

# КОМП'ЮТЕРНІ ЗАСОБИ, МЕРЕЖІ ТА СИСТЕМИ

*Поставлена задача создания устройств контроля и идентификации монет для защиты монетарной системы от подделок. Проанализированы существующие способы и устройства контроля монет. Предложен созданный авторами детектор монет, измеряющий их геометрические параметры и электромагнитные свойства. Описан принцип его работы, проанализированы переходные характеристики монет при движении через измерительный узел, приведены электромагнитные и геометрические портреты монет Украины. Детектор обладает высокими точностью, надежностью, быстродействием и может использоваться на всех стадиях обращения монет.*

© А.Д. Бех, В.В. Чернецкий,  
В.В. Елшанский, 2004

УДК 681.335

А.Д. БЕХ, В.В. ЧЕРНЕЦКИЙ, В.В. ЕЛШАНСКИЙ

## АВТОМАТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МОНЕТ

Использование монет в финансовых расчетах обусловлено тем, что длительность пребывания монет в обращении в десятки раз выше, чем сроки обращения денежных купюр. В денежном обращении в мире доля монет составляет значительный процент от общей суммы денег. Проблема определения действительности монет всегда стояла перед человечеством. Наиболее актуальной она стала в период широкого распространения торговых и кассовых автоматов. Это привело к созданию монетоанализирующих и монетоприемных приборов с функцией измерения геометрических параметров монет. Большое число номиналов монет разных стран не позволяет изготовление монет с достаточной разницей геометрических параметров (диаметр и толщина). Поэтому контроль действительности монет необходимо осуществлять по нескольким параметрам: размерным и физико-химическим свойствам металла, из которого они изготовлены.

Проблема контроля действительности монет требует ее технического решения на всех стадиях их обращения.

Стадия изготовления монет сопровождается техническими средствами контроля физических параметров, которые характеризуют качество сплава, т.е. измерение электрической и магнитной проводимостей, а также размерных параметров (диаметра и толщины) заготовок и монет.

Стадия торгового обращения обеспечивается устройствами расфасовки по номиналам и подсчета их суммы. Эти устройства работают на принципе идентификации физичес-

ких и размерных параметров монет, которые заложены Монетным Двором при их проектировании и изготовлении. Конструктивно и схемотехнически они подобны первым, но более просты.

Стадия автоматического обращения монет требует простых и надежных идентификаторов монет с их ручной загрузкой и выгрузкой.

Эти три вида устройств отличаются прежде всего скоростью измерения и контроля. Наибольшее быстродействие должны иметь первые устройства, потому что через несколько таких устройств проходит вся продукция Монетного Двора. Через одно устройство второго и третьего типов проходит часть всей продукции, причем устройство третьего типа характеризуется ручной загрузкой монет. Точность измерения параметров также должна быть выше устройств первого вида, так как в них измеряются отдельные геометрические и физические параметры, а в других только идентифицируются номиналы монет по интегральным характеристикам геометрических и физических параметров.

Принцип действия устройств определяется способом взаимодействия монеты с измерительным узлом. Ранние разработки устройств использовали механические методы контроля – обкатку и щелевую сепарацию. До сих пор такие методы наиболее распространены в устройствах подсчета и сортировки монет. В основе других устройств лежит электромагнитное взаимодействие монеты с измерительным узлом. Эти устройства измеряют интегральную характеристику электромагнитной проводимости монеты, по которой идентифицируют физико-химические свойства металла, из которого она изготовлена, а по величине и отношению индуцированных сигналов идентифицируются ее геометрические параметры. В основе этих устройств лежит вихретоковый метод измерения, суть которого состоит в том, что на монету действуют гармоническим или импульсным магнитным полем и определяют реакцию монеты на такое действие.

Если выделить реакцию монеты на зондирующее магнитное поле в виде сигнала, она будет оцениваться двумя параметрами: амплитудой и фазой. Имея только эти два параметра, можно вычислить электрическую и магнитную проводимости монеты только в том случае, если измеряемый параметр связан только с одним свойством монеты – только с электрической или только с магнитной проводимостью.

