

МЕТАЛЛОИСКАТЕЛЬ ПО ПРИНЦИПУ ФАЗОМЕТРА (METAL DETECTOR BY THE PRINCIPLE PHASEMETER)

Н.И. Ермошин, Д.В. Миляев
N.I. Yermoshin, D.V. Mylyayev

Национальный исследовательский Томский политехнический университет
E-mail: ermoschin.nik@yandex.ru

Рассмотрен новый способ обработки сигнала металлоискателя, основанный на измерениях фазы разностного сигнала. Определены преимущества над разработанными металлоискателями имеющих фазометрическую схему. Изучена зависимость фазы разностного сигнала от амплитуды входных сигналов и разности их фаз. Проведен анализ чувствительностей к разности амплитуд входных сигналов и разности фаз. Установлено, что данный металлоискатель обладает большей чувствительности по сравнению с известными разработками и способен детектировать металл при малейшем изменении выходного сигнала первичного преобразователя. Разработана структурная схема для предлагаемого металлоискателя и приведено описание принципа работы.

A new method of detecting metals, based on phase measurement of the differential signal. The advantages of having metal detectors designed phasemeter scheme. The phase dependence of the difference signal from the amplitude of the input signals and the difference of their phases is learnt. Sensitivity analysis to the difference of the amplitudes of input signals and the phase difference is passed. It has been established that the this metal detector has a higher sensitivity compared to known designs and is capable of detecting the slightest change the metal at the primary output inverter. The structural scheme for the proposed metal detector and describes the operating principle.

Ключевые слова:

Вихретоковый метод, фаза, металлоискатель.
Eddy current method, phase, metal detector.

Основные проблемы, возникающие при разработке металлоискателя: изготовление прибора, имеющего большую чувствительность, помехозащищенность, по сравнению с разработанными. Очень важно достичь низкой вероятности ложных тревог, стабильности параметров во времени. С этой целью разрабатываются и совершенствуются как первичные преобразователи, так и схемы обработки их выходных параметров.

Под чувствительностью обнаружителя металлических предметов подразумевается величина, обратно пропорциональная отношению диаметра обнаруживаемого металлического предмета к диаметру окна первичного преобразователя.

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.

Существует три вида модуляции колебаний: амплитудный, частотный, фазовый. Давно известно, что фазовая модуляция обладает лучшими свойствами помехозащищенности. Поэтому металлоискатели, имеющие фазометрическую схему, получили сейчас более широкое распространение. Рассмотрим наиболее интересное решение (Рис. 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. 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].

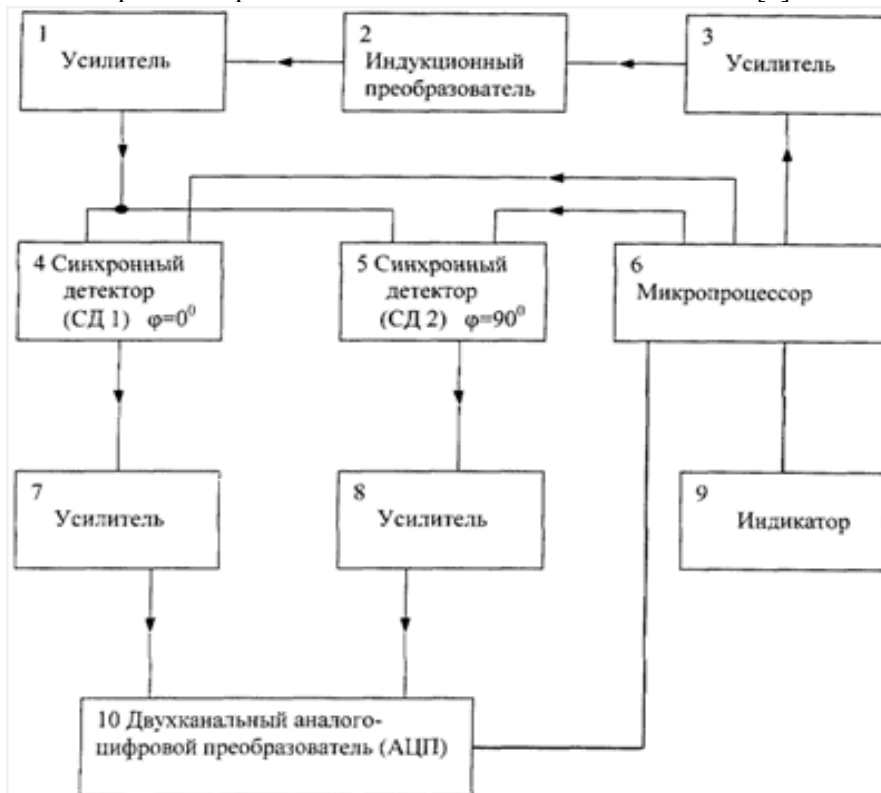


Рис. 1. Структурная схема

В наиболее известных вихретоковых металлоискателях сигнал от обнаруживаемого объекта оценивается по квадратурной составляющей выходного сигнала преобразователя, приборы отличаются только математической обработкой этой составляющей.

