

Мисеюк Ольга Ивановна

**АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ПОРОГОВУЮ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ДАТЧИКОВ
НАПРЯЖЕННОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ С МАГНИТОМОДУЛЯЦИОННЫМ
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ**

В статье обоснован выбор измерительного преобразователя с использованием схемы "модулятор - демодулятор" на базе магнитомодуляционного преобразователя для датчика напряженности электрических полей, генерируемых океанической турбулентностью в диапазоне частот ниже 1 Герца. Рассмотрены факторы, влияющие на собственные шумы магнитомодуляционного преобразователя. Проведена оценка их воздействия на пороговую чувствительность преобразователя. Получены аналитические выражения для определения метрологических характеристик таких датчиков.

Адрес статьи: www.gramota.net/materials/1/2016/6/15.html

Статья опубликована в авторской редакции и отражает точку зрения автора(ов) по рассматриваемому вопросу.

Источник

Альманах современной науки и образования

Тамбов: Грамота, 2016. № 6 (108). С. 62-67. ISSN 1993-5552.

Адрес журнала: www.gramota.net/editions/1.html

Содержание данного номера журнала: www.gramota.net/materials/1/2016/6/

© Издательство "Грамота"

Информация о возможности публикации статей в журнале размещена на Интернет сайте издательства: www.gramota.net

Вопросы, связанные с публикациями научных материалов, редакция просит направлять на адрес: almanac@gramota.net

УДК 621.317.328

Технические науки

В статье обоснован выбор измерительного преобразователя с использованием схемы «модулятор – демодулятор» на базе магнитомодуляционного преобразователя для датчика напряженности электрических полей, генерируемых океанической турбулентностью в диапазоне частот ниже 1 Герца. Рассмотрены факторы, влияющие на собственные шумы магнитомодуляционного преобразователя. Проведена оценка их воздействия на пороговую чувствительность преобразователя. Получены аналитические выражения для определения метрологических характеристик таких датчиков.

Ключевые слова и фразы: напряженность электрического поля; магнитная проницаемость; магнитомодуляционный преобразователь; шумы преобразователя; скачки Баркгаузена; пороговая чувствительность преобразователя.

Мисеюк Ольга Ивановна, к.т.н.

Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана
omiseyuk@mail.ru

АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ПОРОГОВУЮ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ДАТЧИКОВ НАПРЯЖЕННОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ С МАГНИТОМОДУЛЯЦИОННЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ

При изучении океанической турбулентности широко используются методы, основанные на измерении напряженности электрических и магнитных полей, индуцированных при вихревом движении проводящей жидкости в магнитном поле Земли. В настоящее время средства измерения магнитных полей разработаны достаточно полно. Однако разработка аппаратуры для измерения электрических полей, генерируемых океанической турбулентностью, остается актуальной задачей. Причем особую сложность при решении данной задачи представляет создание измерительных преобразователей напряженности электрического поля, работающих в диапазоне частот, лежащих ниже 1 Герца. Высокая проводимость исследуемой среды, наличие электрохимической ЭДС на контактных электродах и собственный дрейф нуля не позволяют использовать в качестве усилителя измеренного сигнала классический усилитель постоянного тока, а, следовательно, диктуют необходимость построения измерительного преобразователя с использованием схемы «модулятор – демодулятор». Среди множества вариантов решения этой задачи представляется целесообразным создание подобного устройства на базе магнитомодуляционного преобразователя (ММП). Низкий уровень собственных шумов, возможность отказаться от контактных электродов, простота согласования первичного преобразователя с модулятором являются его очевидными достоинствами по сравнению с известными датчиками [3-5]. Пример построения подобного устройства предложен в [8]. Получение выходного сигнала в виде последовательности прямоугольных импульсов, модулированных по длительности, позволяет организовать вывод информации о напряженности измеряемого электрического поля как в аналоговой, так и в цифровой форме, легко сопрягать измерительный преобразователь с цифровыми устройствами. При измерении слабых электрических полей в натурных условиях импульсная форма представления выходного сигнала позволяет существенно повысить помехозащищенность сигнала при передаче его по кабелю на борт судна для регистрации и обработки полученной информации.

В настоящей статье рассматриваются вопросы, связанные с выделением основных факторов, определяющих собственные шумы ММП.

