

Созданные авторами компьютерные имитационные тренажеры внедрены в учебный процесс АВМС им. П.С.Нахимова. В настоящее время продолжается создание комплексного тренажера дизельной судовой энергетической установки. Новый тренажер имеет большую функциональность и более удобный интерфейс взаимодействия с пользователем. Среди возможных направлений дальнейшего развития тренажеров отметим следующие: возможность использования в описании математических моделей элементов нейронных сетей, нечеткой логики и т.д., поскольку достаточно часто с помощью этих средств можно с большей скоростью имитировать процесс или явление; более полно использовать средства формирования виртуальной реальности при создании компьютерного тренажера; предоставление возможности параметрического задания 3D объектов; дальнейшая интеграция с программным обеспечением сторонних производителей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гильманов Ю.А. Использование среды LabVIEW для разработки лабораторного практикума по дисциплинам нефтегазового направления / Ю.А. Гильманов, М.Д. Гаммер, В.И. Колесов // Сборник трудов междунауч.-практ. конференции «Образовательные, научные и инженерные приложения в среде LabVIEW и технологии National Instruments» конфер., Москва, 18-19 нояб. 2005 г. – М., 2005. – С. 27–28.
2. Колесов В.И. Имитационное моделирование испытаний насосных установок / В. И. Колесов, М. Д. Гаммер, А. В. Немков // Проблемы развития ТЭК Западной Сибири на современном этапе: труды Междунауч. науч.-техн. конф., посвященной 40-ю Тюменского государственного нефтегазового университета, 25-27 сент. 2003 г. – Тюмень: ТюмГНГУ 2003. – С. 98–100.
3. Кузнецов В.В. Перспективи використання комп'ютерних тренажерів у військово-морських силах Збройних Сил України / В.В. Кузнецов, В.Ф. Тишков, А.Ю. Гаршин // Морська держава №5, 2004. С. 59–64.
4. Кузнецов В.В. Математическое моделирование компрессоров в пароконпрессорных холодильных машинах / В.В. Кузнецов // 36. наук. пр. СВМІ. – Севастополь, 2009. – Вып. 1(16). – С. 109–112.
5. Кузнецов В.В. Имитационное моделирование рабочего процесса судового дизеля // 36. наук. пр. АВМС им. П.С.Нахимова, Севастополь, 2010 – Вып.3(3). – С. 159–162.
6. Применение компьютерных имитационных тренажеров и систем виртуальной реальности в учебном процессе: [Электронный ресурс] – Электрон. дан. – Режим доступа: <http://www.really.ru/kb.php?mode=article&k=41>.

На основі досвіду створення й використання в навчальному процесі комп'ютерних тренажерів представлені основні критерії їх ефективності й шляхи їх підвищення.

Ключові слова: комп'ютерний тренажер, імітаційна модель, критерій ефективності.

Based on the experience of creation and use in teaching computer simulators are the main criteria for their effectiveness and ways to increase the service.

Key words: computer simulator, simulation model, the criterion of efficiency.

УДК 681.2.08: 621.311.25

Быковский Ю.М., Левченко В.В.

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ РАСПРЕДЕЛЕННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ С ПОМОЩЬЮ ДАТЧИКА ХОЛЛА

Разработана методика оценки пространственного распределения постоянного и переменного магнитных полей с помощью датчика Холла.

Ключевые слова: постоянное (переменное) магнитное поле, датчик Холла, катушка индуктивности.

Введение. Постановка проблемы. В процессе выполнения исследований, связанных с изучением влияния магнитного поля со сложной динамикой его изменения на работу цифрового интеллектуального датчика температуры DS18B20 [1], возникла необходимость непосредственной оценки параметров магнитного поля (МП) в области размещения датчика. Отсутствие в нашем распоряжении специализированного магнитометра с возможностью точечной оценки векторных и количественных параметров поля, заставило провести дополнительное исследование по разработке приемлемого в такой ситуации метода решения возникшей проблемы.

Одним из доступных магниточувствительных элементов, позволяющих, в принципе, справиться с поставленной задачей, является датчик Холла (ДХ). Эти устройства достаточно хорошо изучены и находят широкое применение в технике, в частности, в качестве индикаторов изменений магнитного поля в системах управления и стабилизации частоты вращающихся объектов [2,3]. Однако, для решения измерительной задачи, с получением количественной оценки результатов, имеющейся по ДХ информации недостаточно. Необходимы тарировочные данные для конкретных типов ДХ, полученные в различных по характеру магнитных полях.