В магнитном материале с низкой электрической проводимостью сигнал формируется магнитным сопротивлением  $R_d$  и модулируется только по амплитуде, а его фаза зависит от индуктивности рассеивания измерительного узла. В немагнитном проводящем материале согласно закону Ленца индуцированный ток создает магнитный поток, который находится в противофазе с зондирующим магнитным потоком и модулирует выходной сигнал также по амплитуде. Поэтому классический вихретоковый метод не дает возможности контролировать одновременно электрическую и магнитную проводимости монеты. Попытки поиска новых методов анализа электромагнитных свойств монет не привели к возможности одновременного раздельного измерения электрической и магнитной проводимостей. Новые методы контроля монет по гармоническим составляющим [1], по определению количества экстремумов напряжения сигнала [2], по

длительности сигналов широтно-импульсного детектора [3] позволяют определить интегральную характеристику электромагнитной проводимости монеты и могут использоваться с целью построения устройств для распознавания и идентификации монет, а не устройств – анализаторов их электрической и магнитной проводимостей. Широко используемый метод щелевой сепарации пригоден для построения устройств контроля геометрических параметров только одного номинала, причем с невысокой точностью [4]. Метод измерения диаметра монет посредством фиксации времени движения монеты через зону измерительного узла требует средства контроля или стабилизации скорости движения монет [3].

Авторы создали детектор монет, который в реальном масштабе времени оценивает их геометрические параметры, электрическую и магнитную проводимости с высокой точностью, что обеспечивает контроль электромагнитных свойств монет и который можно использовать на всех стадиях их обращения.

Для достижения поставленных целей в устройстве используется усовершенствованный вихретоковый способ одновременного измерения электрической и магнитной проводимостей монеты. Этот способ основывается на уточненном законе Ленца, который состоит в том, что вихревой ток, индуцируемый гармоническим магнитным потоком зондирования монеты, создает магнитный поток, сдвинутый по фазе на  $\pi/2$  относительно зондирующего потока. Уточненное фазовое соотношение получается благодаря использованию техники практически идеальных трансформаторов для выполнения аналоговых операций над гармоническими сигналами методом сложения и вычитания магнитных полей [5]. Для анализа информационного сигнала используется электромагнитный полевой сигнальный процессор (рис. 1), который разлагает измеряемый гармонический сигнал на косинусную и синусную составляющие (коэффициенты Фурье). Значения коэффициентов полевой сигнальный процессор преобразовывает в разность фаз гармонических сигналов, которая измеряется с высокой точностью в каждом периоде зондирующего магнитного поля.

Закон функционирования электромагнитного сигнального процессора основан на модуляции магнитного потока в электромагнитной системе магнетик-проводник. Как видно из электрической схемы (рис. 1,а), электромагнитный полевой сигнальный процессор имеет контур опорного сигнала  $e_0$  и контур информационного сигнала  $e_i$ . На контур опорного сигнала действует генератор напряжения в виде ЭДС опорного сигнала  $e_0$ :

$$e_0 = U_{m0} \cos \omega t. \quad (1)$$

В режиме электрического резонанса, который состоит в том, что магнитный поток  $\Phi_0$ , созданный опорным сигналом  $e_0$ , отсутствует, ток в контуре опорного сигнала

$$I_0 = e_0 / R_0, \quad (2)$$

а фаза тока совпадает с фазой ЭДС опорного сигнала.