Среди большого числа параметров, определяющих качество работы ММП, особое место занимает его пороговая чувствительность, под которой обычно понимают отношение уровня собственных шумов ММП к его коэффициенту преобразования:

$$H_{пор} = \frac{K(q) \sqrt{\sum U_{ui}^2}}{W_n}, \quad (1)$$

где U_{ui} – напряжение i -го источника шума в единице полосы, В/Гц;

W_n – коэффициент преобразования ММП;

$K(q)$ – коэффициент, определяющий процедуру различения с заданной вероятностью.

В качестве коэффициента преобразования ММП W_n рассматривается либо коэффициент преобразования магнитного поля в сердечнике, создаваемого измеряемым сигналом, в выходную ЭДС, либо коэффициент преобразования самого измеряемого параметра исследуемого поля, например, электрического тока в первичном контуре ММП в выходную ЭДС. В случае широтно-импульсного режима работы ММП коэффициент W_n характеризует преобразование измеряемого параметра электрического поля в пропорциональный временной интервал. Однако в этом случае подкорненное выражение числителя в формуле (1) должно быть представлено в виде суммы n -приращений длительности импульса, обусловленных соответствующими источниками шумов.

В ряде работ [1; 2; 9-11] накоплен и обобщен большой объем экспериментальных и теоретических исследований по изучению собственных шумов ММП, однако единого подхода к проблеме пороговой чувствительности как совокупности шумовых преобразовательных свойств ММП, особенно в теоретическом плане, пока нет.

Вся совокупность шумов в магнитных модуляторах может быть разбита на 3 составляющие:

- 1) напряжение шумов, обусловленных как неупорядоченным тепловым движением электронов в обмотках (электрические шумы), так и неповторяемостью процессов перемагничивания сердечников (магнитные шумы);
- 2) напряжение шума, имеющее ту же частоту, что и полезный сигнал;
- 3) напряжение шума, отличающееся по частоте от полезного входного сигнала.

Влияние третьей составляющей напряжения шумов может быть достаточно легко устранено применением соответствующих фильтров или устройств, реагирующих на разность амплитуд выходного напряжения. Поэтому ее можно не учитывать при оценке пороговой чувствительности магнитомодуляционных преобразователей.

Основными причинами появления на выходе ММП помех с частотой полезного сигнала являются:

- остаточная намагниченность сердечников (гистерезис);
- внешние магнитные поля;
- недостаточная развязка цепей возбуждения и выхода.

Напряжение помех у ММП, для которых частота выходного напряжения совпадает с частотой сигнала возбуждения, обусловлено, главным образом, недостаточной развязкой цепей возбуждения и выхода при отсутствии входного сигнала. При этом степень развязки и, соответственно, напряжение помех изменяются при изменении величины тока возбуждения, температуры окружающей среды, а также во времени, вследствие изменения характеристик отдельных элементов схемы. По этой причине ММП с выходом на основной частоте не применяются при построении устройств с низким порогом чувствительности.

У ММП с удвоением частоты недостаточная развязка цепей возбуждения и выхода не вызывает появления напряжения помех с частотой полезного сигнала, если устранить вторую гармонику тока возбуждения.

Наиболее существенной причиной ухода нуля ММП, действующих по принципу удвоения частоты, является гистерезис. В работах [1; 2] показано, что при достаточно большой амплитуде поля возбуждения гистерезисный цикл для постоянного или медленно изменяющегося поля вырождается в однозначную зависимость, геометрическое место точек которой совпадает со средней кривой намагничивания. Поскольку режим работы ММП с удвоением частоты характеризуется соотношением $H_m \gg \frac{B_i}{\mu_0}$, то достижение однозначной зависимости в ММП с удвоением частоты реализуемо при соотношении $H_m \geq (3 \div 5)H_s$, где H_m – амплитуда поля возбуждения; H_s – напряженность поля насыщения.

Экспериментально установлено [6], что при использовании в ММП сплавов высокой магнитной проницаемости (79НМ, 79НМА, 80НХС) уход нуля, обусловленный явлением гистерезиса, сказывается незначительно. Кроме того, показано, что использование замкнутых тороидальных сердечников приводит к существенному снижению уровня шумов ММП.