Целью статьи является разработка методики тарировки (построения градуировочной характеристики) датчика Холла без использования труднодоступного и, как правило, дорогостоящего оборудования.

Тарировка датчика Холла в постоянном магнитном поле. В качестве объекта для исследований был выбран датчик Холла типа SS495A. Такое решение обусловлено следующими факторами: датчик размещен в корпусе ТО92 и практически совпадает по геометрическим параметрам с исследуемым датчиком температуры; кроме того, для него характерна зависимость чувствительности от угла воздействия источника магнитного поля. Таким образом, располагая ДХ в одной плоскости с исследуемым датчиком и в непосредственной близости от него можно оценивать параметры магнитного поля, непосредственно воздействующее на чувствительный исследуемый преобразователь. Структурная схема датчика Холла приведена на рис. 1.

Двухтактный выходной каскад обеспечивает формирование в исходном состоянии датчика (без внешнего воздействия) на выходе напряжения $U_{\text{вых}} = 0,5U_{\text{пит}}$.

В характеристиках рассматриваемого датчика Холла, доступных для использования, не соотносятся значения измеряемого магнитного поля и выходных напряжений, но представлен диапазон измеряемых полей (± 600 Гн) и допустимых питающих напряжений от 4,5 до 10,5 вольт. Эти данные могут быть использованы для анализа области применения датчика Холла в качестве нормирующего датчика. С этой целью были проведены исследования, включающие тарировку датчика, измерение его азимутальной чувствительности и динамического диапазона, а также оценку влияния, на результаты работы датчика, изменения напряжения источника питания во всём допустимом диапазоне.

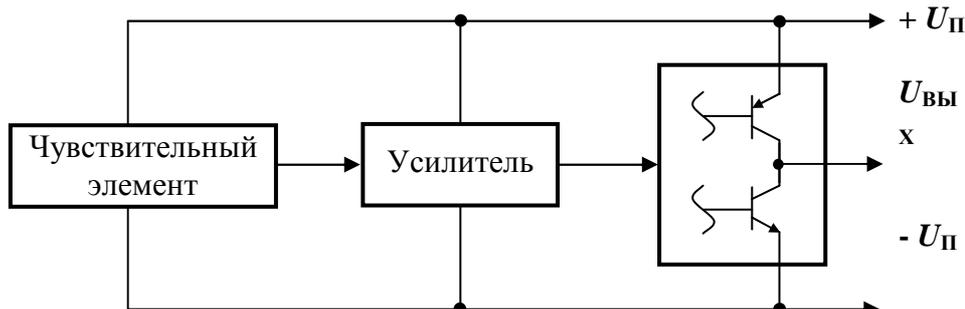


Рис.1. Структурная схема датчика Холла типа SS495A

Для нормирования параметров датчика Холла была использована измерительная катушка индуктивности на картонном каркасе, имеющая 1343 витков провода ПЭЛШО, диаметром 0,2 мм. Длина намотки (L) составляет 85 мм, средний диаметр катушки (D) равен 45 мм. Эти геометрические размеры определили возможности моделирования катушкой напряжённости постоянного магнитного поля. Поскольку наиболее однородное и однозначно определяемое поле создаётся в геометрическом центре катушки [4], именно здесь был размещён тарированный датчик Холла. Схема тарировочной установки приведена на рис. 2.

Для геометрического центра соленоида с током, в котором размещён датчик Холла, имеет силу следующая формула напряжённости магнитного поля [4]

$$H_{max} = \frac{N}{L} I_{кат} \left[1 + \left(\frac{D}{L} \right)^2 \right]^{-1/2} = I_{кат} \cdot G, \text{ А/м}, \quad (1)$$

где $G = \frac{N}{L} \left[1 + \left(\frac{D}{L} \right)^2 \right]^{-1/2}$;

D и L – указанные выше геометрические параметры катушки;

N – число витков катушки;

$I_{кат}$ – сила тока, протекающего через катушку.