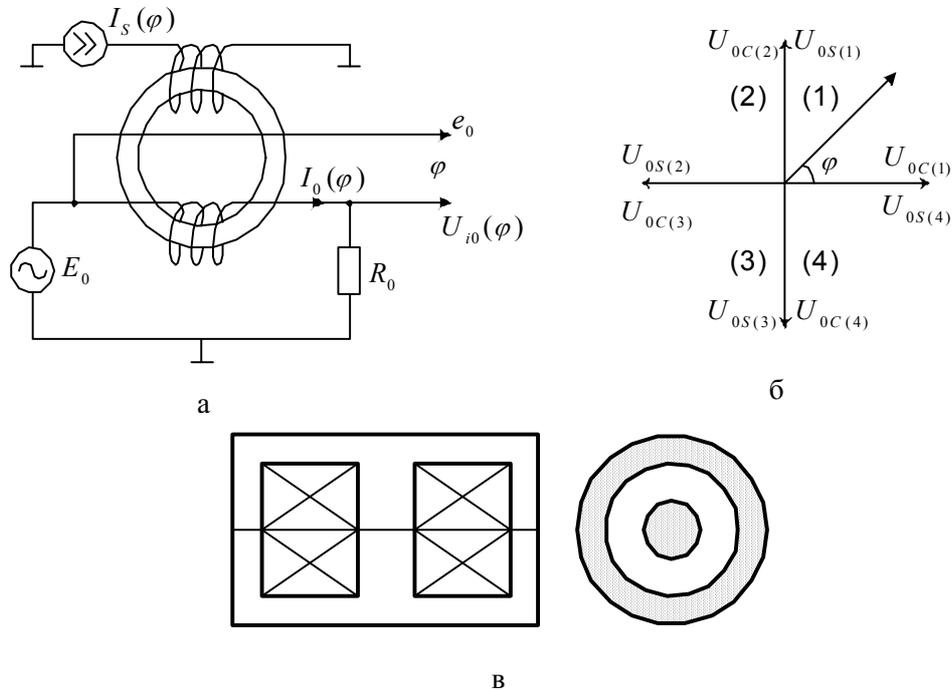


РИС. 1. Электромагнитный полевой сигнальный процессор: а – электрическая схема; б – векторная диаграмма; в – конструкция

На контур информационного сигнала  $e_i$  действует генератор тока

$$I_s = K_i e_i, \quad (3)$$

где  $K_i$  – коэффициент преобразования в ток ЭДС информационного сигнала  $e_i$ :

$$e_i = U_{mi} \cos \omega t. \quad (4)$$

Поэтому в контуре информационного сигнала создается ток

$$I_s = K_i U_{mi} \cos \omega t. \quad (5)$$

В полевом сигнальном процессоре осуществляется фазовое преобразование сигналов  $e_0$  и  $e_i$ :

$$e_0 = -\frac{d\Phi(I_s)}{dt} = I_0 R_0 \quad (6)$$

или

$$e_0 = I_0 R_0 + j\omega W\Phi(I_s). \quad (7)$$

Согласно закону полного тока Ампера

$$\Phi(I_s) = \frac{I_s}{R_\mu}, \quad (8)$$

где  $R_\mu$  – магнитное сопротивление контура информационного сигнала.

Тогда

$$e_0 = I_0 R_0 + j\omega LI_s, \quad (9)$$

$$L = \frac{W^2}{R_\mu}. \quad (10)$$

Фазовый сдвиг тока относительно  $e_0$  согласно (9)

$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{\omega LI_{sm}}{I_{m_0} R_0}, \quad (11)$$

а магнитная проводимость

$$A_c = K_m U_{0c} \frac{\omega LI_{sm}}{I_{0c} R_{0c}}. \quad (12)$$

Электрическая проводимость определяется при взаимодействии в электромагнитном поле информационного сигнала  $e_i$  с опорным сигналом  $e_{0s}$ :

$$e_{0s} = U_0 \sin \omega t, \quad (13)$$

$$A_s = K_e U_{0s} \frac{\omega LI_{sm}}{I_{0s} R_0}. \quad (14)$$

Использование электромагнитного полевого сигнального процессора решает проблему быстродействия и точности измерений, а также делает излишней потребность в полупроводниковых АЦП, которые не удовлетворяют требованиям достижения необходимой точности вследствие высокого шума квантования гармонического сигнала. Выходные фазоразностные сигналы непосредственно преобразуются в цифровое значение и поступают с частотой зондирующего магнитного поля в компьютер, осуществляющий необходимую цифровую обработку и управляющий работой электромеханических узлов.