Магнитные модуляторы, предназначенные для измерения слабых постоянных сигналов, чувствительны также и к постоянным внешним магнитным полям, в том числе и к магнитному полю Земли. Существенное уменьшение влияния однородных магнитных полей достигается применением тороидальных сердечников с равномерным распределением выходных обмоток по всей длине сердечников. В этом случае ЭДС удвоенной частоты, индуцируемая в одной половине выходной обмотки модулятора внешним постоянным полем, будет компенсироваться ЭДС противоположной полярности, индуцируемой в другой половине выходной обмотки, независимо от направления внешнего однородного поля. Степень компенсации зависит не только от равномерности распределения обмоток, но и от однородности магнитных свойств и постоянства поперечного сечения сердечника по длине [Там же]. Для большего ослабления влияния однородных магнитных полей необходимо экранировать модулятор.

Для ММП, работающих в режиме удвоения частоты, указанные причины возникновения шумов могут быть либо устранены, либо уменьшены настолько, что в течение конечного промежутка времени их пороговая чувствительность будет определяться влиянием электрических и магнитных шумов. Магнитный шум обусловлен тем, что при циклическом перемагничивании сердечника ММП повторные процессы изменения намагниченности отдельных доменов или микрообластей – не одинаковы, т.е. скачки Баркгаузена, соответствующие двум циклам перемагничивания, не совпадают. Это приводит к появлению сигнала магнитной индукции, имеющего сплошной спектр (т.е. магнитного шума) на фоне сигнала с дискретным спектром. Очевидно, что в выходной обмотке ММП с удвоением частоты будет наводиться ЭДС шума, обусловленная сигналом со сплошным спектром магнитной индукции. В ряде работ [9; 10] экспериментально установлено наличие жесткой связи между параметрами петли гистерезиса и числом скачков Баркгаузена. Поскольку вклад эффекта Баркгаузена в магнитные шумы является преобладающим, то очевидно, что петля гистерезиса может содержать в себе информацию о шумовых и преобразовательных свойствах ММП, то есть о его пороговой чувствительности. Преимущества такого подхода заключаются в следующем:

- изучение петли гистерезиса и определение ее параметров в лабораторных условиях не вызывает затруднений, в то время как изучение магнитных шумов представляет весьма сложную задачу;
- петля гистерезиса исследуется на образцах материала сердечника в широком диапазоне условий, в то время как изучение магнитных шумов ММП требует конструирования самого преобразователя и сопряжения его с аппаратурным каналом;
- гистерезис, как физическое явление, изучается значительно полнее и шире, чем магнитные шумы.

Исходя из этого, представляет интерес задача анализа гистерезисного цикла с целью отыскания в нем отдельных факторов, определяющих шумовые и преобразовательные свойства ММП.

Как известно, при выводе выражения выходной ЭДС ММП используется безгистерезисная аппроксимация петли, именуемая средней кривой намагничивания [6]. Наряду с упрощением выкладок, такой подход приводит к потере важной информации, характеризующей роль отдельных составляющих магнитной проницаемости и их вклад в процессы шумообразования. Представив формально ферромагнетик в виде смеси двух сред: гистерезисной среды, для которой обратимая часть магнитной восприимчивости равна нулю, и безгистерезисной среды, обладающей только обратимой магнитной восприимчивостью, рассмотрим микроскопическое строение петли гистерезиса (Рис. 1), являющееся чередованием скачков Баркгаузена и участков обратимого изменения индукции.

Тогда индукцию в любой точке петли гистерезиса можно представить в виде суммы

$$B(H) = B_r(H) + B_B(H), \quad (2)$$

где $B_r(H)$ – индукция, возникающая в результате суммирования обратимых приращений $B_r(H) = \sum \Delta B_{ri}(H)$;

$B_B(H)$ – индукция, возникающая в результате суммирования всех скачков Баркгаузена;

$$B_B(H) = \sum \Delta B_{Bi}(H).$$

При этом представляется возможным выделить из суммы $B(H)$ (2) график чисто скачкообразного изменения индукции – «цикл Баркгаузена» – и график обратимого изменения индукции – «обратимый цикл». В связи с тем, что в обратимом цикле гистерезис выражен незначительно, можно рассматривать эту зависимость как однозначную. Все три цикла показаны на Рис 2. При сделанных допущениях обратимый цикл является детерминированным, а цикл Баркгаузена можно представить в виде

$$B_B(H) = \overline{B_B(H)} + \delta B_B(H), \quad (3)$$

где $\overline{B_B(H)}$ – математическое ожидание, т.е. детерминированная часть цикла Баркгаузена;

$\delta B_B(H)$ – центрированная случайная функция.