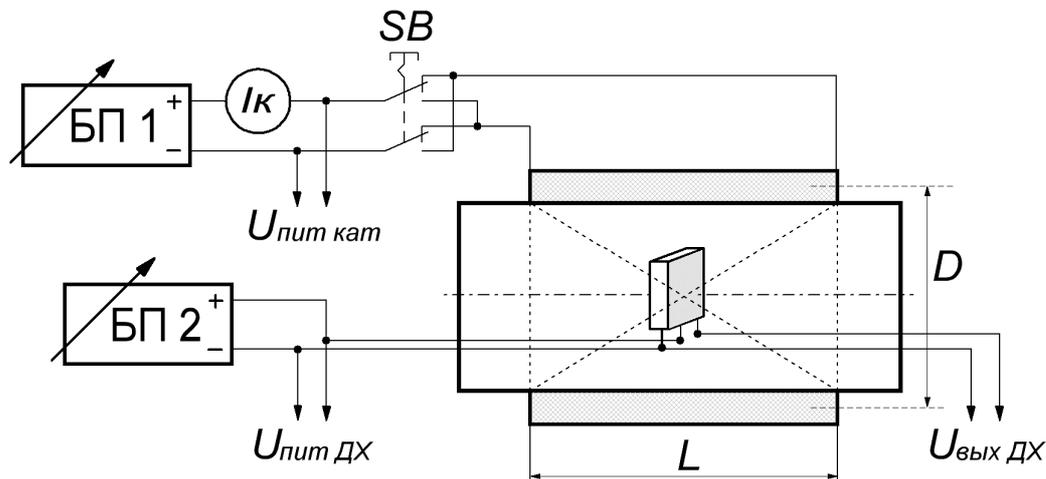


Рис. 2. Схема тарировки датчика Холла по магнитному полю катушки

Питание катушки осуществлялось от регулируемого стабилизированного источника постоянного тока, что позволило провести исследования при различных фиксированных значениях токов, протекающих через катушку.

Кроме того, в опыте была предусмотрена возможность изменения направления протекания тока для оценки магнитной асимметрии датчика.

В табл. 1 собраны результаты измерений выходного напряжения датчика Холла при различных токах, протекающих через катушку. Напряжение питания датчика Холла выбрано равным 9 В.

Таблица 1

Результаты измерений выходного напряжения датчика Холла

I_{кат}, мА	-175	-150	-125	-100	-80	0	80	100	125	150	175
H, А/м	-1597	-1368	-1140	-912	-730	0	730	912	1140	1368	1597
U_{вых ДХ}, В	2,77	3,01	3,28	3,54	3,82	4,63	5,44	5,62	5,91	6,18	6,45

Дальнейшая обработка результатов будет выполняться с помощью программной среды Matlab. По полученным экспериментальным значениям построены графики, изображённые на рис. 3 и рис.4.

Линейная аппроксимация полученных результатов позволяет получить эмпирическую формулу зависимости выходного напряжения ДХ от тока катушки (2).

