

## РАЗДЕЛ II. ИЗМЕРЕНИЯ В ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУКАХ И ТЕХНИКЕ

производств предприятий цветной металлургии. Экспериментальные исследования проводились при значительных колебаниях температуры потоков ( $t =$  от 30 до 180 °С) и показали эффективность работы измерительной системы «оптический пылемер - сепаратор-аккумулятор» в данном диапазоне температур.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вишняков, С.Н. Контроль концентрации паров серной кислоты при помощи сепараторов-аккумуляторов./ С.Н. Вишняков, Ю.Ф. Давыдов, В.А. Седелев. - Усть-Каменогорск: УОП ВК ЦНТИ. - Информационный листок. - 1999. - N 14.- 3с.
2. Давыдов, Ю.Ф. Применение сепараторов двухфазных потоков для непрерывного кон-

троля концентрации паров серной кислоты// Ю.Ф. Давыдов, В.А. Седелев, С.Н. Вишняков. - Вестник ВК ТУ. - 2000. - N 1. - С.85-89.

3. Седелев, В.А. Перспективы применения контроля параметров пылегазовых потоков на предприятиях цветной металлургии/ В.А. Седелев, С.Н. Вишняков, Ю.Ф. Давыдов // Повышение технического уровня горно-металлургических предприятий Казахстана: сб.научн.тр. ВНИИцветмет. - Усть-Каменогорск, 2000. -310 с.

Доцент Давыдов Ю.Ф. - 8-7232-540-429, [TSegeda@ektu.kz](mailto:TSegeda@ektu.kz), Восточно-Казахстанский Государственный Технический Университет им. Д.Серикбаева; д.т.н., доцент Горбова Г.М., - 8-906-946-7885, e-mail [ggm3780@yandex.ru](mailto:ggm3780@yandex.ru), Алтайский Государственный Технический Университет Им. И.И. Ползунова

УДК: 621.317.332

## СХЕМЫ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ИНДУКЦИОННЫХ ШТЫРЕВЫХ КОНДУКТОМЕТРИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ КОНТРОЛЯ

Д.Е. Кривобоков

Рассмотрены схемы реализации измерительных преобразований в индукционных бесконтактных кондуктометрических приборах контроля штыревого типа. Выполнен анализ и представлены достоинства и недостатки измерительных схем, предложен компенсационный вариант измерительных преобразований.

**Ключевые слова:** кондуктометр, первичный измерительный преобразователь, компенсация, погрешность измерений, прибор контроля

### Введение

Кондуктометрические измерительные преобразователи нашли широкое применение в химической, нефтехимической, энергетической и пищевой промышленности, а также в экологическом мониторинге. Причиной тому является достаточно высокая чувствительность метода контроля, а именно, зависимость удельной электрической проводимости жидкости от содержащегося количества и вида ионов.

В настоящее время разработано множество конструктивных исполнений кондуктометров, предназначенных для различных условий применений. Одними из востребованных в настоящее время являются бесконтактные кондуктометры. Область их применения в основном связана с контролем электропроводности или концентрации электролитов в химически агрессивной и сильно загрязненной жидкости, особенно способной к образованию пленок на поверхности.

**Цель работы** – рассмотреть разработанные методы снижения неинформативных, дестабилизирующих воздействий на результат измерений индукционного кондуктометрического преобразователя.

Среди бесконтактных кондуктометров можно выделить индукционные измерительные преобразователи штыревого типа (рисунок 1). К их достоинству относится высокая устойчивость к загрязнению и резким перепадам температур, до 200 °С за десятки секунд, что нередко встречается в технологических циклах химических производств. Еще одним достоинством является практически полное отсутствие сложных технологических операций при изготовлении первичных измерительных преобразователей (ПИП) приборов данного типа, что не мало важно в современных условиях.

Однако существенным недостатком индукционных кондуктометров является чувствительность не только к удельной электри-

## СХЕМЫ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ИНДУКЦИОННЫХ ШТЫРЕВЫХ КОНДУКТОМЕТРИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ КОНТРОЛЯ

ской проводимости жидкости, но и к другим электропроводящим и магнитным материалам, находящимся в зоне измерений, а также влияние температуры на параметры магнитопровода датчика. Поэтому возникает потребность в построении моделей индукционных штыревых кондуктометров с целью последующего их анализа и усовершенствования датчика.

