

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 621.318

DOI 10.12737/4470

Датчик электропроводности жидкости, протекающей в диэлектрической трубе***А. П. Попов, А. О. Чугулёв, М. Р. Винокуров**

Предлагается принципиально новая конструкция бесконтактного индуктивного датчика для контроля электропроводности жидкостей, которые применяются в химической, нефтедобывающей, пищевой и других отраслях промышленности. Исследование магнитного поля датчика выполнено с использованием комплекса программ моделирования Elcut 5.6 Professional. В процессе исследования оценивалось влияние на характеристики магнитного поля величины тока возбуждения, его частоты, а также диаметра трубы с электропроводящей жидкостью. При этом скорость движения жидкости предполагалась достаточно малой, не оказывающей заметного влияния на выходной сигнал датчика. Приводятся результаты исследования электромагнитного поля, возбуждаемого переменным током в цилиндрической трубе, заполненной электропроводящей жидкостью при её неизменных параметрах. На основании результатов моделирования электромагнитных процессов получены рекомендации об оптимальных соотношениях параметров в зависимости от характеристик исследуемой среды.

Ключевые слова: электромагнитное поле, электропроводящая жидкость, характеристики магнитного поля, ток возбуждения, частота, диаметр трубы с электропроводящей жидкостью.

Введение. В настоящее время известны различные приборы для контроля электропроводности жидкостей, которые применяются в химической, нефтедобывающей, пищевой и других отраслях промышленности [1–10]. Наибольший интерес представляют датчики, выполненные по бесконтактному принципу. Цель данной работы заключается в определении зависимости выходного сигнала датчика от геометрических параметров и частоты тока возбуждения при изменении электропроводности жидкости на основе моделирования электромагнитных процессов.

Постановка задачи и метод исследования. Задача решается при независимых от величины тока возбуждения и его частоты параметрах жидкой среды. При этом скорость движения жидкости принимается достаточно малой, не оказывающей заметного влияния на выходной сигнал датчика.

В состав исследуемого датчика входят: обмотка возбуждения из медного изолированного провода диаметром 0,5 мм с числом витков $w_1 = 240$, которая намотана на диэлектрическую трубу толщиной 2 мм и внутренним диаметром D , а также сигнальная обмотка из медного изолированного провода диаметром 0,1 мм с числом витков $w_2 = 60$. С внешней стороны датчик закрывает цилиндрический магнитный экран, предотвращающий влияние на сигнал внешних магнитных полей (рис. 1). По обмотке возбуждения протекает синусоидальный ток заданной частоты с амплитудой 0,1 А. В данных условиях величина электродвижущей силы (ЭДС), наводимой в сигнальной обмотке будет зависеть от глубины проникновения магнитного поля вглубь жидкости. Исходя из этого, в ходе исследований в качестве изменяемых параметров датчика были приняты: электропроводность жидкости, частота тока в обмотке возбуждения, внутренний диаметр диэлектрической трубы, в которой находится (протекает) жидкость.

Исследования магнитного поля датчика выполнены с использованием комплекса программ моделирования Elcut 5.6 Professional, в основе работы которого лежит метод конечных элементов

* Работа выполнена в рамках инициативной НИР.

[4]. Рассматриваемая задача электромагнитного поля переменных токов является осесимметричной.

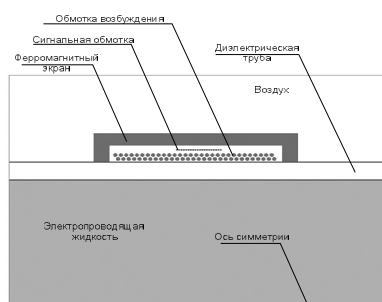


Рис. 1. Конфигурация датчика электропроводности

В созданной модели датчика были приняты следующие параметры:

- электропроводность диэлектрической трубы $\gamma = 0$;
- относительная магнитная проницаемость жидкости, меди и диэлектрика $\mu_{отн} = 1$;
- относительная магнитная проницаемость экрана $\mu_{отн} = 1000$;
- электропроводность магнитного экрана $\gamma = 0$;
- электропроводность медных проводников $\gamma = 58 \cdot 10^6$ см/м;
- электропроводность жидкости $\gamma_i = 5 \cdot 10^2 \dots 3 \cdot 10^6$ см/м;
- частота синусоидального тока в обмотке возбуждения $f = 10 \dots 100$ кГц;
- амплитудное значение синусоидального тока в обмотке возбуждения 0,1 А.