$$U_{\text{ВЫХ ДХ}} = 0,0105 \cdot I_{\text{КАТ}} + 4,6045. \quad (2)$$

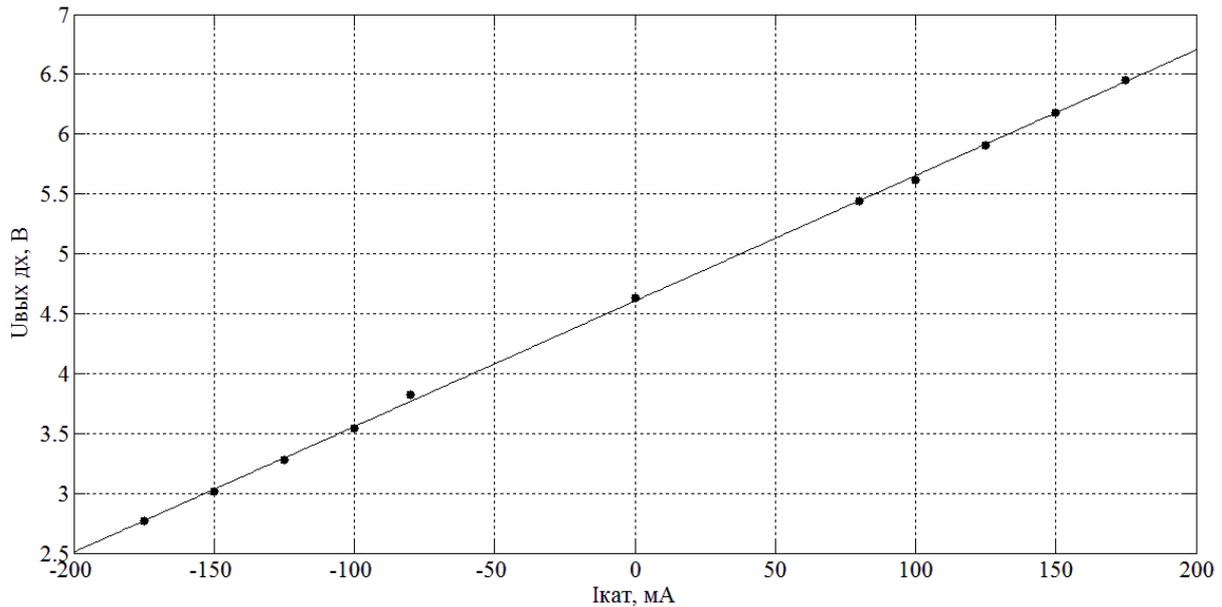


Рис.3. График зависимости напряжения на выходе ДХ от изменения силы тока катушки

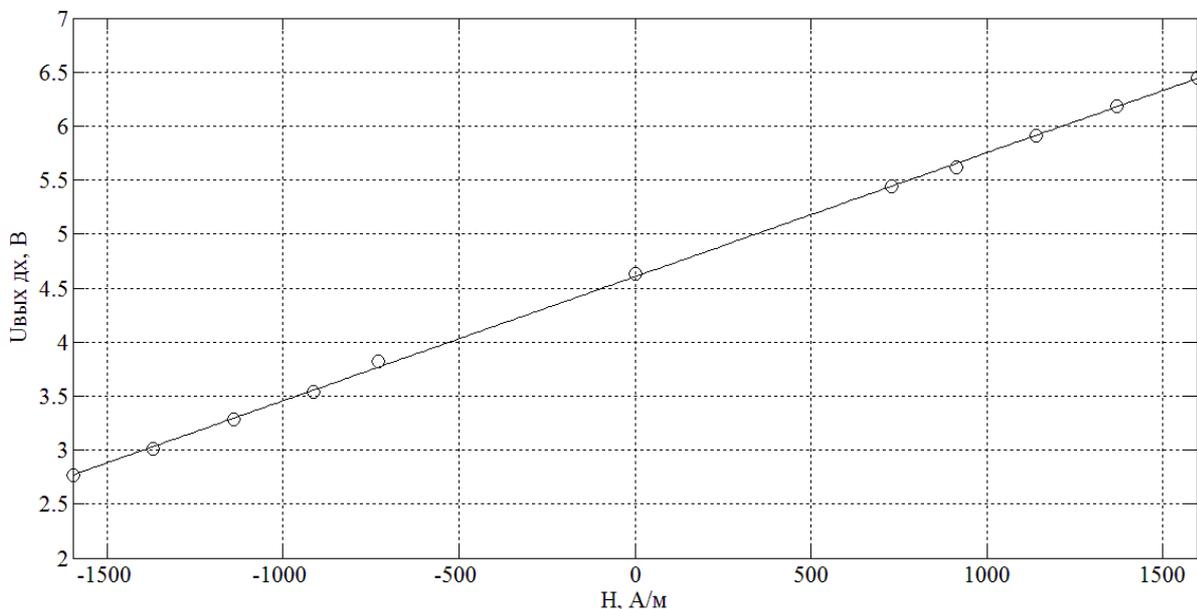


Рис.4. График зависимости напряжения на выходе из ДХ от изменения напряженности МП

Погрешность аппроксимации составляет 0,076 (норма погрешностей указывает на статистическую оценку среднеквадратической погрешности: чем она меньше, тем точнее полученная аппроксимирующая функция).

$$U_{\text{ВЫХ ДХ}} = 0,0011 \cdot H + 4,6045. \quad (3)$$

Погрешность аппроксимации составляет 0,077.

Из выражения (3) получим искомую формулу для определения напряжённости магнитного поля в локальной зоне размещения датчика по выходному напряжению датчика Холла, то есть по результатам тарировочных измерений

$$H = 909,1 \cdot U_{\text{ВЫХ ДХ}} - 4186, \text{ А/м} . \quad (4)$$

Зависимость (4) является исходной для дальнейших исследований поведения температурного датчика в условиях магнитного поля, создаваемого катушкой с током.

Поскольку информация о влиянии питающего напряжения ДХ на результаты измерений отсутствует, на наш взгляд такое дополнительное исследование целесообразно. Оно даёт возможность, прежде всего, выявить реальную зависимость сигнала ДХ от питающего напряжения и провести необходимую его коррекцию при фактическом напряжении питания, отличном от его значения в эксперименте. Кроме того, эта информация может быть полезной при создании адаптивной системы измерений с изменяющимися в нужном направлении параметрами датчика. Влияние изменения напряжения источника питания на работу датчика исследовалось путём проведения измерений при различных питающих напряжениях. В нашем случае это были напряжения 4,5; 6,0; 7,5; 10,0 и 10,5 В, охватывающие весь диапазон допустимых значений питающего напряжения датчика Холла.