Предлагается другой 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 рис.2 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 ;

– вещественная составляющая вектора

$$\frac{U_0 \cos \Delta\varphi}{\cos \varphi_p} = U_0 \cos \Delta\varphi \left(1 + \frac{a^2}{b^2} \right) \quad (1)$$

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

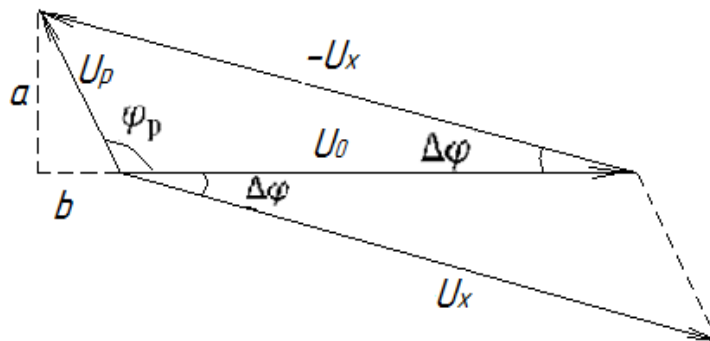


Рис. 2. Диаграмма векторов опорного, выходного и напряжения разности опорного и выходного напряжений

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

$$U_0 \cos \Delta\varphi = U_p \cos \varphi_p - U_x \cos \Delta\varphi$$

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

$$\frac{\Delta\varphi}{\varphi_p} = \frac{U_p \sin \varphi_p}{U_x \cos \Delta\varphi}$$

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

Найдем чувствительность фазы разностного напряжения к фазе выходного сигнала:

$$\frac{\partial \Delta\varphi}{\partial \varphi_p} = \frac{U_p \cos \varphi_p}{U_x \cos \Delta\varphi} - \frac{U_p \sin \varphi_p}{U_x \cos^2 \Delta\varphi} \varphi_p$$

Преобразовав выражение, получили:

$$\frac{\partial \Delta\varphi}{\partial \varphi_p} = \frac{U_p \cos \varphi_p}{U_x \cos \Delta\varphi} \left(1 - \frac{\varphi_p \sin \varphi_p}{\cos \Delta\varphi} \right)$$

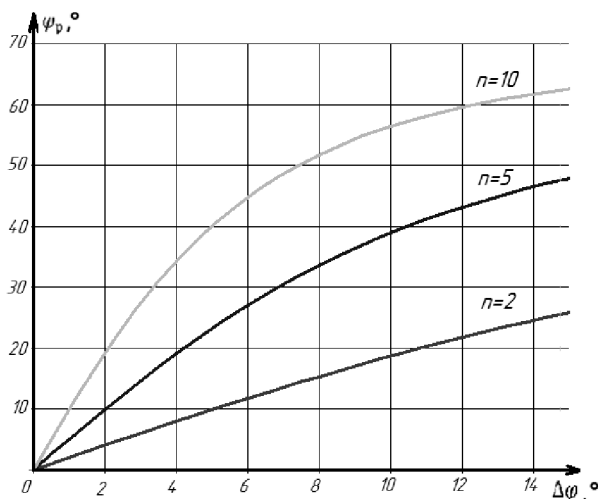


Рис. 3. Зависимость фазы разностного сигнала от фазы выходного сигнала при различных значениях коэффициента

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

$$\text{---} \quad (2)$$

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

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

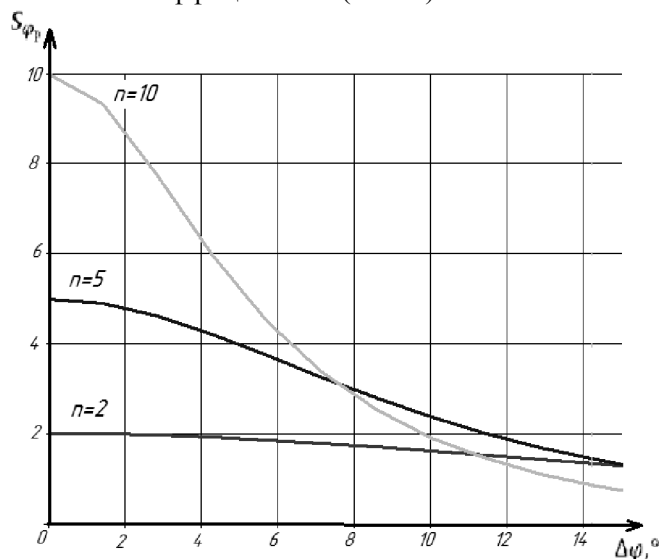


Рис. 4. Зависимость чувствительности фазы разностного напряжения к фазе выходного сигнала

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 рис. 5 приведена структурная схема разрабатываемого металлоискателя.

