

ВИХРЕТОКОВЫЙ МЕТАЛЛОИСКАТЕЛЬ

Н.И. Ермошин, Д.В. Миляев

Рассмотрен новый способ обработки сигнала металлообнаружителя, основанный на измерениях фазы разностного сигнала. Изучена зависимость фазы разностного сигнала от амплитуды входных сигналов и разности их фаз. Проведен анализ чувствительностей к разности амплитуд входных сигналов и разности фаз

Ключевые слова: вихретоковый метод, фаза, металлоискатель

Состояние проблемы

Основные проблемы, возникающие при разработке металлообнаружителя: изготовление прибора, обладающего большей чувствительностью, помехозащищенностью, по сравнению с разработанными. Немаловажно достичь очень низкой вероятности ложных тревог, стабильности параметров во времени. С этой целью разрабатываются и совершенствуются как первичные преобразователи, так и схемы обработки их выходных параметров.

Задача: возникает проблема обнаружения ферромагнитных и неферромагнитных объектов малых размеров, которые находятся сравнительно на небольшом расстоянии. В этом случае, это понятие можно сравнивать с обнаружением больших объектов на значительных расстояниях.

Существующее решение

Существует три вида модуляции колебаний: амплитудный, частотный, фазовый.

Давно известно, что фазовая модуляция обладает лучшими свойствами помехозащищенности. Поэтому металлообнаружители, имеющие фазометрическую схему, получили сейчас более широкое распространение. Рассмотрим наиболее интересное решение (Рисунок 1).

Металлоискатель работает следующим образом. Микропроцессор 6 формирует прямоугольные импульсы, заполненные несущей частотой излучения, которые усиливаются усилителем мощности 3 и подаются на вход индукционного преобразователя 2. Происходит излучение сигнала излучающей катушкой, отклик регистрируется приемной катушкой, усиливается усилителем 1 и детектируется синхронными детекторами 4, 5, на опорные входы которых подаются синфазный и квадратурный сигналы с микропроцессора 6. Квадратурные составляющие входного сигнала усиливаются усилителями 7, 8 и поступают на входы АЦП 10, затем в цифровом виде подаются на входы микропроцессора 6.

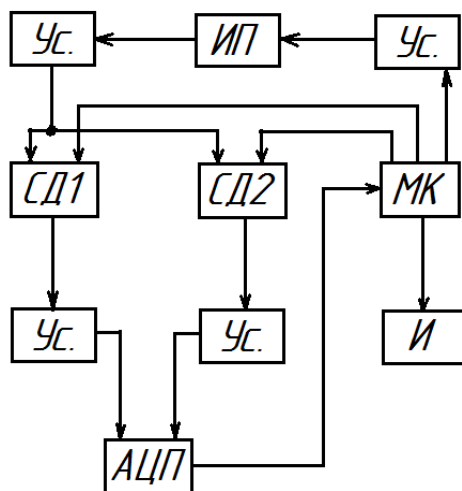


Рисунок 1 – Структурная схема: УС – усилитель; ИП – индукционный преобразователь; СД1 – синхронный детектор (синфазен с генератором); СД2 – синхронный детектор (сдвинут по фазе на 90° относительно генератора); АЦП – аналогово-цифровой преобразователь; МК – микроконтроллер; И – индикатор

Программа построена таким образом, что определяется отношение квадратурных составляющих, по которому идентифицируется объект, за счет сравнения этого отношения с базой данных. Величина отношения не зависит от расстояния до объекта и является характеристикой объекта. По величинам амплитуд квадратурных составляющих для данного объекта определяется расстояние до него. По сравнению с известными техническими решениями детектирование обеих квадратурных составляющих входного сигнала и использование микропроцессорной обработки позволило разделять объекты как минимум на 6 классов и определять расстояние до них с точностью до 3-х см [1].

Предлагаемое решение

Предлагается иной метод обработки сигнала, который превосходит все известные вихретоковые металлоискатели по чувствительности.

Имеются два сигнала:

1. Опорный сигнал – напряжение питающего генератора:

$$U_0 = U_m \cdot \sin(\omega t),$$

где U_m – амплитуда входного сигнала; ω – частота входного сигнала;

2. Выходной сигнал – сигнал с выхода преобразователя, отличающегося от опорного по амплитуде и фазе, вследствие начальной настройки преобразователя:

$$U_x = (U_m + \Delta U_m) \cdot \sin(\omega t + \Delta \varphi),$$

где ΔU_m – расстройка преобразователя по амплитуде; $\Delta \varphi$ – расстройка преобразователя по фазе.