В табл. 2 представлены результаты измерений выходного напряжения датчика Холла при различных напряжениях его питания и токах катушки (протекающих в прямом и обратном направлениях). Здесь же приведены значения напряжённости магнитного поля в зоне размещения датчика, рассчитанные для фиксированных значений тока по формуле (1). По полученным экспериментальным значениям построены графики, изображённые на рис. 5.

Таблица 2

Результаты измерений выходного напряжения датчика Холла

Икат, мА	-250	-200	-150	-100	-50	0	50	100	150	200	250
Н, А/м	-2281	-1825	-1368	-912,3	-456,1	0	456,1	912,3	1368	1825	2281
Uпит, В	Uвых дх, В										
4,5	2,15	2,19	2,24	2,28	2,32	2,36	2,36	2,37	2,38	2,39	2,40
6,0	2,84	2,87	2,90	2,93	2,96	2,99	3,02	3,06	3,09	3,12	3,15
7,5	3,54	3,58	3,61	3,66	3,70	3,74	3,78	3,83	3,88	3,92	3,96
10,0	4,28	4,33	4,37	4,41	4,46	4,51	4,56	4,61	4,64	4,68	4,73
10,5	4,99	5,06	5,12	5,18	5,22	5,27	5,32	5,38	5,42	5,48	5,52

Для повышения чувствительности датчика Холла (при измерении малых МП) было решено усилить выходной сигнал с помощью усилителя на операционном усилителе типа AD623. Схема включения показана на рис.6.

Резистор R1 предназначен для компенсации в исходном состоянии на входе ОУ выходного напряжения датчика Холла, составляющего, как указывалось выше, $0,5U_{\text{ПИТ}}$. Резистором R2 устанавливается необходимый коэффициент усиления в пределах до 1000, что может быть использовано для динамической (привязки) чувствительности ДХ к диапазону измеряемого магнитного поля. На вход 5 ОУ подается напряжение (в оригинале U_{REF}), относительно которого будет изменяться выходное напряжение усилителя. Поскольку предполагается оценка реакции датчика Холла на двухполярное возмущение, это напряжение выбрано равным $0,5U_{\text{ПИТ}}$.

В табл. 3 представлены результаты измерений выходного напряжения ДХ со схемой усиления на операционном усилителе AD623 при различных напряжениях питания датчика и при фиксированных токах катушки. На рис.7 представлены графики зависимостей напряжения на выходе ДХ со схемой усиления от изменения силы тока катушки.

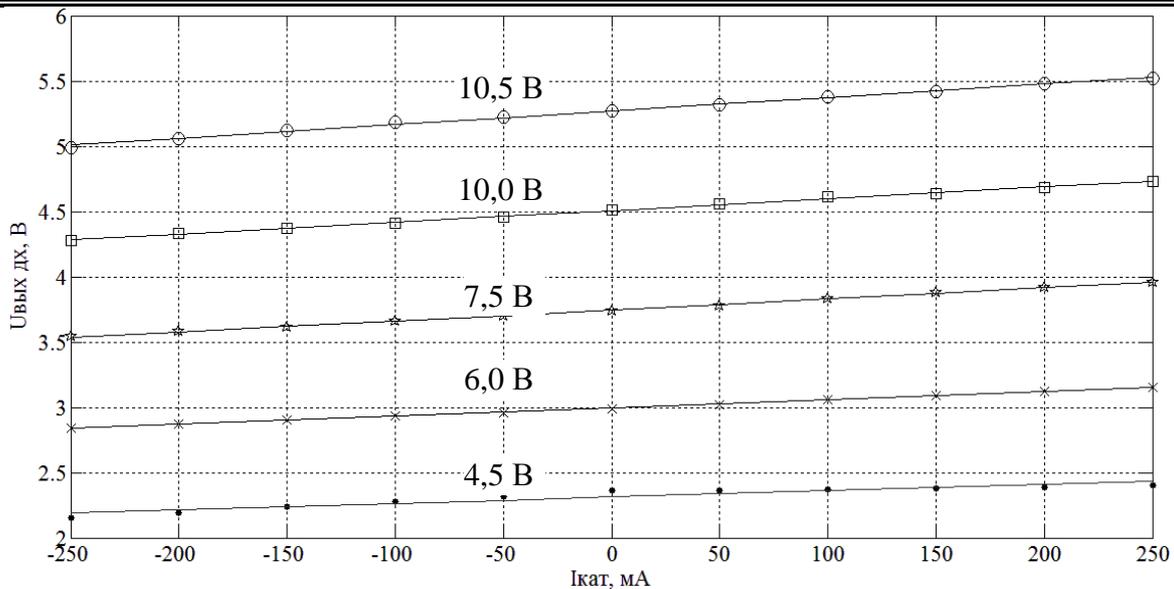


Рис.5. Графики зависимостей напряжения на выходе из ДХ от изменения силы тока катушки