Детектор монет осуществляет контроль их геометрических параметров и электромагнитных свойств. Независимость контроля геометрических и электромагнитных характеристик обеспечивается выполнением измерений двумя различными способами с использованием двух различных датчиков. Измерение электромагнитных параметров выполняется при зондировании монеты низкочастотным гармоническим магнитным полем, которое проникает на всю толщину монеты, а измерение геометрических параметров – при зондировании высокочастотным полем, глубина проникновения которого меньше погрешности измерения толщины монеты.

Для измерения электромагнитных параметров используются два П-образных ферритовых сердечника, образующих С-образный магнитопровод с зазором, через который перемещается монета в процессе измерения (рис. 2). В зазоре формируется равномерное зондирующее гармоническое магнитное поле, пронизывающее толщину монеты. Для измерения геометрических параметров монеты в детекторе использован принцип отражения зондирующего магнитного

потока от поверхности монеты. Для его реализации используется двойной дифференциальный чашечный ферритовый магнитопровод прямоугольной формы (рис. 3).

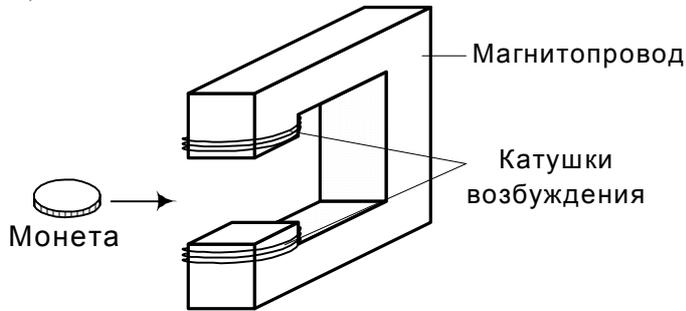
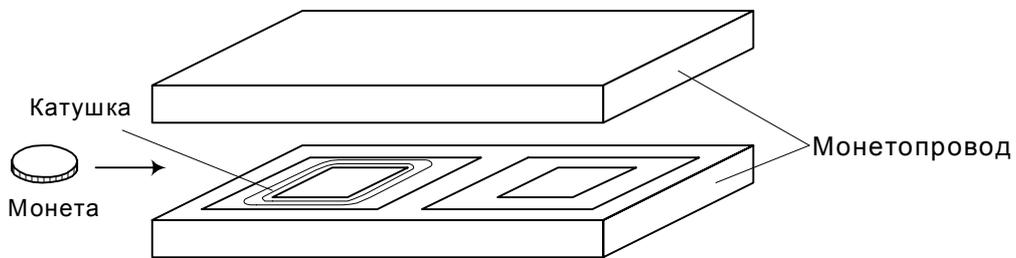
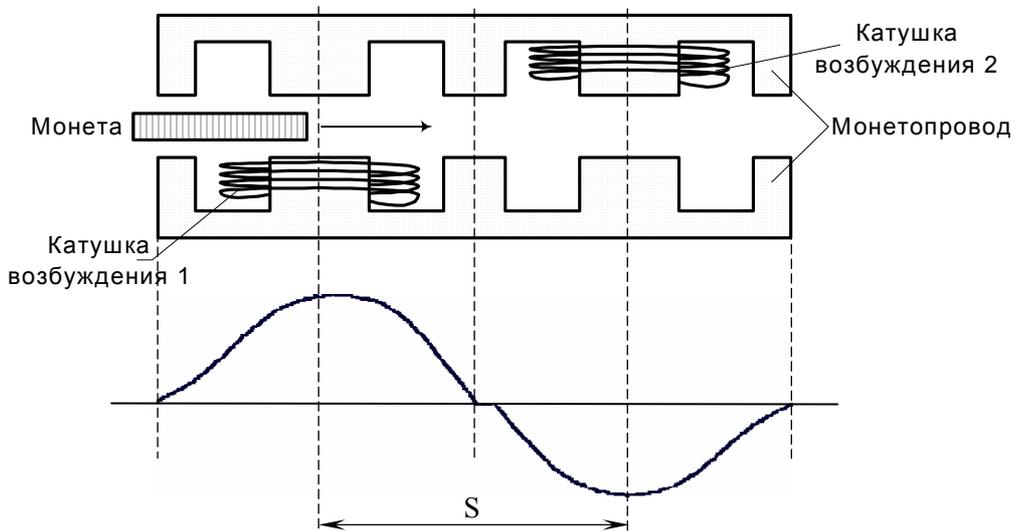