Определим фазу разностного φ_p и амплитуду U_p разности опорного и выходного сигналов.

На рисунке 5 приведена диаграмма векторов опорного, выходного и напряжения разности опорного и выходного напряжений.

$$a = U_x \cdot \sin(\Delta \varphi)$$

$$b = U_x \cdot \cos(\Delta \varphi) - U_0,$$

где a – мнимая составляющая вектора U_p ; b – вещественная составляющая вектора U_p .

$$U_p = \sqrt{(U_x \cdot \sin(\Delta \varphi))^2 + (U_x \cdot \cos(\Delta \varphi) - U_0)^2} = \sqrt{U_x^2 (\sin^2(\Delta \varphi) + \cos^2(\Delta \varphi)) - 2U_x U_0 \cdot \cos(\Delta \varphi) + U_0^2} = \sqrt{U_x^2 - 2U_x U_0 \cdot \cos(\Delta \varphi) + U_0^2}$$

Находим фазу разностного напряжения, считая фазу опорного напряжения равной нулю (Рисунок 2).

$$\varphi_p = \arctg \left(\frac{U_x \cdot \sin(\Delta \varphi)}{U_x \cdot \cos(\Delta \varphi) - U_0} \right) \quad (1)$$

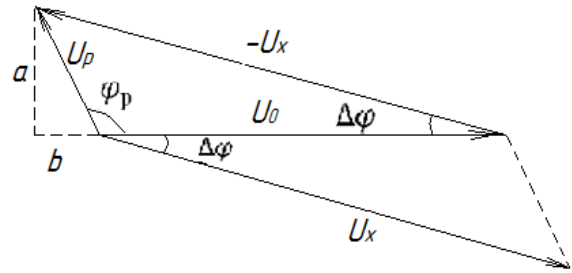


Рисунок 2 – Диаграмма векторов опорного, выходного и напряжения разности опорного и выходного напряжений

Принимая во внимание, что фазовый сдвиг выходного сигнала близок к нулю, имеем:

$$\varphi_p \approx \frac{U_x}{U_x - U_0} \cdot \Delta \varphi$$

Из последнего выражения следует, что если амплитуды опорного и выходного сигналов постоянны, то фаза разностного сигнала прямо пропорциональна фазе выходного сигнала с коэффициентом:

$$n = \frac{U_x}{U_x - U_0}$$

На рисунке 3 приведен график зависимости фазы разностного сигнала от фазы выходного сигнала при различных значениях коэффициента n . График построен по формуле (1).

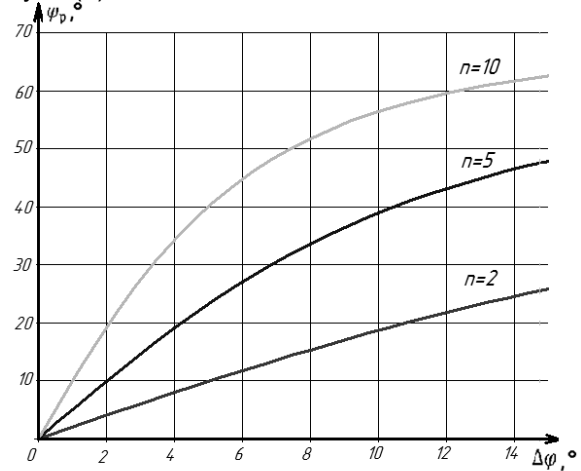


Рисунок 3 – Зависимость фазы разностного сигнала от фазы выходного сигнала при различных значениях коэффициента n

Найдем чувствительность фазы разностного напряжения к фазе выходного сигнала:

$$S_{\Delta \varphi}^{\varphi_p} = \frac{\partial \varphi_p}{\partial \Delta \varphi} = \frac{1}{1 + \left(\frac{U_x \cdot \sin(\Delta \varphi)}{U_0 - U_x \cdot \cos(\Delta \varphi)} \right)^2} \cdot \left(\frac{U_x \cdot \sin(\Delta \varphi)}{U_0 - U_x \cdot \cos(\Delta \varphi)} \right),$$