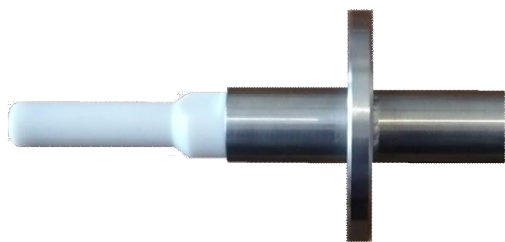


Рисунок 1 – Внешний вид штыревого индукционного ПИП

В простейшем виде индукционный штыревой первичный измерительный преобразователь представляет собой катушку индуктивности, выполненную на ферромагнитном сердечнике. Эта катушка помещается в жидкость. Эквивалентную схему замещения взаимодействия датчика с жидкостью можно представить в следующем виде (рисунок 2).

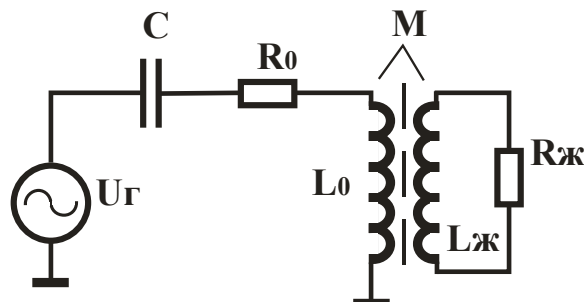


Рисунок 2 – ЭЭСЗ взаимодействия индукционного ПИП с жидкостью. Условные обозначения:  $C$  – электрическая ёмкость;  $R_0$  – эффективное электрическое сопротивление обмотки;  $L_0$  – индуктивность обмотки;  $L_{Ж}$  – индуктивность эффективного жидкостного витка;  $R_{Ж}$  – сопротивление жидкостного витка;  $M$  – взаимная индуктивная связь;  $U_{Г}$  – напряжение генератора

Выражая из системы уравнений (1) ток  $I_1$  и выбирая в качестве рабочего режима резонанс напряжений, получим следующую зависимость:

$$I_1 = \frac{U_{Г}}{R_0 + \frac{\omega^2 \cdot M^2 \cdot R_{Ж}}{R_{Ж}^2 + \omega^2 \cdot L_{Ж}^2}} \quad (2)$$

Зависимость (2) может быть использована для оценки чувствительности измерительных преобразований к изменению удельной

электрической проводимости жидкости (УЭП), с последующим определением условий ее максимального значения:

$$S(\omega) = \frac{\partial I_1(\omega)}{\partial R_{Ж}} = \frac{M^2 \cdot \omega^2 \cdot (R_{Ж}^2 - L_{Ж}^2 \cdot \omega^2)}{(R_0 \cdot L_{Ж} \cdot \omega^2 + M^2 \cdot \omega^2 \cdot R_{Ж} + R_0 \cdot R_{Ж})^2} \quad (3)$$

Условие для максимума чувствительности выражается из следующей зависимости:

$$\frac{\partial S(\omega)}{\partial \omega} = \frac{2 \cdot M^2 \cdot \omega \cdot R_{Ж}^2}{(R_0 \cdot L_{Ж} \cdot \omega^2 + M^2 \cdot \omega^2 \cdot R_{Ж} + R_0 \cdot R_{Ж})^3} \times \frac{(3 \cdot R_0 \cdot L_{Ж}^2 \cdot \omega^2 + M^2 \cdot \omega^2 \cdot R_{Ж} - R_0 \cdot R_{Ж}^2)}{(R_0 \cdot L_{Ж} \cdot \omega^2 + M^2 \cdot \omega^2 \cdot R_{Ж} + R_0 \cdot R_{Ж})^3} = 0 \quad (4)$$

В результате из (4) получим выражение, определяющее зависимость частоты колебаний от параметров ЭЭСЗ для обеспечения максимальной чувствительности:

$$\omega_s \approx \frac{\sqrt{R_0 \cdot R_{Ж}}}{M}, \quad (5)$$

где  $L_{Ж} \cdot \omega \ll M$  и  $L_{Ж} \cdot \omega \ll R_{Ж}$ .

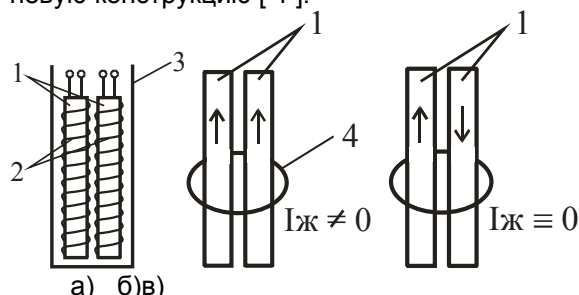
Таким образом, при малых значениях УЭП жидкости (большом  $R_{Ж}$ ) и низкой добротности индуктивности (большом  $R_0$ ) частота резонансных колебаний должна быть высокой. При высоких УЭП значение частоты колебаний уменьшается. Однако, следует отметить, что чем выше частота колебаний, тем максимум чувствительности менее выражен. Тем не менее, при проектировании ПИП необходимо обеспечивать как можно большую чувствительность к малым значениям УЭП в диапазоне измерений. Поскольку при высоких значениях УЭП измерительный сигнал ПИП, как правило, имеет достаточный уровень для обеспечения требуемой погрешности.