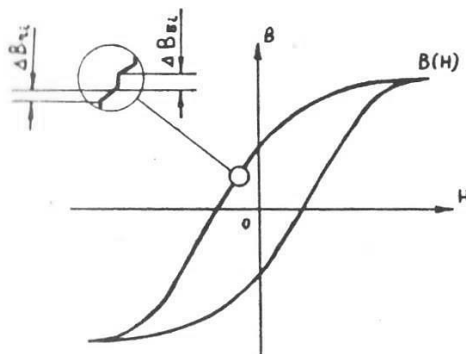


Рис. 1. Микроскопическое строение петли гистерезиса

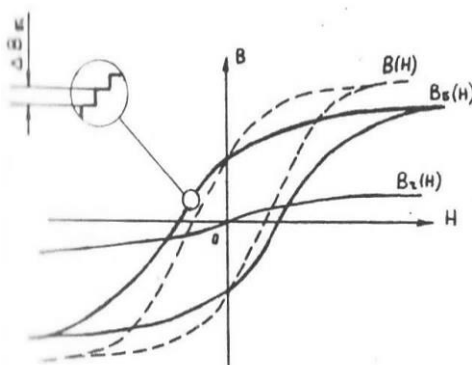


Рис. 2. Циклы изменения индукции

Дифференцируя сумму (2) с учетом (3), получим:

$$\frac{dB}{dH} = \frac{dB_r}{dH} + \frac{d\overline{B_B}}{dH} + \frac{d}{dH} \delta B_B. \quad (4)$$

Таким образом, можно рассматривать следующую совокупность дифференциальных проницаемостей: дифференциальную проницаемость $\mu_d = \frac{1}{\mu_0} \frac{dB}{dH}$, соответствующую представлению о сглаженной усредненной петле в целом; обратимую проницаемость $\mu_r = \frac{1}{\mu_0} \frac{dB_r}{dH}$, характеризующую обратимый цикл; проницаемость Баркгаузена $\mu_B = \frac{1}{\mu_0} \frac{d\overline{B_B}}{dH}$, отвечающую представлению о сглаженном, усредненном цикле Баркгаузена; случайную компоненту $\delta\mu_B = \frac{1}{\mu_0} \frac{d}{dH} \delta B_B$, отражающую флуктуации $B_B(H)$ относительно математического ожидания.

Для дифференциального ММП с учетом введенных понятий запишем выражения индукций в первом и втором сердечниках ММП при одновременном воздействии сильного переменного поля возбуждения $H_B(t)$ и слабого постоянного поля измеряемого сигнала H_0 :

$$B_1 = B_{1B}(H_B + H_0) + B_r(H_B + H_0);$$

$$B_2 = B_{2B}(-H_B + H_0) + B_r(-H_B + H_0).$$

Разлагая эти функции в ряд Тейлора и оставляя, ввиду малости остальных членов, только линейные члены ряда, получим:

$$B_1 = B_{1B}(H_B) + \frac{dB_{1B}(H_B)}{dH_B} H_0 + B_r(H_B) + \frac{dB_r(H_B)}{dH_B} H_0; \quad (5)$$

$$B_2 = B_{2B}(-H_B) + \frac{dB_{2B}(-H_B)}{dH_B} H_0 + B_r(-H_B) + \frac{dB_r(-H_B)}{dH_B} H_0. \quad (6)$$

$$\text{При этом } B_{1B}(H_B) = \overline{B_B(H_B)} + \delta B_{1B}(H_B); \frac{dB_{1B}(H_B)}{dH_B} = \frac{d\overline{B_B(H_B)}}{dH_B} + \frac{d}{dH_B} \delta B_{1B}(H_B); \frac{dB_B(H_B)}{dH_B} = \frac{d\overline{B_B(H_B)}}{dH_B} = \mu_0 \mu_B(H_B).$$

