

УДК 621.317.77

**МЕТАЛЛОИСКАТЕЛЬ
ПО ПРИНЦИПУ ФАЗОМЕТРА**

Н.И. Ермошин, Д.В. Миляев

Томский политехнический университет

E-mail: ermoschin.nik@yandex.ru

Ермошин Николай Иванович, студент кафедры информационно-измерительной техники Института неразрушающего контроля ТПУ.
E-mail:

ermoschin.nik@yandex.ru

Область научных интересов: электромагнитные методы измерения и контроля, металлообнаружители.

Миляев Дмитрий Васильевич, канд. техн. наук, доцент кафедры информационно-измерительной техники Института неразрушающего контроля ТПУ.

E-mail: mdv@tpu.ru

Область научных интересов: разработка методов и средств неразрушающего контроля и измерения, металлообнаружители, измерители больших сопротивлений, приборы медицинской диагностики.

Рассмотрен новый способ обработки сигнала металлоискателя, основанный на измерениях фазы разностного сигнала. Определены преимущества над разработанными металлоискателями, имеющими фазометрическую схему. Описан принцип работы наиболее распространённого металлоискателя. Предложен новый метод обработки сигнала, обладающий повышенной чувствительностью. 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 на основе фазометрического метода и приведено описание принципа работы.

Ключевые слова:

Вихретоковый метод, фаза, металлоискатель, фазометр, высокая чувствительность.

Основная проблема, возникающая при разработке металлоискателя, – это изготовление прибора, имеющего большую чувствительность и помехозащищенность по сравнению с существующими аналогами. 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.

Решение задачи сводится к обнаружению проводящих объектов малых размеров, которые находятся на большом расстоянии.

Известны три вида модуляции колебаний: амплитудный, частотный, фазовый. Фазовая модуляция обладает лучшей помехозащищенностью при передаче и приеме сигнала.

Рассмотрим наиболее интересное решение для реализации металлоискателя, имеющего фазометрическую схему (рис. 1).

Металлоискатель работает следующим образом. Микропроцессор 6 формирует прямоугольные импульсы, заполненные несущей частотой излучения, которые усиливаются усилителем мощности 3 и подаются на вход обмотки возбуждения вихретокового преобразователя 2. Сигнал с измерительной обмотки 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 см [1].

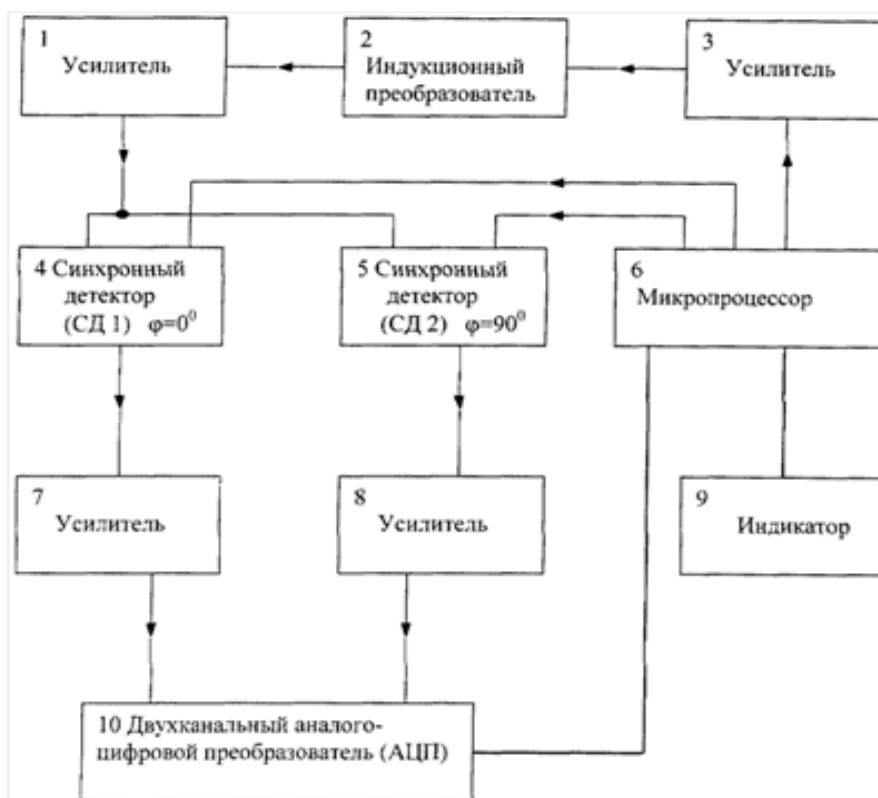


Рис. 1. Структурная схема

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 с 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 ; b – вещественная составляющая вектора U_p .

$$\begin{aligned}
 U_p &= \sqrt{(U_x \cdot \sin(\Delta\varphi))^2 + (U_x \cdot \cos(\Delta\varphi) - U_0)^2} = \\
 &= \sqrt{U_x^2(\sin^2(\Delta\varphi) + \cos^2(\Delta\varphi)) - 2U_xU_0 \cdot \cos(\Delta\varphi) + U_0^2} = \\
 &= \sqrt{U_x^2 - 2U_xU_0 \cdot \cos(\Delta\varphi) + U_0^2}.
 \end{aligned}$$