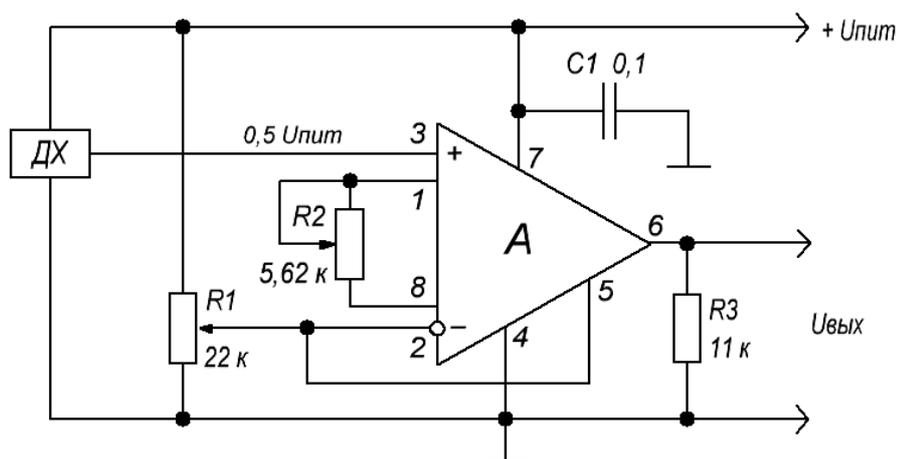


Рис. 6. Схема подключения датчика Холла к операционному усилителю AD623

Таблица 3

Результаты измерений $U_{\text{вых ДХ}}$ со схемой усиления на ОУ типа AD623

Икат, мА	-250	-200	-150	-100	-50	0	50	100	150	200	250
H, А/м	-2281	-1825	-1368	-912,3	-456,1	0	456,1	912,3	1368	1825	2281
Uпит, В	Uвых ДХ, В										
4,50	0,51	0,78	1,06	1,33	1,60	1,91	2,15	2,44	2,73	3,00	3,24
5,80	0,98	1,31	1,61	2,06	2,42	2,77	3,13	3,48	3,83	4,30	4,65
7,40	1,46	1,88	2,31	2,78	3,26	3,72	4,18	4,57	5,09	5,64	6,08
8,80	1,93	2,46	2,98	3,57	4,11	4,64	5,20	5,73	6,27	6,88	7,31
10,60	2,53	3,07	3,68	4,37	5,02	5,64	6,30	6,90	7,53	8,24	8,78

Сопоставление данных таблиц 2 и 3 показывает, что характер реакции датчика Холла на воздействие однотипным магнитным полем сохранился. Однако с применением усилителя в схеме диапазон изменений $U_{\text{вых ДХ}}$ увеличивается в 2,45 раза, что в целом повышает разрешающую способность измерителя. Это даёт основания полагать возможным в перспективе

адаптировать коэффициент усиления ОУ к задачам измерения и расширить его динамический диапазон.