Однако погрешность измерений в значительной степени определяет температура ПИП, изменяющая как  $R_0$ , так и  $L_0$  и  $L_{Ж}$ , а также стабильность электронной схемы возбуждения колебаний и измерений.

Снизить влияние вышеперечисленных неинформационных воздействий возможно путем постоянной калибровки ПИП, однако, выполнять эти действия затруднительно в условиях непрерывного контроля УЭП в технологическом процессе.

## РАЗДЕЛ II. ИЗМЕРЕНИЯ В ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУКАХ И ТЕХНИКЕ

Для реализации режима калибровки ПИП было предложено использовать двухстержневую конструкцию [ 1 ].



а) б) в)  
Рисунок 3 – Двухстержневой индукционный ПИП. Условные обозначения:

1 – ферромагнитные сердечники; 2 – обмотки; 3 – защитный чехол; 4 – жидкостной виток (условное обозначение);

а) – конструкция двух-стержневого индукционного кондуктометра;

б) – согласное направление магнитных потоков в сердечниках;

в) – встречное направление магнитных потоков в сердечниках;

Концы обмоток одной из катушек имеют возможность меняться местами подключения, тем самым обеспечивается «инвертирование» направления движения электрического тока относительно другой катушки и соответственно «инвертирование» направления магнитного поля. В результате, когда обмотки включены согласно – в любой момент времени магнитные потоки совпадают по направлению (Рисунок 3 б), ПИП взаимодействует с жидкостью. В случае когда магнитные поля направлены встречно – обратное включение обмотки, результирующий магнитный поток, проходящий через замкнутый жидкостной виток равен нулю, то есть взаимодействия с жидкостью не происходит.

$$\left\{ \begin{array}{l} I_{\text{сог}} = \frac{U_{\Gamma}}{R_0 + \frac{\omega^2 \cdot M^2 \cdot R_{\text{ж}}}{R_{\text{ж}}^2 + \omega^2 \cdot L_{\text{ж}}^2}}, \\ I_{\text{встр}} = \frac{U_{\Gamma}}{k \cdot R_0} \end{array} \right. \quad (6)$$

где  $k$  – коэффициент, определяемый зависимостью амплитуды колебаний от частоты колебаний, необходимо учитывать в результате изменения результирующей индуктивности ПИП при переключении обмотки.

Однако нетрудно заметить, что составляющие  $R_0$  и  $U_{\Gamma}$  в систему (6) входят по-разному. Поэтому исключение этих двух составляющих из результатов измерений потребует прибегать к достаточно сложным вы-

числениям. По крайней мере, простыми операциями вычисления отношения амплитуд колебаний при встречном и согласном включении обмотки или вычислением их разности обойтись не удастся. Более сложные вычислительные действия в данном случае будут свидетельствовать о неэффективной организации измерительных преобразований.

В результате был предложен компенсационный вариант индукционного ПИП, эквивалентная схема замещения которого представлены на рисунке 4.

В данном варианте обмотка  $L_k$  охватывает оба сердечника сразу, имитируя тем самым жидкостной виток. Однако в цепь  $L_k$  включен усилитель с изменяемым коэффициентом усиления, посредством которого осуществляется восполнение энергии, затраченной в жидкости. Условие баланса, анализируя электрические уравнения для эквивалентной схемы замещения (рисунок 4а) получить достаточно легко:

$$\frac{R_4}{N_k^2 \cdot n \cdot \eta} = R_{\text{ж}}, \quad (7)$$

где  $N_k$  – количество витков в обмотке  $L_k$ ;

$n$  – коэффициент усиления усилителя;

$\eta$  – коэффициент, зависящий от отношения коэффициентов потокосцепления обмотки  $L_k$  и жидкостного витка  $L_{\text{ж}}$  (типовое значение от 0.8 до 0.9).