Далее учтем, что случайные функции

$$\frac{d}{dH_B} \delta B_{1B}(H_B) = \mu_0 \delta \mu_{1B}(H_B); \quad \frac{d}{dH_B} \delta B_{2B}(-H_B) = \mu_0 \delta \mu_{2B}(-H_B)$$

некоррелированы между собой, имеют нулевое математическое ожидание и одинаковые статистические характеристики. Тогда их сумму можно представить как единый случайный процесс с удвоенной плотностью мощности. То же самое относится и к случайным функциям $\delta B_{1B}(H_B)$ и $\delta B_{2B}(-H_B)$. При этом

$$\mu_0 \delta \mu_{1B}(H_B) + \mu_0 \delta \mu_{2B}(-H_B) = \mu_0 \delta \sqrt{2} \mu_B(H_B); \quad (7)$$

$$\delta B_{1B}(H_B) + \delta B_{2B}(-H_B) = \sqrt{2} \delta B_B(H_B). \quad (8)$$

С учетом формул (5-7) получим выражение для суммарной индукции в сигнальной обмотке ММП, охватывающей оба сердечника:

$$B_{\text{сум}} = 2H_0 \mu_0 \mu_d(H_B) + \sqrt{2} \delta B_B(H_B) + \mu_0 H_0 \delta \sqrt{2} \mu_B(H_B). \quad (9)$$

Тогда наводимая в сигнальной обмотке ЭДС равна

$$e_{\text{сум}} = -w_c \frac{d}{dt} (SB_{\text{сум}}) = -2 w_c S H_0 \mu_0 \frac{d\mu_d}{dt} - \sqrt{2} w_c S \frac{d}{dt} (\delta B_B) - \sqrt{2} w_c S H_0 \mu_0 \frac{d}{dt} (\delta \mu_B). \quad (10)$$

Рассмотрим составляющие выходной ЭДС. Первое слагаемое

$e_c = -2 w_c S H_0 \mu_0 \frac{d\mu_d}{dt}$ представляет собой ЭДС полезного сигнала, определяемую измеряемым полем и амплитудой модуляции магнитной проницаемости сердечника ММП.

$$\text{Второе слагаемое: } e_{\text{шн}} = -\sqrt{2} w_c S \frac{d}{dt} \delta B_B(H_B), \quad (11)$$

представляет собой случайный процесс, вызванный периодическим изменением индукции и не зависящий от поля сигнала. Условимся называть его независимым магнитным шумом. Учитывая, что возбуждающее поле в общем случае есть периодическая функция времени $H_B(t)$, выражение (11) можно также представить в виде: $e_{\text{шн}} = -\sqrt{2} w_c S \mu_0 \delta \mu_B(H_B) \frac{dH_B}{dt}$. Из этого выражения следует, что независимый магнитный шум образуется за счет флуктуаций проницаемости Баркгаузена с дополнительной их модуляцией периодическим процессом перемагничивания.

$$\text{Третье слагаемое: } e_{\text{шз}} = -\sqrt{2} w_c S \mu_0 H_0 \frac{d}{dt} \delta \mu_B(H_B), \quad (12)$$

также представляет собой случайный процесс, но уже зависящий от поля сигнала H_0 . Назовем его зависимым магнитным шумом. Однако, как показывает анализ выражения (12), ввиду малости H_0 при значениях $H_0 \approx H_{\text{пор}}$, зависимым шумом можно пренебречь по сравнению с независимым. Тогда суммарная ЭДС в сигнальной обмотке равна $e_{\text{сум}} = e_c + e_{\text{шн}}$.

Информация об искомой величине полезного сигнала определяется величиной ЭДС второй гармоники, которая равна $e_c = -4 w_c S \mu_0 \omega_B H_0 \Delta \mu_{d2} \cos 2\omega_B t$, где ω_B – частота возбуждения; $\Delta \mu_{d2}$ – амплитуда второй гармоники модуляции дифференциальной проницаемости сердечника.

ЭДС независимых шумов в этом случае будет представлять собой узкополосный случайный процесс:

$$e_{\text{шн}} = 2\sqrt{2} w_c S \mu_0 \omega_B H_m \delta \mu_{B2}(H_B) \cos(2\omega_B t + \psi),$$

где ψ – медленно меняющаяся случайная фаза; $\delta \mu_{B2}(H_B)$ – случайная функция H_B , определяющая медленно меняющуюся случайную амплитуду. Индекс 2 указывает на выделение сигнала в узкой полосе около частоты $2\omega_B$.