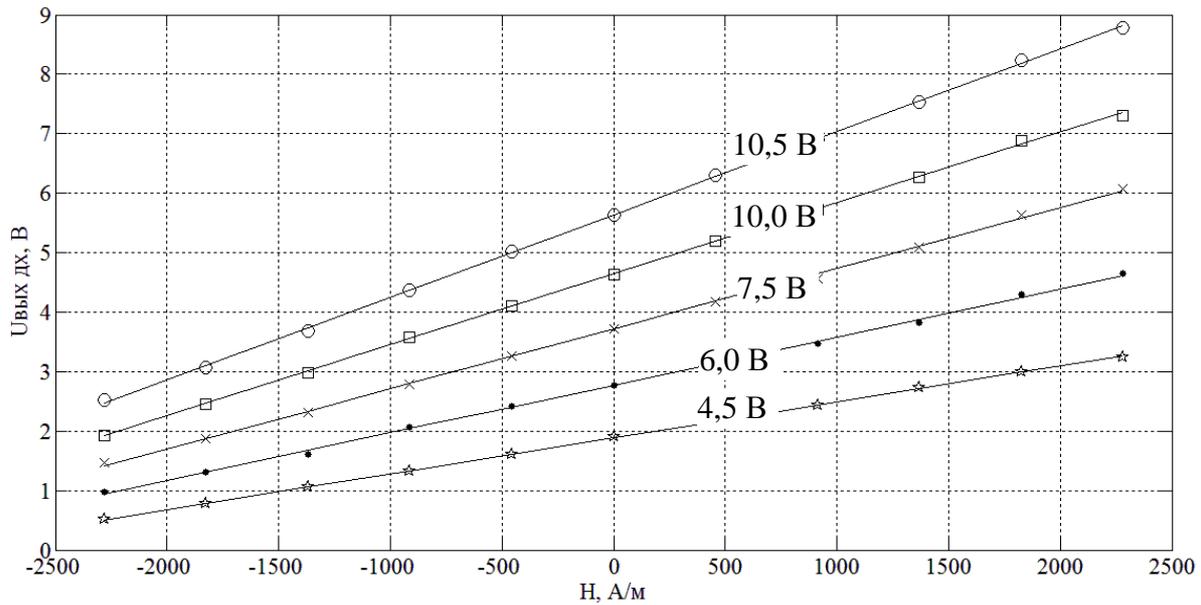


Рис. 7. Графики зависимостей напряжения на выходе из ДХ (со схемой усиления) от изменения напряжённости МП

Аппроксимация экспериментальных данных позволила получить зависимость выходного напряжения датчика Холла от тока катушки и от напряжения питания датчика Холла.

$$U_{\text{ВЫХ ДХ}} = (4,16 \cdot \ln(U_{\text{ПИТ ДХ}}) + 0,593 \cdot U_{\text{ПИТ ДХ}} - 3,14) \cdot I_{\text{КАТ}} + (0,308 \cdot U_{\text{ПИТ ДХ}}^2 - 2,7)^{1/2}. \quad (5)$$

В полученной эмпирической зависимости параметром является ток в тестовой катушке $I_{\text{КАТ}}$. Учитывая, что конечной целью исследования является установление функциональной связи между $U_{\text{ВЫХ ДХ}}$ и напряженностью $H_{\text{МП}}$ в месте установки датчика, целесообразно представить (5) в виде зависимости

$$U_{\text{ВЫХ ДХ}} = f(U_{\text{ПИТ ДХ}}, H_{\text{МП}}). \quad (6)$$

Для получения зависимости (6) используем видоизмененное соотношение (1)

$$I_{\text{КАТ}} = \frac{H_{\text{max}}}{G}, \quad (7)$$

где параметр $G = \frac{N}{L} \left[1 + \left(\frac{D}{L} \right)^2 \right]^{-1/2}$ – геометрический, и неизменный в нашем случае параметр.

Искомую зависимость получим в виде

$$U_{\text{ВЫХ ДХ}} = (4,16 \cdot \ln(U_{\text{ПИТ ДХ}}) + 0,593 \cdot U_{\text{ПИТ ДХ}} - 3,14) \cdot H_{\text{max}} / G + (0,308 \cdot U_{\text{ПИТ ДХ}}^2 - 2,7)^{1/2}. \quad (8)$$

Для анализа данных, полученных в результате эксперимента, целесообразно представить (8) в виде зависимости значения измеренной датчиком напряженности магнитного поля H от напряжения питания и выходного напряжения датчика Холла

$$H = \frac{9123}{4,16 \ln(U_{\text{ПИТ ДХ}}) - 0,593 \cdot U_{\text{ПИТ ДХ}} - 3,14} \cdot (U_{\text{ВЫХ ДХ}} - \sqrt{0,308 \cdot U_{\text{ПИТ ДХ}}^2 - 2,7}). \quad (9)$$

Соотношение (9) позволяет оценивать параметры магнитного поля в произвольной точке пространства с помощью ДХ при любом доступном напряжении его источника питания, что даст возможность провести исследование поведения датчика температуры.

Все приведённые выше соотношения получены для датчика Холла, помещённого в постоянное магнитное поле. Однако в процессе эксплуатации датчика температуры существует возможность влияния на него переменного МП, поэтому необходимо провести исследование, подтверждающее корректность полученных выше соотношений для случая переменного тока.

Тарировка датчика Холла в переменном магнитном поле. С целью решения поставленной выше задачи была проведена оценка работы ДХ в переменном магнитном поле. Исследование проводилось по схеме аналогичной для постоянного МП. На катушку подавались дискретные значения переменного напряжения. При этом фиксировались токи катушки и выходное переменное напряжение датчика Холла. Результаты эксперимента приведены в табл. 4.