Преобразовав выражение, получили:

$$S_{\Delta \varphi}^{\varphi_p} = \frac{1}{1 + \left(\frac{U_x \cdot \sin(\Delta \varphi)}{U_0 - U_x \cdot \cos(\Delta \varphi)} \right)^2} \cdot \left(\frac{U_x \cdot \cos(\Delta \varphi)}{U_0 - U_x \cdot \cos(\Delta \varphi)} - \frac{U_x^2 \cdot \sin^2(\Delta \varphi)}{(U_0 - U_x \cdot \cos(\Delta \varphi))^2} \right)$$

РАЗДЕЛ II. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

Принимая во внимание, что фаза выходного напряжения стремится к нулю, имеем:

$$S_{\Delta\varphi}^{\varphi p} \approx \frac{U_x}{U_x - U_0} \quad (2)$$

Из (2) следует: чувствительность при малых фазах выходного напряжения стремится к значению коэффициента n .

График зависимости чувствительности фазы разностного напряжения к фазе выходного сигнала при различных значениях коэффициента n (Рисунок 4).

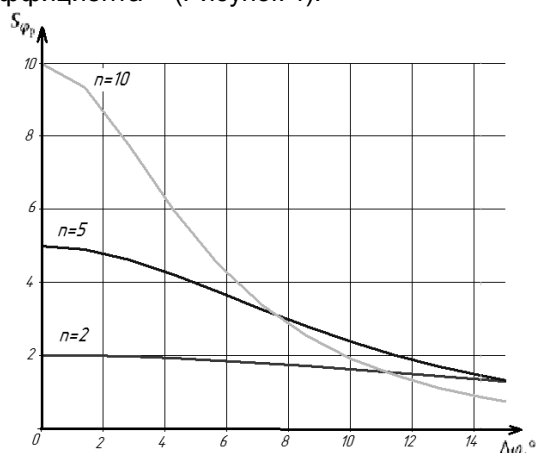


Рисунок 4 – Зависимость чувствительности фазы разностного напряжения к фазе выходного сигнала

Таким образом, максимальная чувствительность обеспечивается при изменении фазы выходного напряжения от нуля до нескольких градусов. Предложенный метод может быть широко применен в металлоискателях, с целью повышения чувствительности к металлическим предметам малых размеров, вызывающие малые фазовые сдвиги выходного напряжения [2].

На рисунке 5 приведена структурная схема разрабатываемого металлоискателя.

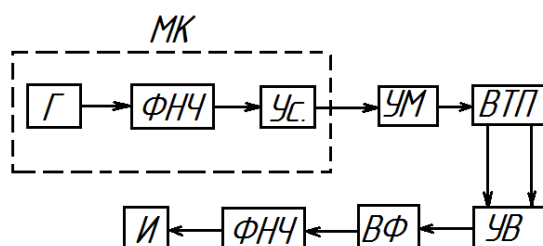


Рисунок 5 – Структурная схема: Г – генератор импульсов; ФНЧ – фильтр низких частот; УС – усилитель; УМ – усилитель мощности; ВТП – вихретоковый преобразователь; УВ – устройство вычитания; ВФ – высокочувствительный фазометр; И – индикатор.

Питание первичного вихретокового преобразователя осуществляется от генератора синусоидальных сигналов[3].

Датчик состоит из трех обмоток – возбуждающей и двух измерительных. Измерительные обмотки располагаются по краям каркаса первичного преобразователя. Это позволяет при приближении металлического тела к одной из измерительных обмоток считать напряжение этой обмотки выходным, а напряжение противоположной измерительной обмотки опорным.

Измерительные обмотки включены встречно и напряжение на них находится в противофазе с напряжением генератора.

Микроконтроллер формирует синусоидальный сигнал, который поступает на усилитель мощности, далее, уже усиленный по амплитуде сигнал подается на возбуждающую обмотку. Во время отсутствия металлических предметов в зоне чувствительности первичного преобразователя, сигналы обеих измерительных обмоток равны по амплитуде и синфазны. При появлении металла в окне первичного преобразователя, устройство вычитания формирует сигнал, который описывается фазой разностного φ_p и амплитудой U_p разности опорного и выходного сигналов. Данную информацию улавливает высокочувствительный фазометр. Фильтр нижних частот выделяет постоянную составляющую с выхода усилителя, которая поступает на индикатор.