РИС. 2. Датчик электромагнитных свойств монеты



а



б

РИС. 3. Датчик геометрических параметров: а – конструкция датчика; б – схема и характеристика движения монеты

Одна часть магнитопровода используется для зондирования монет с одной ее стороны, а другая – с противоположной, и определяется расстояние от поверхности монеты до нижней и верхней частей магнитопровода. Зная расстояние между поверхностями нижней и верхней частями магнитопровода, вычисляется толщина монеты как разность интегралов характеристик удаления поверхностей монеты от магнитопроводов. Подсчитывая количество периодов зондирующего магнитного поля, когда монета находится в зоне датчика при ее движении, определяется диаметр монеты, а расстояние между экстремумами характеристики движения монеты служит для определения и контроля скорости движения монеты.

Работа устройства для определения электромагнитных свойств и геометрических параметров монет подробно описана в [6], поэтому здесь рассмотрен принцип работы детектора монет в рамках прохождения и формирования сигналов по его блок-схеме (рис. 4).

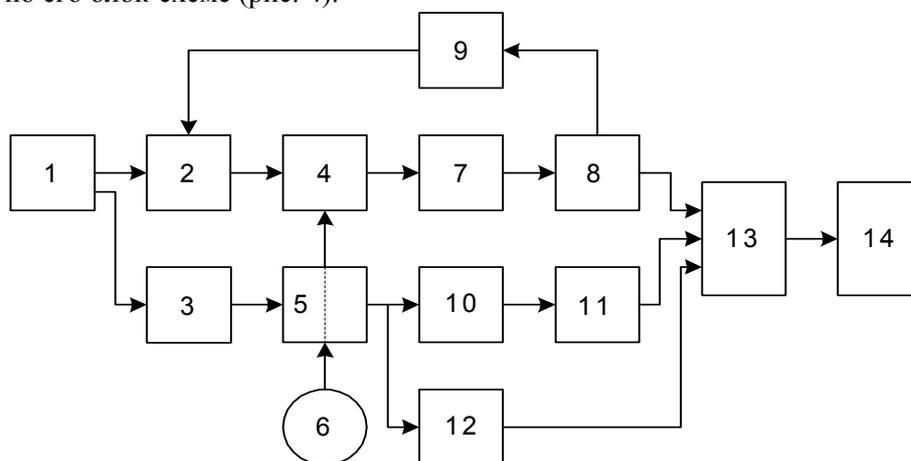


РИС. 4. Блок-схема детектора монет

Высокочастотные сигналы задающего генератора 1 преобразуются формирователями 2 и 3 в гармонические сигналы ЭДС соответственно низкой и высокой частот, которые генерируют в датчике электромагнитных свойств 4 низкочастотное зондирующее гармоническое магнитное поле, а в датчике геометрических параметров 5 – высокочастотное. Последовательно через первый и второй датчики перемещается монета 6, модулируя зондирующие магнитные потоки сигнала одного, а затем второго датчиков. Модулированные по амплитуде и фазе гармонические сигналы датчика электромагнитных свойств в электромагнитном поле в сигнальном процессоре 7 преобразуются в разностнофазовые сигналы электрической и магнитной проводимостей. Эти разностнофазовые гармонические сигналы в преобразователе 8 приобретают цифровое значение электрической и магнитной проводимостей монеты. Для исключения влияния внешних факторов в детектор введена схема адаптивной коррекции “нуля” 9, с помощью которой осуществляется авторегулировка величины зондирующего маг-