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

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

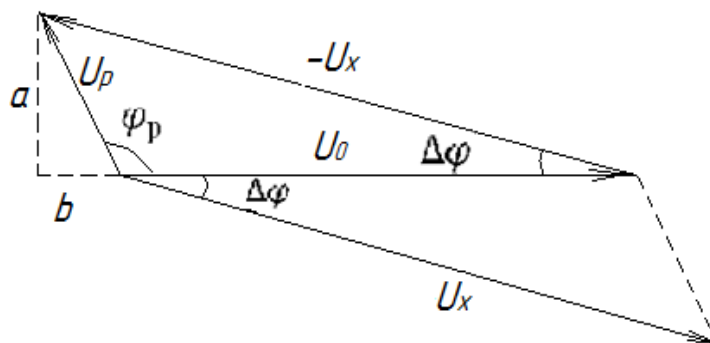


Рис. 2. Диаграмма векторов опорного, выходного и напряжения разности опорного и выходного напряжений

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

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

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

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

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

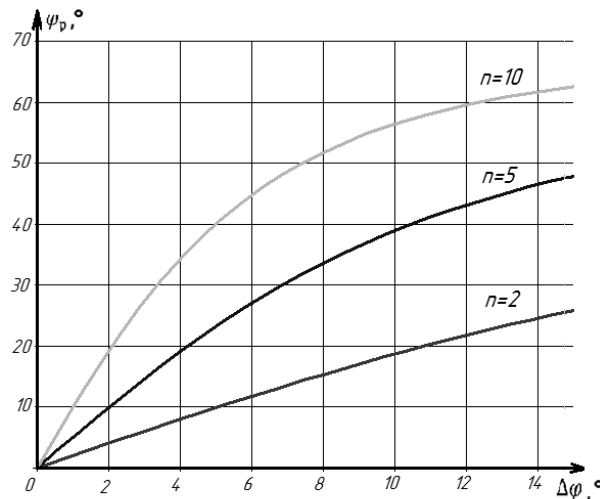


Рис. 3. Зависимость фазы разностного сигнала от фазы выходного сигнала при различных значениях коэффициента n

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, что 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 показан на рис. 4.

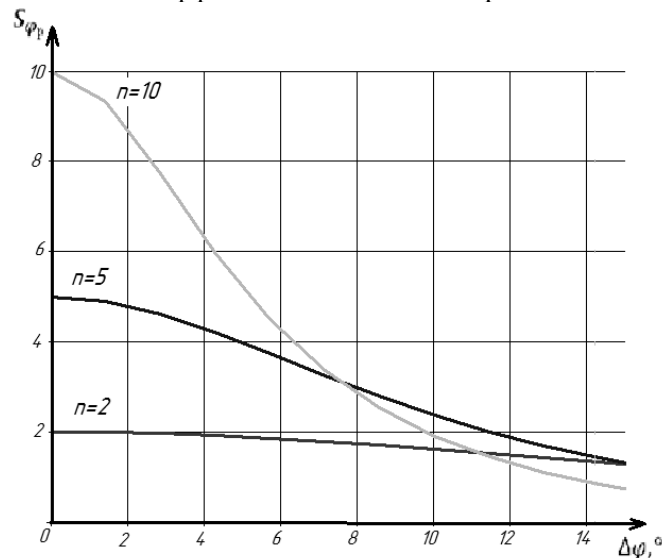


Рис. 4. Зависимость чувствительности фазы разностного напряжения к фазе выходного сигнала

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 [2].

На рис. 5 приведена структурная схема разрабатываемого металлоискателя.

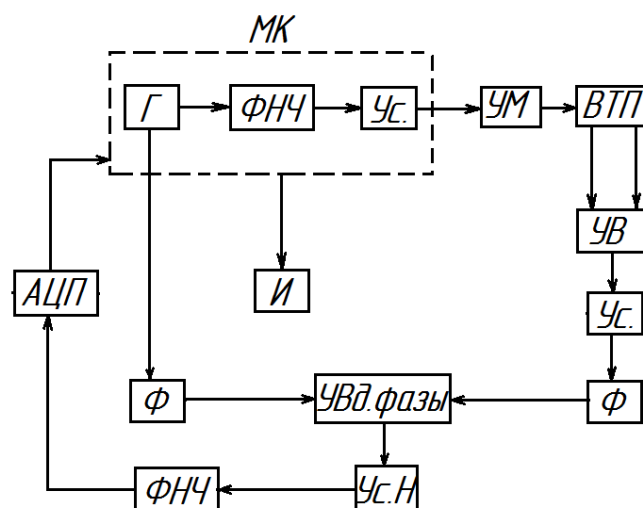


Рис. 5. Структурная схема: Г – генератор импульсов; ФНЧ – фильтр низких частот; Ус. – усилитель; УМ – усилитель мощности; ВТП – вихретоковый преобразователь; УВ – устройство вычитания; Ф – формирователь; УВд. фазы – устройство выделения фазы; Ус.Н – усилитель напряжения; АЦП – аналогово-цифровой преобразователь;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

Питание первичного вихретокового 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. Микроконтроллер формирует синусоидальный сигнал, который поступает на усилитель мощности. Далее уже усиленный по амплитуде сигнал подается на возбуждающую обмотку. В отсутствие 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 преобразует сигнал в прямоугольный. Также с генератора на другой формирователь поступает прямоугольный сигнал, сдвинутый на 90° 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 аналого-цифровой преобразователь. На следующем этапе информация обрабатывается в микроконтроллере и 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].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Металлоискатель: пат. 2366982 РФ № 2006140973/28; Заяв. 20.11.2006; Опубл. 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.

Поступила 06.10.2014.