Исходя из определения $H_{\text{пор}}$ [2] как постоянного поля, создающего на сигнальных обмотках ММП вторую гармонику сигнала с эффективным значением, равным эффективному значению напряжения шумов на этих обмотках в полосе частот $\Delta f = 1$ Гц, можно записать $e_{\text{сэфф}}(H_{\text{пор}}) = \sigma_{\text{шн}}$,

где $e_{\text{сэфф}}$ – эффективное значение ЭДС полезного сигнала при $H_0 = H_{\text{пор}}$;

$\sigma_{\text{шн}}$ – среднеквадратическое значение ЭДС магнитных шумов в полосе 1 Гц на частоте $2\omega_B$.

$$\text{Обозначив } K = w_c S \mu_0 \omega_B = \text{const}, \quad (14)$$

$$\text{получим } \sigma_{\text{шн}} = 2\sqrt{2} K \sigma_{\text{MB}} H_m, \quad (15)$$

где σ_{MB} – среднеквадратическое отклонение случайного процесса $\delta \mu_B(H_B)$.

С учетом (14) выражение (13) будет иметь вид:

$$e_{\text{сэфф}}(H_{\text{пор}}) = 2\sqrt{2} K \mu_{d2}. \quad (16)$$

Подставляя (15) и (16) в (13) и разрешая относительно $H_{\text{пор}}$, получим

$$H_{\text{пор}} = H_m \frac{\sigma_{\text{мБ}}}{\mu_{\text{д2}}} \text{ или } H_{\text{пор}} = H_m \sigma_{\text{мБ}} / (\mu_{\text{Б2}} + \mu_{\text{r2}}), \quad (17)$$

где $\mu_{\text{Б2}}$ – амплитуда второй гармоники проницаемости Баркгаузена;

μ_{r2} – амплитуда второй гармоники обратимой проницаемости.

Выражение (17) иллюстрирует роль отдельных составляющих проницаемости сердечника ММП в формировании сигнала и образовании магнитного шума. Так, процесс образования шумов целиком определяется флуктуациями проницаемости Баркгаузена, в то время как при формировании полезного сигнала ее вклад суммируется с вкладом обратимой проницаемости.

Электрические тепловые шумы, обусловленные неупорядоченностью теплового движения электронов в обмотках ММП, представляют собой типичный белый шум с равномерным спектром [Там же]. Поэтому

ЭДС теплового шума, выражение для которой имеет вид: $E_{\text{ш}} = \sqrt{4KTR_a \int_{f_n}^{f_b} df}$, где $K = 1,38 \cdot 10^{-6} \text{ Дж/}^\circ\text{К}$ – постоянная Больцмана; T – абсолютная температура, $^\circ\text{К}$; R_a – активное сопротивление соответствующей обмотки ММП, Ом; f_n, f_b – нижняя и верхняя границы частотного диапазона, Гц, может быть записано в виде

$$E_{\text{ш}} = \sqrt{4KTR_a \Delta f}. \quad (18)$$

ЭДС тепловых шумов $E_{\text{ш}}$ приводит к возникновению шумовых токов $I_{\text{ш}}$ в каждом из контуров ММП. Эти токи, в свою очередь, создают в сердечнике соответствующие составляющие напряженности $H_{\text{ш}}$. Однако величина шумового тока определяется как ЭДС тепловых шумов $E_{\text{ш}}$, так и сопротивлением нагрузки в соответствующем контуре ММП. Так, например, в случае, когда информационная обмотка ММП нагружена на входное сопротивление дифференциатора, который формирует переходы через нуль выходной ЭДС, при $R_a = 20 \text{ Ом}$, $T = 300^\circ\text{К}$, $\Delta f = 1000 \text{ Гц}$, $R_{\text{вх}} = 1 \text{ МОм}$ будем иметь $I_{\text{ш}} = \frac{E_{\text{ш}}}{R_{\text{вх}}} = \frac{\sqrt{1,38 \cdot 10^{-6} \cdot 300 \cdot 20 \cdot 10^3}}{10^6} = 5,5 \cdot 10^{-11} \text{ А}$.

