

работы ШИМ-регулятора схемы, который реализован на микроконтроллере STM-32F4 – DISCOVERY, при этом минимальное время импульса на выходе микроконтроллера составило 200 нс. Для стабилизации выходного напряжения применен ПИД-регулятор, в настоящее время заканчивается написание программы для микроконтроллера. Особенностью схемы является то, что ППН ячейки реализованы на базе базовой схемы понижающего преобразователя постоянного тока (с обратным диодом).

### **Список информационных источников**

1. Регуляторы напряжения для питания современных процессоров семейства Intel Pentium и процессоров AMD [Электронный ресурс] / Мир периферийных устройств ПК, технический журнал для специалистов сервисных служб – Электрон. дан. – 2011 – Режим доступа: <http://www.mirpu.ru/motherboard/81-2011-02-12-20-10-05/153--intel-pentium-amd.html>, свободный. – Загл. с экрана. — Яз. рус.

2. Огородников Д.Н., Ярославцев Е.В. Формирователь синусоидального напряжения на основе параллельного резонансного инвертора с многоканальным входным звеном // X Юбилейная международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых учёных “Современные техника и технологии”, посвященная 400-летию г. Томска, 29 марта – 2 апреля 2004 г. Труды. В 2-х т. – Томск: Изд-во Томского политехн. ун-та, 2004. – Т. 1. – С. 110-112.

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ВИХРЕТОКОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ВНУТРЕННЕГО ДИАМЕТРА ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ ТРУБ**

*Чжун Ян*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научный руководитель: Гольдштейн А.Е., д.т.н., профессор кафедры  
информационной и измерительной техники*

Для обеспечения надежности при эксплуатации различных электропроводящих труб необходимо контролировать в процессе производства и эксплуатации различные параметры. При широком использовании электропроводящих труб в промышленности и в бытовой сфере возникает задача контроля внутреннего диаметра труб.

Для измерения внутреннего диаметра электропроводящих труб используется накладной трансформаторный вихретоковый преобразователь (НТВТП), конструкция которого показана на рис. 1.

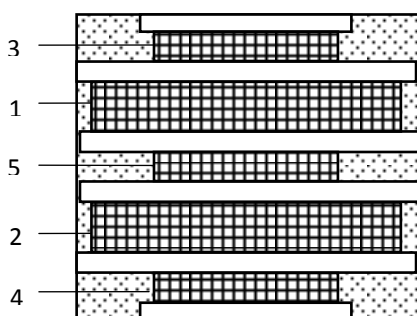


Рис. 1. Конструкция накладного трансформаторного вихретокового преобразователя

Переменным током, протекающим через последовательно соединенные и согласно включенные обмотки возбуждения 1 и 2, создается переменное магнитное поле, наводящее вихревые токи в поверхностном слое контролируемой трубы. Измерение индуцированных вихревых токов осуществляется с помощью измерительных обмоток 3 и 4. Обмотка 5 используется для компенсации начальных напряжений измерительных обмоток.

Задача измерения внутреннего диаметра трубы, по сути, сводится к классической для вихретокового метода контроле задаче измерения зазоров между накладным вихретоковым преобразователем (ВТП) и поверхностью электропроводящего объекта. В данном случае измерение внутреннего диаметра заключается в том, что измерительная обмотка 3 измеряет зазор  $h_1$ , а измерительная обмотка 4 измеряет зазор  $h_2$ . В конце суммируются измеряемые значения зазоров  $h_1$ ,  $h_2$  и длина НТВТП  $h_0$  для определения внутреннего диаметра трубы. Принцип измерения показан на рис. 2.

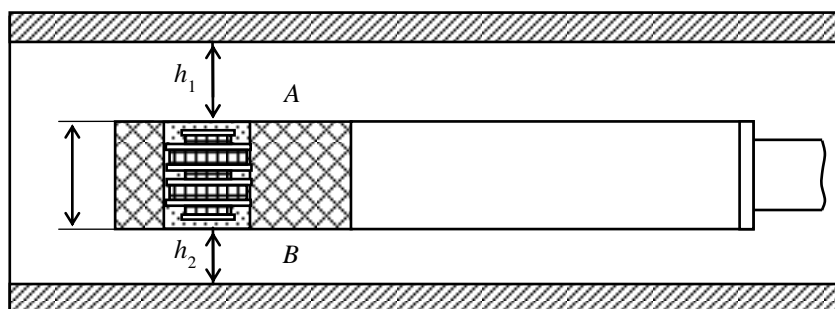


Рис. 2. Принцип измерения внутреннего диаметра трубы.