нитного потока и балансировка измерительного моста. Модулированные по амплитуде гармонические высокочастотные сигналы датчика геометрических параметров 5 в амплитудно-частотном преобразователе 10 преобразуются в разнофазовые гармонические сигналы опорной частоты измерения толщины монеты. Эти гармонические сигналы преобразователем 11 преобразовываются в цифровое значение толщины монеты. Счетчиком 12 подсчитывается количество высокочастотных модулированных сигналов в течение времени, когда монета находится в зоне зондирующего магнитного поля датчика геометрических параметров. Общее число этих сигналов однозначно определяет диаметр монеты. Цифровые значения электромагнитных и геометрических параметров монеты через интерфейсный блок 13 поступают в компьютер, где они обрабатываются и преобразовываются в характеристики электромагнитных свойств и геометрических параметров. Измеренные числовые параметры, электромагнитные и геометрические характеристики движения монеты через датчики, а также номинал монеты отражаются на мониторе, а монеты по команде компьютера направляются в кассу или на возврат, если одна из цифровых компонент не укладывается в область идентификации всех номиналов монет.

При отсутствии монеты и при движении монеты по монетопроводу вне зоны датчика геометрических параметров детектор с частотой 1 кГц выдает 16-разрядные двоичные цифровые значения электрической и магнитной проводимостей монеты, которые вне зоны датчика электромагнитных свойств соответствуют нулевым значениям этих проводимостей и которые по цепи обратной связи корректируют величину зондирующего магнитного поля датчика и балансировку измерительного моста. При попадании монеты в зону датчика геометрических параметров детектор переключается на выдачу информации о толщине монеты и с частотой 33 кГц выдает 16-разрядные двоичные цифровые значения оценки толщины монеты, одновременно подсчитывая количество периодов высокочастотного (2 МГц) зондирующего гармонического магнитного поля для оценки диаметра монеты. При выходе монеты из зоны датчика геометрических параметров код счетчика передается в компьютер как 16-разрядное двоичное цифровое значение диаметра монеты.

Характеристики движения монет через датчик электромагнитных свойств представлены на рис. 5. Анализ магнитной проводимости монет позволяет оценить магнитные свойства монет. Благодаря высокой чувствительности и совершенству методики измерения оказалось возможным оценить магнитную проводимость монет не только с ферромагнитными свойствами (1 коп., 2 коп. и 5 коп.), но и с парамагнитными и диамагнитными свойствами (остальные номиналы монет). Разность значений магнитной проводимости немагнитных монет с диамагнитными свойствами оказалась значительной для реализации функций распознавания и идентификации монет.

Характеристика движения монеты через датчики геометрии (рис. 6) не только позволяет с высокой точностью оценить толщину и диаметр монет, но и использование ее характерных точек для учета скорости движения монет через датчики. Расстояние между точками экстремумов характеристики определяется

конструктивными параметрами магнитопровода датчика, а временной параметр между этими точками – скоростью движения монеты:

$$V = \frac{S}{t}.$$

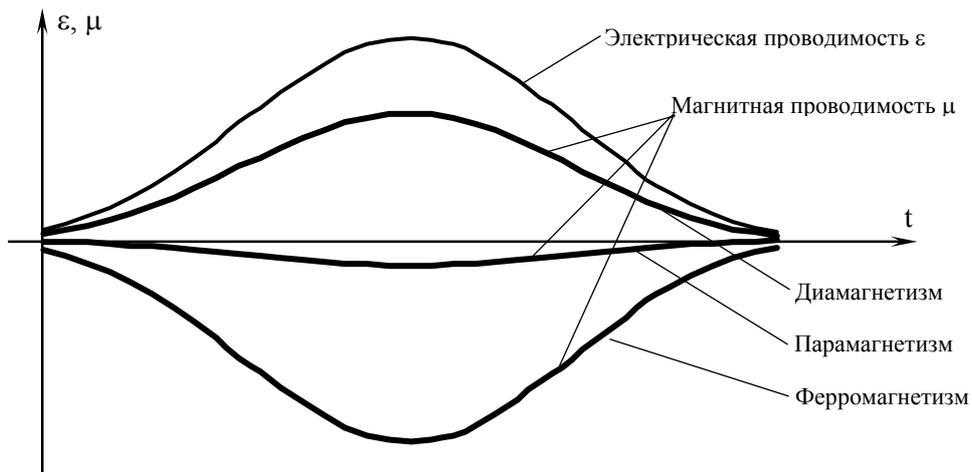


РИС. 5. Электромагнитные свойства монеты

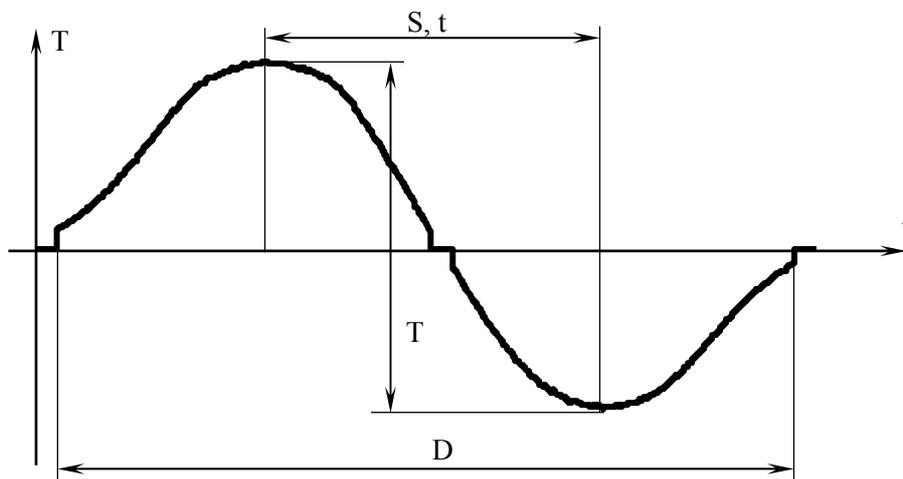


РИС. 6. Геометрические характеристики монеты

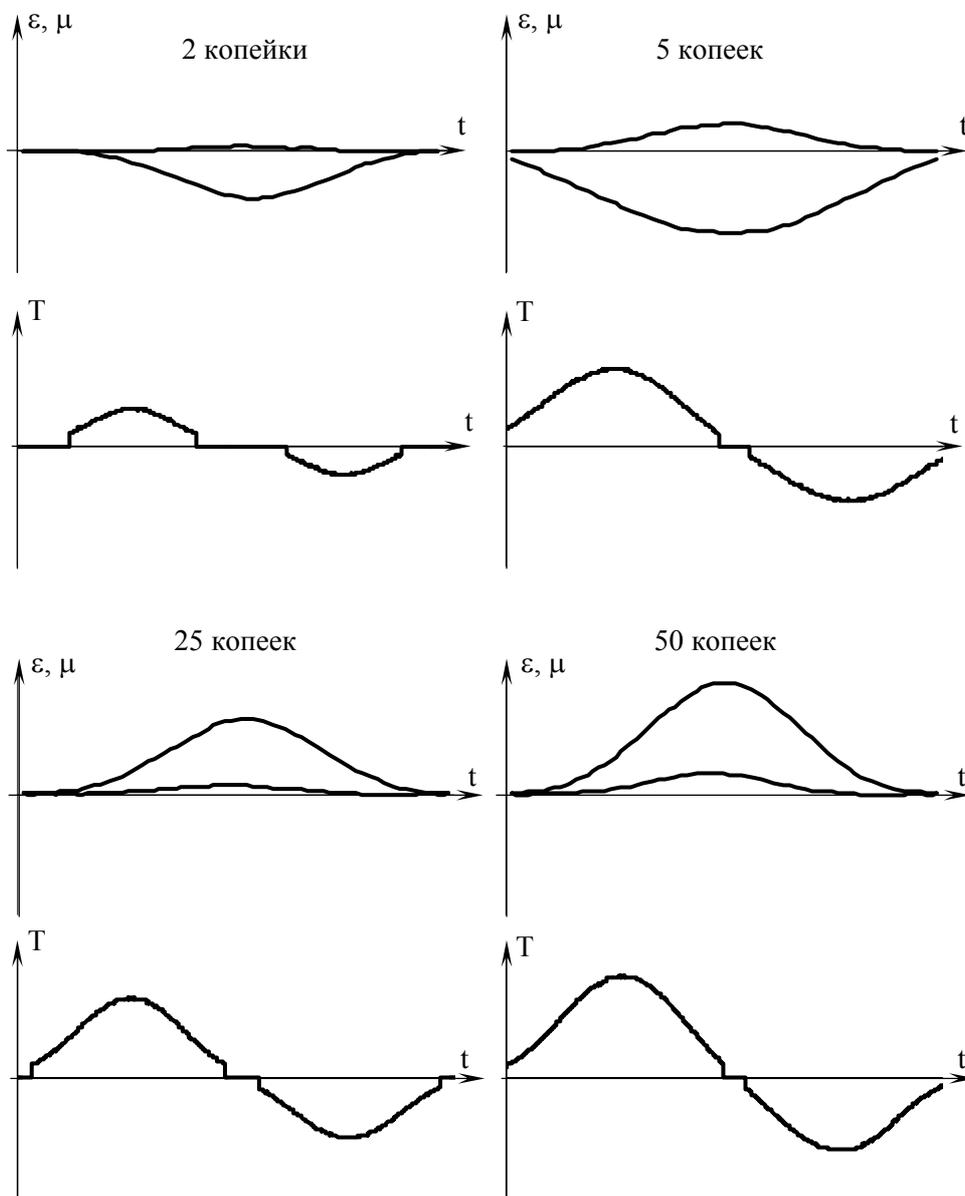


РИС. 7. Электромагнитные портреты монет Украины

Характеристики движения монет через измерительный узел (датчики электромагнитных свойств и геометрических параметров) представляют собой портреты номиналов монет (рис. 7), по которым с высокой точностью оцениваются их электромагнитные свойства и геометрические параметры. Эти характеристики движения монет позволяют осуществить контроль и идентификацию монет многопараметрическими и высокоточными. Монета определенного номинала характеризуется четырьмя многозначными числами, два из которых функция геометрических параметров, а два другие – функция материала, из которого изготовлена монета. Высокое быстродействие измерения позволяет оценить переходную электромагнитную и геометрическую характеристики монеты, благодаря чему достигнута высокая надежность распознавания и идентификации.