Здесь $\cong U_{\text{вых ДХ}}$ – напряжение на выходе ДХ относительно его исходного состояния, равного 4,5 В. В результате аппроксимации получено:

$$\sim U_{\text{вых ДХ}} = 0,0105 \cdot (\sim I_{\text{кат}}) + 4,6045. \quad (10)$$

Сравнивая полученные эмпирические зависимости (2) и (10) мы обнаруживаем их полную идентичность, что позволяет сделать вывод о корректности выполненных измерений и расчетов и принципиальной возможности использования оттарированного датчика Холла для объективного исследования локальных характеристик постоянного и переменного магнитных полей.

Таблица 4

Результаты оценки параметров ДХ в переменном МП

$\sim U_{\text{пит кат}}$	$\sim I_{\text{кат, мА}}$	H, А/м	$\sim U_{\text{вых ДХ}}$	$\cong U_{\text{вых ДХ}}$
6	110	1004	2,85	5,76
9	172	1569	3,19	6,41
12	205	1870	3,38	6,76
16	258	2354	3,70	7,21
24	353	3220	4,15	8,31

Выводы. Важность разработанной методики тарировки датчика Холла обусловлена спецификой работы исследуемых датчиков температуры в условиях АЭС, а также постоянно растущими требованиями к надёжности применяемого на ядерно-энергетических предприятиях оборудования. Полученные результаты позволят эффективно использовать датчик Холла для всесторонней оценки эксплуатационной пригодности интеллектуальных цифровых датчиков температуры для перспективных разработок систем измерения на АЭС.

ЛИТЕРАТУРА

1. DS18B20 programmable resolution 1-wire digital thermometer [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.maxim-ic.com/datasheet/index.mvp/id/2812> 25.11.2011.
2. Датчик Холла. Общее описание <http://d.17-71.com/2010/02/11/datchik-xolla-obshhee-opisanie/> [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.maxim-ic.com/datasheet/index.mvp/id/2812> 01.12.2011.
3. Волович Г.И. Интегральные датчики Холла //– М.: Современная электроника. – 2004. – №12. – С.26-31.

4. Дятлаф А.А., Яворский Б.М. Курс физики. Учеб пособие для вту-зов. – М.: Высш. шк., 1989. – 608 с.

Yu. Bikovsky, V. Levchenko

DEVELOPMENT OF THE METHOD ESTIMATING PARAMETERS OF MAGNETIC FIELD DISTRIBUTION WHILE USING HALL SENSORS

Methods for evaluating direct and alternating magnetic fields while using Hall sensors have been developed

Keywords: *constant(alternating) magnetic field, Hall sensors, coil*

Биковскій Ю.М., Левченко В.В.

РОЗРОБКА МЕТОДУ ОЦІНКИ ПАРАМЕТРІВ РОЗПОДІЛЕНОГО МАГНІТНОГО ПОЛЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ДАВАЧА ХОЛЛА

Розроблена методика оцінювання постійного та перемінного магнітного поля за допомогою давача Холла.

Ключові слова: *постійне (перемінне) магнітне поле, давач Холла, катушка індуктивності.*

УДК 621.548

Олейников А.М., Матвеев Ю.В., Солодкий А.В.

**ОПЫТ КОНСТРУИРОВАНИЯ АВТОНОМНОЙ
ВЕРТИКАЛЬНО-ОСЕВОЙ ВЕТРОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ
МАЛОЙ МОЩНОСТИ**

Анализируется влияние основных параметров на характеристики автономных вертикально-осевых ветроэлектрических установок, даются рекомендации по их выбору и пример конструирования опытной ВЭУ малой мощности.

Повсеместное возрастание интереса к альтернативным источникам энергии, в том числе к автономным ВЭУ небольшой мощности, делает весьма актуальной разработку простых по конструкции и надежных в эксплуатации установок такого типа, не требующих отведения больших земельных площадей и постоянного обслуживания. Одной из перспективных представляется ВЭУ с вертикальной осью вращения, предложенная еще в начале 30-х годов прошлого века французским инженером Дарье.

При разработке такой ВЭУ на первое место выдвигаются задачи определения основных параметров ветроколеса.

Первая – это выбор количества лопастей, которое варьируется от 2 до 5 [1]. С увеличением их количества усиливается взаимное влияние между лопастями, поэтому, учитывая проблему самозапуска ротора при малой скорости ветра, число лопастей для ВЭУ рекомендуется выбрать равным трем.

Число оборотов ветроколеса (ВК) связано с коэффициентом быстроходности Z зависимостью [3]

$$Z = \frac{\Omega R}{V} = \frac{n\pi D}{60V}, \quad (1)$$