Очевидно, что при $R_{\text{вх}} \gg R_{\text{аи}}$ тепловыми шумами информационной обмотки можно пренебречь.

Если рассмотреть контур возбуждения, то очевидным условием получения неискаженной формы поля возбуждения является наличие в цепи возбуждения (в качестве последнего звена) источника тока, внутреннее сопротивление которого также очень велико ($R_{\text{вх}} \gg R_{\text{ав}}$). Поэтому можно пренебречь и тепловыми шумами обмотки возбуждения.

Таким образом, единственным источником тепловых шумов ММП, которые могут влиять на его предельную чувствительность, являются тепловые шумы измерительной обмотки или, если таковая отсутствует, тепловые шумы входного контура. На основании выражения (19) можно записать выражение для ЭДС тепловых шумов $E_{\text{швх}} = \sqrt{4KT(R_{\text{авх}} + R_p)\Delta f}$,

где $R_{\text{авх}}$ – активное сопротивление измерительной обмотки;

R_p – активная составляющая сопротивлений растекания первичного измерительного преобразователя.

Тогда шумовой ток в первичном контуре определяется как $I_{\text{швх}} = \sqrt{\frac{4KT\Delta f}{R_{\text{авх}} + R_p}}$.

На основании закона полного тока, пренебрегая потоками рассеяния, получим напряженность магнитного поля в сердечнике ММП, создаваемую током $I_{\text{швх}}$:

$$H_{\text{шэ}} = \frac{I_{\text{швх}} w_{\text{вх}}}{l_{\text{ср}}} = \sqrt{\frac{4KT\Delta f w_{\text{вх}}^2}{(R_{\text{авх}} + R_p) l_{\text{ср}}^2}}, \quad (19)$$

где $w_{\text{вх}}$ – число витков измерительной обмотки;

$l_{\text{ср}}$ – длина средней силовой линии сердечника ММП.

Окончательно на основании выражений (17) и (19) получаем выражение для определения суммарной напряженности магнитного поля $H_{\text{шсум}}$:

$$H_{\text{шсум}} = \sqrt{H_{\text{шм}}^2 + H_{\text{шэ}}^2} = \sqrt{\left(\frac{H_m \sigma_{\text{мБ}}}{(\mu_{\text{Б2}} + \mu_{\text{r2}})}\right)^2 + \frac{4KT\Delta f w_{\text{вх}}^2}{(R_{\text{авх}} + R_p) l_{\text{ср}}^2}}. \quad (20)$$

Выражение (20) определяет предельную или пороговую чувствительность ММП по магнитному полю сердечника.

Выводы

Проведенный анализ позволил выделить основные факторы, определяющие собственные шумы магнитомодуляционного преобразователя, используемого в датчике напряженности электрического поля. С целью уменьшения магнитных шумов обосновано использование магнитомодуляционных преобразователей, работающих в режиме удвоения частоты.

Анализ гистерезисного цикла сердечника магнитного преобразователя показал, что существенный вклад в магнитные шумы вносит независимый магнитный шум, который образуется за счет флуктуаций проницаемости Баркгаузена с дополнительной их модуляцией периодическим процессом перемагничивания.

Установлено, что единственным источником тепловых шумов магнитомодуляционных преобразователей, которые могут влиять на его предельную чувствительность, являются тепловые шумы измерительной обмотки или, если таковая отсутствует, тепловые шумы входного контура.

Выведено выражение, определяющее пороговую чувствительность датчика напряженности электрического поля с магнитомодуляционным преобразователем по магнитному полю сердечника.

В дальнейшем предполагается провести анализ факторов, влияющих на точность преобразования сигнала ММП с широтно-импульсной модуляцией, что позволит выбрать параметры модуляции.