На рис. 2 и 3 в качестве примеров представлены картины линий магнитной индукции исследуемой модели датчика при диаметре трубы $D = 40$ мм и различных значениях электропроводности жидкости.

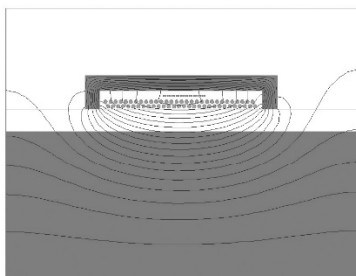


Рис. 2. Картина магнитного поля датчика для электропроводности жидкости $\gamma = 5 \cdot 10^3$ см/м и частоты тока в обмотке возбуждения $f = 100$ кГц

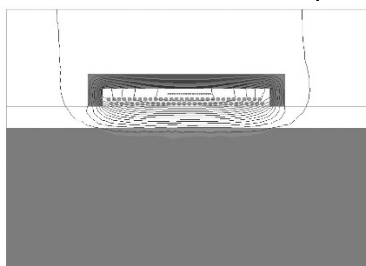


Рис. 3. Картина магнитного поля датчика для электропроводности жидкости $\gamma = 3 \cdot 10^6$ см/м и частоты тока в обмотке возбуждения $f = 100$ кГц

Результаты расчёта электромагнитных процессов в датчике с помощью программы Elcut представлены в табл. 1–4.

Таблица 1

Амплитудные значения ЭДС сигнальной обмотки в зависимости от электропроводности жидкости, при внутреннем диаметре трубы $D = 40$ мм и частоте тока $f = 10$ кГц

Электропроводность жидкости γ , см/м	Потокоосцепление сигнальной обмотки $\Psi_m \cdot 10^{-6}$, Вб	ЭДС сигнальной обмотки, $E_m = \omega \cdot \Psi_m$, В	Глубина проникновения $\Delta = \sqrt{2 / (\omega \gamma \mu)}$, мм
$5 \cdot 10^2$	9,170	0,576	225
$5 \cdot 10^3$	9,168	0,576	71,0
$5 \cdot 10^4$	9,012	0,566	23,0
$5 \cdot 10^5$	6,456	0,405	7,12
$1 \cdot 10^6$	5,669	0,356	5,03
$3 \cdot 10^6$	4,757	0,299	2,91

Таблица 2

Амплитудные значения ЭДС сигнальной обмотки в зависимости от электропроводности жидкости, при внутреннем диаметре трубы $D = 40$ мм и частоте тока $f = 100$ кГц

Электропроводность жидкости γ , см/м	Потокоосцепление сигнальной обмотки $\Psi_m \cdot 10^{-6}$, Вб	ЭДС сигнальной обмотки, $E_m = \omega \cdot \Psi_m$, В	Глубина проникновения $\Delta = \sqrt{2 / (\omega \gamma \mu)}$, м
$5 \cdot 10^2$	9,073	5,70	71,0
$5 \cdot 10^3$	8,928	5,61	23,0
$5 \cdot 10^4$	6,400	4,02	7,12
$5 \cdot 10^5$	4,396	2,76	2,25
$1 \cdot 10^6$	4,087	2,57	1,59
$3 \cdot 10^6$	3,749	2,36	0,919

Таблица 3

Амплитудные значения ЭДС сигнальной обмотки в зависимости от электропроводности жидкости, при внутреннем диаметре трубы $D = 80$ мм и частоте тока $f = 10$ кГц