При математическом моделировании использован НТВТП длиной 16мм и применены трубы с внутренними диаметрами 17мм, 18мм, 19мм. Известно что комплексное вносимое напряжение двухобмоточного ВТП определяется выражением [1]:

$$\dot{U}_{ВН} = j\mu_0 W_B W_H \omega I R \pi \int_0^{\infty} \varphi_{ок} \cdot \exp(-xh^*) \cdot J_1(x \frac{R_B}{R_H}) \cdot J_1(x \frac{R_H}{R_B}) dx, \quad (1)$$

где  $j = \sqrt{-1}$  – мнимая единица;  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м – магнитная постоянная;  $w_H, w_B$  – количество витков возбуждающей и измерительной обмоток;  $\omega = 2\pi f$  – круговая частота;  $f$  – частота возбуждающей обмотки;  $R = \sqrt{R_B R_H}$  – эквивалентный радиус двух обмоток ВТП;  $R_B, R_H$  – средние радиусы возбуждающей и измерительной обмоток;  $h^* = (h_B + h_H)/R$  – обобщенный параметр, характеризующее расстояние между центрами обмоток ВТП и поверхностью объекта контроля;  $h_H, h_B$  – расстояния от центра соответствующих обмоток ВТП до внешней поверхности объекта контроля;  $J_1$  – функция Бесселя первого рода первого порядка.

С использованием преобразованного выражения (1), при высокой частоте  $f=150$  кГц,  $\Phi_{ок}=1$ , теоретически рассчитали для каждой измерительной обмотки вносимое напряжение от изменения зазора между НТВТП и внутренней поверхностью трубы выражениями [2]:

$$\begin{aligned} U_{ВН1} &= U_{ВН31А} + U_{ВН31В} + U_{ВН32А} + U_{ВН32В} - U_{ВН51А} - U_{ВН51В} - U_{ВН52А} - U_{ВН52В}, \\ U_{ВН2} &= U_{ВН41А} + U_{ВН41В} + U_{ВН42А} + U_{ВН42В} - U_{ВН51А} - U_{ВН51В} - U_{ВН52А} - U_{ВН52В}, \end{aligned} \quad (2)$$

результаты расчета вносимого напряжения от изменения зазора, показаны на рис. 3.

На рис. 3 видно что начальные вносимые напряжения для обеих измерительных обмоток одинаковы. Это объясняется тем, что измерительные обмотки расположены симметрично.

Для нормирования значений вносимого напряжения  $\dot{U}_{ВН}$  использовано максимальное значение вносимого напряжения  $\dot{U}_m$ , соответствующее значениям зазоров  $h_1=0$  и  $h_2=0$  [2]. Тогда относительное вносимое напряжение для измерительной обмотки определяется формой:

$$\dot{U}_{BH}^* = \dot{U}_{BH} / \dot{U}_m \quad (3)$$

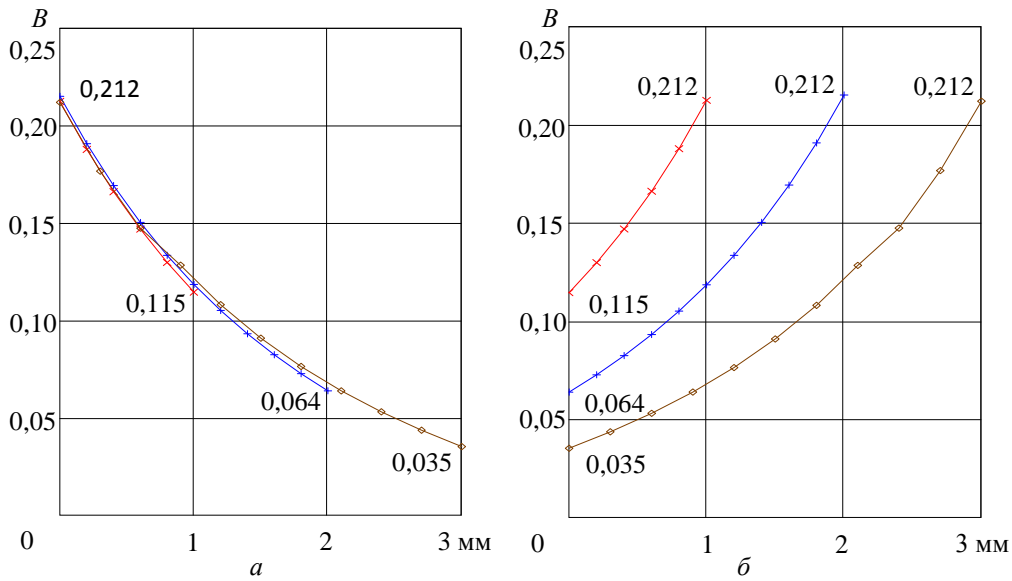


Рис. 3. Расчетные вносимые напряжения в:  
*a* – измерительной обмотке 3 от изменения зазора  $h_1$   
*б* – измерительной обмотке 4 от изменения зазора  $h_2$ .

При использовании выражения расчета относительного вносимого напряжения (3). Получены зависимости расчета относительного вносимого напряжения от изменения зазора, показаны в рис. 4.

По результатам расчета относительного вносимого напряжения

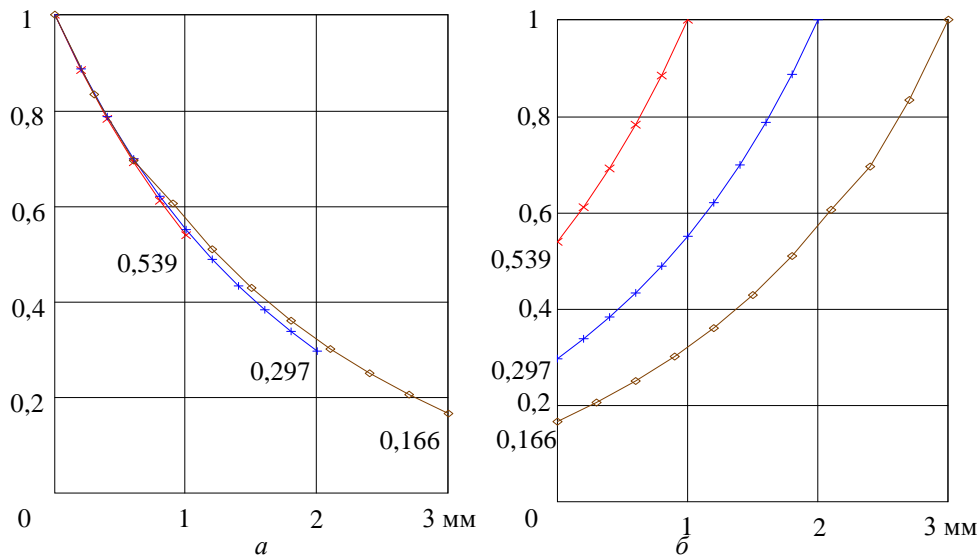


Рис. 4. Относительное вносимое напряжение в:  
*a* – измерительной обмотке 3 от изменения зазора  $h_1$   
*б* – измерительной обмотке 4 от изменения зазора  $h_2$ .

можно определить внутренний диаметр трубы с помощью выражения:

$$D=h_0+K\cdot(\ln A_1+\ln A_2), \quad (4)$$

где  $K$  – коэффициент усиления, зависящего от свойства трубы.  $A_1, A_2$  – соответствующие амплитуды относительного вносимого напряжения измерительных обмоток 3 и 4. Результаты расчета показаны на рис. 5.