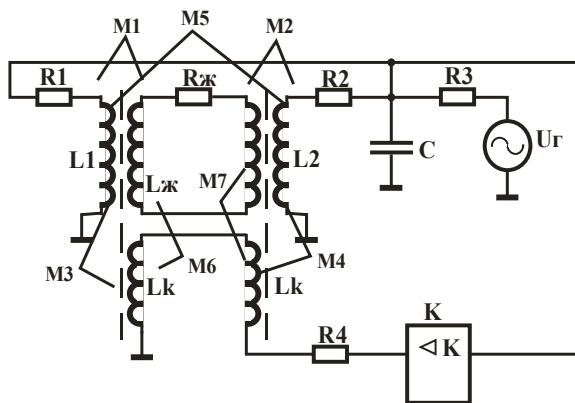


Рисунок 4 – ЭЭСЗ двухстержневого ПИП с компенсацией потери энергии в эффективном жидкостном витке. Условные обозначения:  $L_1, L_2$  – индуктивности катушек сердечников;  $R_1, R_2$  – эффективное электрическое сопротивление катушек сердечников,  $M_i$  – взаимная индуктивная связь,  $R_3$  – балластное электрическое сопротивление,  $K$  – активный масштабный преобразователь (усилитель с управляемым коэффициентом усиления).

В качестве точки равновесия, при достижении которой прекращается изменение ком-

пенсационного воздействия и вычисляется значение  $R_{ж}$ , выбрано отношение амплитуд резонансных колебаний при встречном и согласном включении L1 и L2, соответствующая состоянию, когда проводимость жидкости равна нулю.

Условие согласования резонансной частоты колебаний с диапазоном измерений УЭП для обеспечения максимальной чувствительности, для двухстержневого индукционного ПИП соответствует зависимости (5), поскольку условия взаимодействия с жидкостью не изменились.

Стоит отметить, что в применяемых ранее компенсационных схемах измерений индукционного ПИП, неинформативное воздействие температуры определялось также добротностью колебательной системы, которая в свою очередь зависит от УЭП жидкости. Иными словами, температурную коррекцию результатов измерений необходимо было производить с учётом текущего значения УЭП жидкости, или мириться с большой дополнительной погрешностью измерений. В разработанном варианте добротность колебательной системы, при выполнении условия (7), остается постоянной во всем диапазоне УЭП жидкости. Соответственно, погрешность измерений остаётся постоянной во всём температурном рабочем диапазоне ПИП. В результате серийно, выпускаемые образцы индукционных штыревых кондуктометров имеют диапазон измерений удельной электропроводности от 0,1 до 200 См/м, при температуре от 0 до 150 °С (сохраняют работоспособ-

ность до 200 °С) с относительной погрешностью измерений не более 1% во всём температурном диапазоне.

Дальнейшее совершенствование прибора связано с реализацией адаптивной автоматической калибровкой с целью уменьшения влияния внешних магнито- и электропроводящих элементов конструкции технологического оборудования (трубопроводом, стенок бака и т.д.), а также оптимизацией выполнения обмоток катушек индуктивности для снижения влияния распределенной электрической емкости на эффективность измерительных преобразований.

**Выводы** В результате применения предложенного компенсационного варианта индукционного ПИП удалось уменьшить чувствительность измерительных преобразований к нестабильности электронных схем возбуждения колебаний, а также снизить и стабилизировать результат влияния температуры ПИП на измерение.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент 2299426 Российская Федерация С1 G01N 27/02. Устройство для измерения электропроводности жидких сред [Текст] / Д. Е. Кривобоков; заявитель и патентообладатель Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова. - № 2005133600/28, заявл. 31.10.2005; опубл. 20.05.2007 Бюл.№14 от 20.05.2007.  
К.т.н., доц. **Кривобоков Д.Е.**, тел. (3852) 26-04-92, krivobok@ab.ru - Алтайский гостехуниверситет.

УДК: 621.389.93

## ВЫДЕЛЕНИЕ ВИДЕОСИГНАЛА С МУЛЬТИСКАНА МОДУЛЯЦИЕЙ РАЗВЕРТЫВАЮЩЕГО НАПРЯЖЕНИЯ

Ю.К. Шелковников

В статье рассмотрены вопросы формирования видеосигнала с многоэлементного фотоприемника мультискана посредством применения модулированного напряжения развертки. Показано, что за счет модуляции напряжения опроса дифференцирование тока мультискана происходит внутри сканисторной структуры, и для выделения видеосигнала не требуется специальных дифференцирующих устройств, ухудшающих точность его выделения. Выявлено, что выделение переменной составляющей выходного тока мультискана целесообразно производить суммированием выходного тока с его задержанной на четверть периода модуляционной частоты и инвертированной «копией».

**Ключевые слова:** Мультискан, сканисторная структура, видеосигнал, развертывающее напряжение, модуляция, синхронное детектирование

#### Введение

Многоэлементный фотоприемник мультискан обладает широкими функциональ-

ми возможностями и применяется в прецизионных бесконтактных измерителях перемещений, скоростей, взаимного положения объ-