Список литературы

1. Введенский В. Л., Ожогин В. И. Сверхчувствительная магнитометрия и биомагнетизм. М.: Наука, 1986. 200 с.
2. Колачевский Н. Н. Магнитные шумы. М.: Наука, 1971. 129 с.
3. Мисеюк О. И. Измерение плотности токов проводимости без искажения исследуемого поля [Электронный ресурс] // Наука и образование. 2013. № 7. URL: <http://technomag.edu.ru/doc/578057.html> (дата обращения: 03.06.2016). DOI: 10.7463/0713.0578057.
4. Мисеюк О. И. Модуляционный датчик напряженности электрического поля в проводящей среде [Электронный ресурс] // Наука и образование. 2015. № 7. URL: <http://technomag.bmstu.ru/doc/780965.html> (дата обращения: 03.06.2016). DOI: 10.7463/0715.0780965.
5. Мисеюк О. И., Собисевич А. Л. Электродные системы многокомпонентных датчиков напряженности геоэлектрического поля для подвижных носителей [Электронный ресурс] // Наука и образование. 2014. № 5. URL: <http://technomag.bmstu.ru/doc/710552.html> (дата обращения: 03.06.2016). DOI: 10.7463/0514.0710552.
6. Розенблат М. А. Магнитные элементы автоматики и вычислительной техники. М.: Наука, 1974. 768 с.
7. Сокол-Кутыловский О. Л. О пороге чувствительности магнитомодуляционных датчиков // Уральский геофизический вестник. 2010. № 2 (17). С. 62-66.
8. Устройство для измерения напряженности электрического поля в море / Б. В. Стрелков, В. В. Соколовский и др. А.С. 1337853 Б.И. № 34. 1987.
9. Хазанкин В. Б. О связи эффекта Баркгаузена с основными элементами петли гистерезиса ферромагнетика // Сегнетоэлектрики и ферромагнетики: сборник статей. Калинин, 1973. С. 79-84.
10. Prabhu Gaunkar N. G., Nlebedim I. C., Prabhu Gaunkar G. V., Jiles D. C. Examining the Correlation between Microstructure and Barkhausen Noise Activity for Ferromagnetic Materials // IEEE Transactions on Magnetics. 2015. Vol. 51. Iss. 11. Article # 7301904.
11. Weiss E., Alimi R., Liverts E., Paperno E. Excess Magnetic Noise in Orthogonal Fluxgates Employing Discontinuous Excitation // IEEE Sensors Journal. 2014. Vol. 14. Iss. 8. P. 2743-2748.

ANALYZING FACTORS DETERMINING THRESHOLD SENSITIVITY OF TRANSDUCERS OF ELECTRIC FIELD INTENSITY WITH MAGNETIC-MODULATION TRANSFORMER

Miseyuk Ol'ga Ivanovna, Ph. D. in Technical Sciences
Bauman Moscow State Technical University
omiseyuk@mail.ru

The article justifies the choice of the measuring transformer using the scheme "modulator – demodulator" on the basis of the magnetic-modulation transformer for the transducer of the intensity of electric fields generated by oceanic turbulence within frequency range below 1 Hz. The author analyzes the factors influencing the intrinsic noises of the magnetic-modulation transformer, evaluates their impact on the transformer threshold sensitivity. The researcher has received analytic expressions to identify the metrological characteristics of such transducers.

Key words and phrases: electric field intensity; magnetic conductivity; magnetic-modulation transformer; transformer noises; Barkhausen effect; transformer threshold sensitivity.

УДК 657.1

Экономические науки

В статье рассмотрены сложности перехода российских компаний на международные стандарты финансовой отчетности (МСФО). Методологической основой исследования послужили труды зарубежных и отечественных экономистов в области изучения проблем перехода на МСФО и выявления мошенничества с финансовой отчетностью. Особое внимание уделено изучению методик отечественных и зарубежных авторов, позволяющих выявить искажения финансовой отчетности. Сделан вывод, что в связи со значительным отличием целей искажения финансовой отчетности в отечественной и зарубежной учетных практиках, необходимо дифференцировать методики обнаружения в них признаков мошенничества.

Ключевые слова и фразы: МСФО; мошенничество; бухгалтерская (финансовая) отчетность; достоверная и качественная отчетность; аудит; финансовый анализ.

Палкина Юлия Александровна

Дальневосточный федеральный университет
ulia.pal@mail.ru

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ФИНАНСОВОГО АНАЛИЗА
ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ИСКАЖЕНИЙ В БУХГАЛТЕРСКОЙ (ФИНАНСОВОЙ) ОТЧЕТНОСТИ**

В настоящее время, в период активной интеграции России в мировую экономику, ужесточается борьба с преступлениями в экономической сфере, так как такие преступления подрывают имидж страны на мировой арене и ее инвестиционную привлекательность. Кроме того, в условиях реформирования системы бухгалтерского учета