Данный метод обеспечивает высокую чувствительность при близких значениях амплитуд выходного и опорного сигналов и чем меньше отличаются эти значения, тем выше чувствительность метода [2].

Заключение

В рассмотренном материале статьи:

1. Предлагается способ повышения чувствительности фазометрического метода преобразования, основанного на изменении фазового сдвига.
 2. Математически и графически показана возможность реализации этого способа.
- Предложена структурная схема.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент 2366982 Российская Федерация, МПК G01V3/11. Металлоискатель [Текст] / В.П. Лубов, И.Н. Злыгостев, В.М. Грузнов, Б.Г. Титов; заявитель и патентообладатель Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН (ИНГГ СО РАН). – № 2006140973, заявл. 20.11.2006; опубл. 10.09.2009.

2. Ермошин, Н.И. Вихретоковый металлоискатель с повышенной чувствительностью [Текст] / Н.И. Ермошин, Д.В. Миляев // Информационно-измерительная техника и технологии – Томск: Издательство ТПУ, 2013. – С.129-132.
3. Гольдштейн, А. Метод вихретоковой дефектоскопии прутков и труб на основе использования комбинированного преобразователя с возбуждением разночастотных пространственных компонент магнитного поля [Текст] / А.Е. Гольдштейн, В.Ф. Булга-

ков, Х.М. Кренинг // Дефектоскопия. – 2011. № 11. – С. 39–47

Студент **Ермошин Н.И.**, e-mail: ermoschin.nik@yandex.ru, кафедра Информационно-измерительной техника института неразрушающего контроля Томского политехнического университета; к.т.н., доцент **Миляев Д.В.**, e-mail: mdv@tpu.ru - кафедра Информационно-измерительной техники Томского политехнического университета

УДК 535.854

ВЫСОКОТОЧНЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ДЛЯ МОБИЛЬНЫХ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

И.П. Мирошниченко

Описаны результаты разработки перспективных бесконтактных средств измерений перемещений поверхностей объектов контроля на основе современных лазерных технологий и новых методов оптической интерферометрии для регистрации информации при диагностике состояния конструктивных материалов и силовых элементов изделий, находящихся в эксплуатации, акустических неразрушающих методов контроля в составе мобильных диагностических комплексов

Ключевые слова: лазерный интерферометр, интерференционная картина, измерение перемещений, поверхность объекта контроля, диагностика состояния

Введение

В настоящее время актуальным для обеспечения безаварийной эксплуатации и предотвращения катастроф транспортных средств, авиационной техники и т.п., находящихся в эксплуатации, является развитие и совершенствование мобильных диагностических комплексов, позволяющих на основе использования неразрушающих методов контроля провести диагностику состояния конструктивных материалов силовых элементов рассматриваемых машин и оборудования непосредственно по месту их эксплуатации (т.е. в «полевых» условиях) с целью принятия решения о возможности их дальнейшей эксплуатации и оценки остаточного ресурса. К одному из приоритетных направлений совершенствования инструментальной базы таких комплексов можно отнести разработку высокоточных бесконтактных средств измерений перемещений поверхностей объектов контроля для регистрации информации о их состоянии, например, при использовании акустических активных и пассивных методов неразрушающего контроля.

Известны из [1-3] высокоточные бесконтактные средства измерений перемещений поверхностей объектов контроля, построенные на базе двухходового лазерного интер-

ферометра с совмещенными ветвями [4,5] и основанные на использовании современных лазерных технологий и новых методов оптической интерферометрии.

Устройства [1-3] научно-обоснованы в процессе проведения расчетно-экспериментальных исследований, результаты которых предложены в [6-11], апробированы и использованы при решении актуальных научных и производственных задач (см., например, [12,13]).

Для расширения функциональных возможностей технических решений [1-3] за счет обеспечения изменения диапазона измеряемых значения перемещений в процессе проведения измерений разработано оптическое интерференционное устройство для измерения перемещений поверхностей объектов контроля, предложенное в [14].

Описание разработки

Сущность устройства [14] поясняется схемой, представленной на рисунке 1. Устройство [14] содержит оптически связанные и последовательно размещенные источник 1 когерентного оптического излучения, оптическую систему 2, объект контроля 3 с поверхностью 4, общее основание 5, на котором жестко закреплены светоделитель 6, отражатель 7 и фотоприемное устройство 8, а