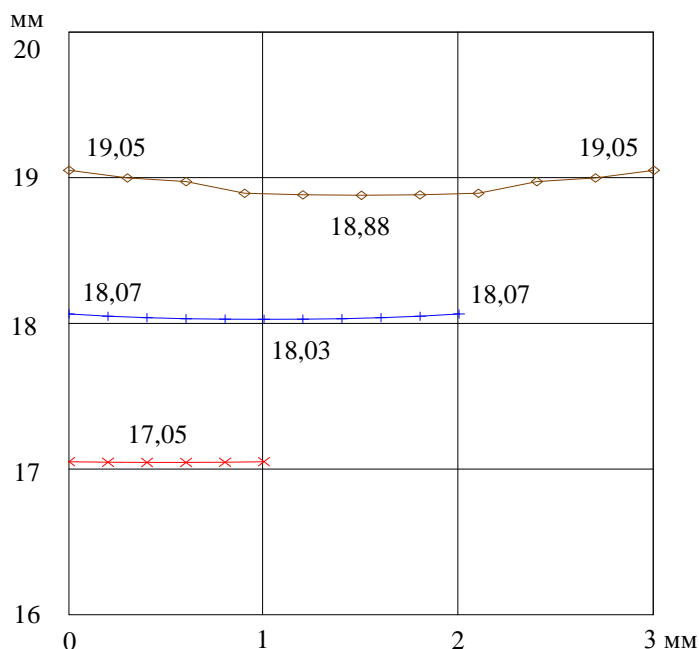


Рис.5. Расчетные внутренние диаметры труб.

На рис 5 видно что расчетные внутренние диаметры труб очень близки к моделированным значениям. Также заметно что погрешность расчета увеличивается при возрастании разности между диаметром трубы  $D$  и длиной НТВТП  $h_0$ . Поэтому максимальная погрешность получилась при расчете внутреннего диаметра 19мм на 0,12мм, т.е. максимальная относительная погрешность составляет 0,63%.

В общем можно сказать что результаты моделирования достаточно хорошие. Применяемые выражения (1), (2), (3) и (4) с высокой точностью рассчитываются при небольшой разности между диаметром трубы  $D$  и длиной НТВТП  $h_0$ . Тип данного НТВТП будет хорошо работать в эксперименте и в эксплуатации.

### Список информационных источников

1. Неразрушающий контроль. Справочник / под ред. В.В. Ключева: в 7 томах. Т 2: в 2-х кн.: Кн. 1: Контроль герметичности. Кн. 2: Вихретоковый контроль. – М.: Машиностроение, 2003. – 688 с.

2. Гольдштейн А.Е., Булгаков В.Ф. Контроль внутреннего диаметра труб вихретоковым методом. – Дефектоскопия, 2013, № 11, с. 51 – 58.

## **РАЗРАБОТКА УЛЬТРАЗВУКОВОГО ГЕНЕРАТОРА ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ МЕДИКАМЕНТОЗНОГО РАСТВОРЕНИЯ КОНКРЕМЕНТОВ ЖЕЛЧНОГО ПУЗЫРЯ**

*Юношев А.Н.*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научный руководитель: Киселева Е.Ю., к.т.н., доцент кафедры  
промышленной и медицинской электроники*

В настоящее время желчнокаменная болезнь стала настолько распространенной, что согласно данным медицинской статистики количество хирургических вмешательств по данному поводу стало превышать количество операций при остром аппендиците. Суть заболевания заключается в том, что в желчном пузыре под воздействием некоторых причин начинает происходить сгущение желчи и образование камней (конкрементов).

В 80% всех случаев камни желчного пузыря состоят из холестерина, и они образуются при перенасыщении желчи этим веществом. Развитию заболевания нередко предшествует дискинезия желчевыводящих путей (следствием которой является застой желчи) и наличие воспалительного процесса (холангит, холецистит). Болезнь развивается на фоне воспаления желчевыводящих путей, нарушения обмена веществ, застоя желчи в желчном пузыре. Сахарный диабет, дисбактериоз, инфекционные заболевания пищеварительного тракта (хеликобактериоз, гепатит, брюшной тиф, сальмонеллез и др.) также способствуют возникновению желчнокаменной болезни. [1]

Лечить желчнокаменную болезнь можно терапевтически (без операции) и хирургически. Как правило, лечение начинают с терапевтических методов.

Растворение камней в желчном пузыре с помощью специальных препаратов (урсодезоксихолевой и хенодезоксихолевой кислот). Метод применяется только в случае единичных небольших (до 2 см) холестериновых (рентгеноотрицательных) камней, при отсутствии противопоказаний. Курс лечения длится 1-1,5 года (достаточно долгий и затратный). Через несколько лет более чем у половины больных вновь образуются камни.