных низкочастотных помех и математическое моделирование работы схемы в условиях помех доказали эффективность применения регулируемого ограничителя. При ограничении в 1.5 раза от уровня сигнала отношение сигнал/шум увеличивается в ~40 раз.

В первичном преобразователе использован двигатель постоянного тока ДПР-72-Н1-03 с диапазоном частот вращения 1–5000 оборотов/мин. Питание двигателя осуществлялось от регулируемого источника Б5-71.

Измерительная ячейка изготовлена из фторопласта Ф-4. На форму, амплитуду и мощность сигнала, формируемого на сопротивлении  $R_1$ ,

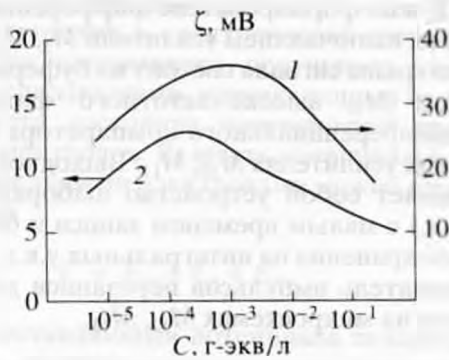


Рис. 3. Зависимость  $\zeta$ -потенциала для поверхности фторопласта Ф-4 от концентрации электролитов NaCl (1) и KCl (2) при  $h = 0.43$  мм и  $\omega = 25.12$  рад/с.

оказывают влияние геометрические характеристики щелевого капилляра (рис. 1). Ячейка первичного преобразователя при проведении экспериментов имела следующие фиксированные размеры:  $R_0 = 15$  мм,  $H = 40$  мм,  $c = 10$  мм. Параметры  $a$  и  $h$  изменялись в пределах 8–14 мм и 0.1–0.025 мм соответственно.

Контрольные испытания первичного преобразователя проводились на фторопластовой поверхности в зависимости от концентрации электролитов. По экспериментальным зависимостям тока течения растворов с пересчетом по формулам (3), (5) получены зависимости  $\zeta$ -потенциала от концентрации электролитов NaCl и KCl (рис. 3), которые хорошо согласуются с имеющимися в литературе данными по фторопластовым фильтрам [7, 8].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фридрихсберг Д.А. Курс коллоидной химии. С.-Пб.: Химия, 1995.
2. Валендо П.Ф., Цмыг Н.Г. Совершенствование технологии производства бумаги и картона в БССР (обзор). Минск: БТИ, 1979.
3. Critcheley R.F., Smith E.O., Pettit P. // J. Inst. Water and Env. 1990. V. 4. № 6. P. 443.
4. Bernazeau F., Hubele G. // Techn. Sci. Methods. 1991. V. 4. № 5. P. 225.
5. Gerdes W.F. // ISA Journal. December, 1966. P. 38.
6. Лидоренко Н.С., Ильин Б.И., Зайденман И.А. Введение в молекулярную электронику. М.: Энергоатомиздат, 1984.
7. Кочнев И.Г., Лебедев Ю.Я., Перовский А.П. // Коллоид. журн. 1972. № 1. С. 173.
8. Грибанова Е.В., Григоров О.Н., Пасмурнова Г.И. // Журн. прикл. химии. 1977. Т. 50. № 3. С. 558.