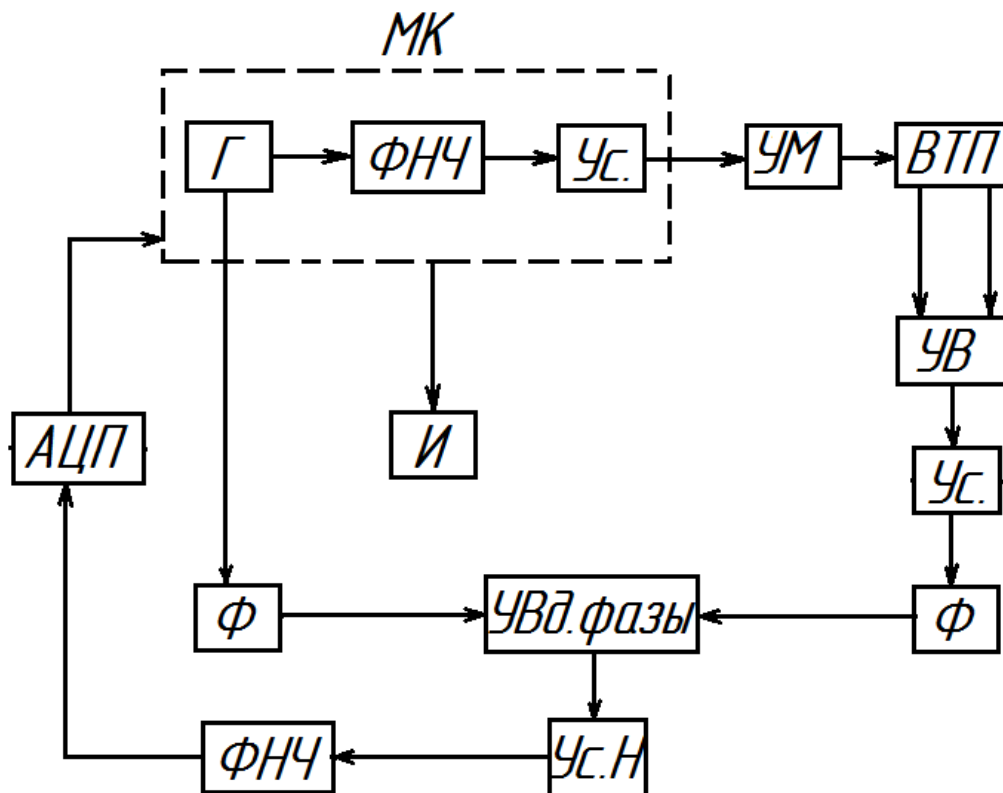


Рис. 5. Структурная схема: Г – генератор импульсов; ФНЧ – фильтр низких частот; Ус. – усилитель; УМ – усилитель мощности; ВТП – вихрековый преобразователь; УВ – устройство вычитания; Ф – формирователь; УВд. фазы – устройство выделения фазы; Ус.н – усилитель напряжения; АЦП – аналогово-цифровой преобразователь; И – индикатор

Питание первичного вихрекового преобразователя осуществляется от генератора синусоидальных сигналов. Генератор собран на микроконтроллере: прямоугольный сигнал преобразуем в синусоиду с помощью фильтра низких частот.

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. Данная информация усиливается и поступает на формирователь, который преобразовывает сигнал в прямоугольный. Также с генератора на другой формирователь поступает прямоугольный сигнал, сдвинутый на 90 градусов относительно входного напряжения преобразователя. Сигналы с формирователей подаются на устройство выделения фазы. Полученная информация усиливается по напряжению и поступает на фильтр нижних частот. Далее на аналогово-цифровой преобразователь. Следующая информация обрабатывается в микроконтроллере и поступает на индикатор.

V Научно-практическая конференция «Информационно-измерительная техника и технологии», 19–23 мая 2014 г.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Металлоискатель: пат. 2366982 РФ №2006140973/28; Заяв. 20.11.2006; Оpubл. 10.09.2009.
2. Миляев Д. В. , Ермошин Н. И. Вихретоковый металлоискатель с повышенной чувствительностью // Информационно-измерительная техника и технологии: материалы IV Научно-практической конференции, Томск, 15-17 Мая 2013. - Томск: ТПУ, 2013 - С. 134-137.

Сведения об авторах:

Ермошин Н.И.: студент гр. 1БМ32 кафедры Информационно-измерительной техника института неразрушающего контроля Томского политехнического университета, область научных интересов – электромагнитные методы измерения и контроля, металлообнаружители, e-mail: ermoschin.nik@yandex.ru

Миляев Д.В.: к.т.н., доцент кафедры Информационно-измерительной техники Томского политехнического университета, область научных интересов: разработка методов и средств неразрушающего контроля и измерения, металлообнаружители, измерители больших сопротивлений, приборы медицинской диагностики. E-mail: mdv@tpu.ru