Электропроводность жидкости γ , см/м	Потокоосцепление сигнальной обмотки $\Psi_m \cdot 10^{-6}$, Вб	ЭДС сигнальной обмотки, $E_m = \omega \cdot \Psi_m$, В	Глубина проникновения $\Delta = \sqrt{2 / (\omega \gamma \mu)}$, м
$5 \cdot 10^2$	26,07	1,64	225
$5 \cdot 10^3$	25,97	1,63	71,0
$5 \cdot 10^4$	21,04	1,32	23,0
$5 \cdot 10^5$	12,72	0,80	7,12
$1 \cdot 10^6$	11,08	0,70	5,03
$3 \cdot 10^6$	9,200	0,58	2,91

Таблица 4

Амплитудные значения ЭДС сигнальной обмотки в зависимости от электропроводности жидкости, при внутреннем диаметре трубы $D = 80$ мм и частоте тока $f = 100$ кГц

Электропроводность жидкости γ , см/м	Потокоосцепление сигнальной обмотки $\Psi_m \cdot 10^{-6}$, Вб	ЭДС сигнальной обмотки, $E_m = \omega \cdot \Psi_m$, В	Глубина проникновения $\Delta = \sqrt{2 / (\omega \gamma \mu)}$, м
$5 \cdot 10^2$	25,81	16,2	71,0
$5 \cdot 10^3$	20,95	13,2	23,0
$5 \cdot 10^4$	12,62	7,93	7,12
$5 \cdot 10^5$	8,481	5,33	2,25
$1 \cdot 10^6$	7,845	4,93	1,59
$3 \cdot 10^6$	7,163	4,50	0,919

Выводы. На основании полученных результатов моделирования электромагнитных процессов в рассматриваемой системе можно сделать следующие выводы:

1. Чувствительность датчиков данного типа (отношение приращения сигнала к приращению электропроводности жидкости) начинает резко возрастать при уменьшении глубины проникновения электромагнитного поля по сравнению с радиусом трубы, то есть когда $\Delta = \sqrt{2 / (\omega \mu)} < D/2$.
2. Для повышения чувствительности целесообразно увеличивать число витков сигнальной обмотки и амплитудное значение тока возбуждения.
3. Для слабопроводящих жидкостей целесообразно применять ток возбуждения повышенной частоты.

Библиографический список

1. Кулаков, М. В. Технологические измерения и приборы для химических производств / М. В. Кулаков. — Москва : Машиностроение, 1983. — 424 с.
2. Устройство для измерения удельного электрического сопротивления жидких сред : патент 2105317 Рос. Федерация : МПК G01R27 / 22, G01N27 / 02. — № 5062811/09 / Э. Х. Вишняков, Е. И. Леонкин, О. В. Косарев ; заявл. 18.09.92 ; опубл. 20.02.98.
3. Юинг, Г. Инструментальные методы химического анализа / Г. Юинг. — Москва : Мир, 1989. — 383 с.
4. Расчёт электрических и магнитных полей методом конечных элементов с применением комплекса программ Elcut / А. П. Попов [и др.]. — Омск : Изд-во ОмГТУ, 2010. — 84 с.
5. Хоровиц, П. Искусство схемотехники / П. Хоровиц, У. Хилл. — Москва : Мир, 1998. — 147 с.
6. Сильвестр, П. Метод конечных элементов для радиоинженеров и инженеров-электриков / П. Сильвестр, Р. Феррари. — Москва : Мир, 1986. — 229 с.
7. Пасынков, В. В. Материалы электронной техники / В. В. Пасынков, В. С. Сорокин. — Санкт-Петербург : Лань, 2001. — 368 с.
8. Преображенский, А. А. Магнитные материалы и элементы / А. А. Преображенский, Е. Г. Бишард. — Москва : Высш. школа, 1986. — 352 с.
9. Попов, А. П. Энергосберегающий быстродействующий переключатель тока для индуктивных нагрузок / А. П. Попов, А. О. Чугулёв, М. Р. Винокуров // Вестник Дон. гос. техн. ун-та. — 2010. — Т. 10, № 5 (48). — С. 675–682.
10. Попов, А. П. Индукционный датчик линейных перемещений с отрицательной обратной связью по потокосцеплению обмотки возбуждения / А. П. Попов, А. О. Чугулёв, М. Р. Винокуров // Вестник Дон. гос. техн. ун-та. — 2012. — № 2 (63). — С. 54–59.