Созданный детектор монет, обладающий высокими точностью, надежностью и быстродействием, можно использовать на всех стадиях обращения монет. На стадии производства он используется для измерения геометрических параметров и оценки электромагнитных свойств монет и заготовок монет. На стадии торгового обращения его можно использовать для распознавания и идентификации, а также для расфасовки по номиналам монет и подсчета их суммы. На стадии автоматического обращения детектор распознает и идентифицирует монеты и подсчитывает их сумму.

1. *Pat.4971187* (USA). Method and apparatus for sorting coins utilizing coin-derived signals containing different harmonic components (Furuya, Yonezo, Ishida et al. Publ.20.11.90).
2. *A.c.1539812* (СССР). Устройство для проверки и сортировки монет / А.А. Александровичус, Л.Л. Пранайтис. – Оpubл. 1990, Бюл. № 4.
3. *Пат.2088970* (РФ). Устройство для идентификации и сортировки монет / А.Д. Бех, В.В. Чернецкий, В.И. Дегтярук и др. – Оpubл. 27.08.97, Бюл. № 24.
4. *High Speed coin counter*. Reis Eurosystems. – Bruchsal ( Germany ), 1994. – 12 p.
5. *Пат.56320* (UA). Фазовий спосіб вимірювання електропровідності речовини / О.Д. Бех, В.В. Чернецкий, В.І. Майко. – Оpubл. 15.05.03, Бюл. № 5.
6. *Пат.61523А* (UA). Пристрій для визначення електромагнітних властивостей і геометричних параметрів монет / О.Д. Бех, В.В. Чернецкий, В.В. Елшанський, О.А. Присяжнюк. – Оpubл. 17.11.03, Бюл. № 11.

Получено 27.02.2004