Материал поступил в редакцию 08.05.2013.

References

1. Kulakov, M. V. Tekhnologicheskiye izmereniya i pribory dlya khimicheskikh proizvodstv. [Technological dimensions and devices for chemical plants.] Moscow: Mashinostroenie, 1983, 424 p. (in Russian).
2. Vishnyakov, E. K., Leonkin, E. I., Kosarev, O. V. Ustroystvo dlya izmereniya udelnogo elektricheskogo soprotivleniya zhidkikh sred : patent 2105317 Ros. Federatsiya : MPK G01R27 / 22, G01N27 / 02. [A device for measuring the specific electrical resistivity of liquid media: patent RF 2105317 : IPC/G01R27 22/02/G01N27.] Patent RF no. 5062811/09, 1998 (in Russian).

3. Ewing, G. Instrumental'nyye metody khimicheskogo analiza. [Instrumental methods of chemical analysis.] Moscow : Mir, 1989, 383 p. (in Russian).
4. Popov, A. P., et al. Raschet elektricheskikh i magnitnykh poley metodom konechnykh elementov s primeneniym kompleksa programm Elcut. [Calculation of the electric and magnetic fields using finite element program complex Elcut.] Omsk : Izdatel'stvo OMGU, 2010, 84 p. (in Russian).
5. Horovits, P., Hill, U. Iskustvo skhemotekhniki. [Circuitry art.] Moscow : Mir, 1998 (in Russian).
6. Sylvester, P., Ferrari, R. Metod konechnykh elementov dlya radioinzhenerov i inzhenerov-elektrikov. [Method of final elements for radio- and electrical engineers.] Moscow : Mir, 1986, 229 p. (in Russian).
7. Pasyukov, V. V., Sorokin, V. S. Materialy elektronnoy tekhniki. [Materials of electronic equipment.] Saint Petersburg : Lan, 2001, 368 p. (in Russian).
8. Preobrazhensky, A. A., Bishard, E. G. Magnitnyye materialy i elementy. [Magnetic materials and elements.] Moscow: Vysshaya shkola, 1986, 352 p. (in Russian).
9. Popov, A. P., Chugulev, A. O., Vinokurov, M. R. Energoberegayushchiy bystrodeystvuyushchiy pereklyuchatel toka dlya induktivnykh nagruzok. [Energy-efficient high-speed current selector for inductive loadings.] Vestnik of DSTU, 2010, no. 5 (48), vol. 10, pp. 675–682 (in Russian).
10. Popov, A. P., Chugulev, A. O., Vinokurov, M. R. Induktsionnyy datchik lineynykh peremeshcheniy s otritsatel'noy obratnoy svyazyu po potokostsepleniyu obmotki vzbuzhdeniya. [Induction gage of degenerative linear displacements on flux linkage of drive winding.] Vestnik of DSTU, 2012, no. 2 (63), iss. 1, pp. 54–59 (in Russian).

CONDUCTION SENSOR OF LIQUID FLOWING IN DIELECTRIC PIPE*

A. P. Popov, A. O. Chugulev, M. R. Vinokurov

A fundamentally new design of the contactless inductive sensor for the conduction control of the liquids applied in the chemical, oil-extracting, food, and other industries is offered. The sensor magnetic field is studied using modeling software system Elcut 5.6 Professional. In the course of the investigations, the impact of the excitation current magnitude, its frequency, as well as the diameter of the pipe with conducting liquid, on the magnetic-field pattern is estimated. Thus, the fluid speed was assumed rather low, unaffected the pickup signal. The studies of the electromagnetic field excited by the alternating current in a cylindrical tube filled with the conductive fluid under its constant parameters are resulted. On the basis of the electromagnetic process simulation results, the recommendations on the optimum parameter ratio dependent on the test medium characteristics are obtained.

Keywords: *electromagnetic field, conductive fluid, magnetic field characteristics, excitation current, frequency, diameter of tube with conductive fluid.*

* The research is done within the frame of the independent R&D.