

В.Т. КОНДРАТОВ

Институт кибернетики им. В.М. Глушкова НАН Украины

**ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ МЕТРОЛОГИЯ. МАГНИТОПОЛЕВАЯ ТЕОРИЯ  
ИЗМЕРЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЯВЛЕНИЯ ПЕРЕНОСА ЭНЕРГИИ  
И ИНФОРМАЦИИ СКВОЗЬ МАТЕРИАЛ ИЛИ ВЕЩЕСТВО  
ЧАСТЬ 4. МАГНИТОПОЛЕВЫЕ МЕТОДЫ И ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ  
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ**

*В работе рассмотрена сущность и приведено несколько определений нового принципа измерений, положенного в основу магнитопольевых методов измерений. Дано определение, сформулированы цели магнитопольевых измерений. Описаны этапы магнитопольевых измерений, приведены функциональные схемы магнитопольевых измерительных преобразователей и подробно описаны их особенности и работа. Рассмотрены физические процессы взаимодействия импульсного магнитного поля с отрицательно заряженными квазичастицами материала, из которого выполнена механическая система замкнутого типа (двухконтурный волновод). Особое внимание уделено описанию действия магнитных и электрических сил на отрицательно заряженные квазичастицы. Показана возможность описания траектории движения отрицательно заряженных квазичастиц посредством уравнения величин, которое впервые было выведено автором, а соответствующая кривая получила название «бикольцид». Показано, что под действием импульсного магнитного поля отрицательно заряженные квазичастицы движутся в параллельных между собой плоскостях в одном направлении. Магнитная и кулоновская силы не дают этим квазичастицам столкнуться, т.к. являются силами действия и противодействия. Установлено, что ток в волноводе может оставаться пропорциональным скорости электронов только при условии, что скорость периодически сбрасывается в нуль. В таком случае ток характеризуется длиной свободного пробега квазичастиц. Приведена базовая принципиальная схема магнитопольевого преобразователя и несколько его вариантов. Описаны особенности этих схем. Показаны возможности включения пассивных и активных сенсоров к первичному контуру магнитопольевого измерительного преобразователя. Работа представляет интерес для метрологов, специалистов, магистров и аспирантов, изучающих магнитопольевые эффекты и явления, пути и методы создания сенсоров физических величин, а также изучающих магнитопольевые методы и средства измерения свойств и состава веществ и материалов с использованием нового принципа измерений — явления переноса энергии и информации сквозь материал.*

*Ключевые слова: новый физический принцип измерений, базовые схемы магнитопольевых измерительных преобразователей, бикольцид.*

V.T. KONDRATOV

V.M. Glushkov Institute of Cybernetics of National Academy of Science of Ukraine

**FUNDAMENTAL METROLOGY. THE MAGNETIC-FIELD THEORY OF MEASUREMENTS WITH USE THE  
PHENOMENON OF TRANSFER OF ENERGY AND INFORMATION THROUGH MATERIAL OR SUBSTANCE  
PART 4. MAGNETIC-FIELD METHODS AND MEASURING CONVERTERS**

*In the paper the essence is considered and some definitions of a new principle of the measurements taken as a principle of magnetic-fields measurements methods are resulted. Definition is made, the purposes magnetic-fields measurements are formulated. Stages magnetic-fields measurements are described, is resulted functional schemes of magnetic-fields measuring converters and in detail described their features and work. Physical processes of interaction of a pulse magnetic field with negatively charged quasi-particles of material, from which executed the mechanical system of closed type (two-path waveguide) are considered. The special attention is given the description of action of magnetic and electric forces on negatively charged quasi-particles. Possibility of the description of a trajectory of movement negatively charged quasi-particles by means of the quantities equation which has been deduced for the first time by the author is shown, and the corresponding curve has received the name «biringoid». It is shown that under the action of a pulsed magnetic field, negatively charged quasi-particles move in parallel planes in one direction. Magnetic and coulomb powers do not allow to these quasi-particles to face, since are forces of action and counteraction. It is established, that the current in a wave guide can remain proportional to speed electrons only provided that speed is periodically dumped in zero. In that case the current is characterized by length of free run of quasi-particles The base basic scheme of magnetic-field converter and some its variants is resulted. Features of these schemes are described. Possibilities of inclusion of passive and active sensor controls to a primary contour of magnetic-field measuring converter are shown. Work is of interest for metrologists, experts, masters and the post-graduate students studying the magnetic-field effects and the phenomena, ways and methods creation of sensor controls of physical sizes, and also studying a magnetic-field methods and gauges of properties and structure of substances and materials with use of a new principle of measurements — the phenomena of carrying over of energy and the information through a material.*

*Keywords: new physical principle of measurements, base schemes of magnetic-field measuring converters, biringoid.*

В предыдущей статье (см. [1]) была рассмотрена сущность явления переноса энергии и информации сквозь вещество и условия его осуществления. Описаны фундаментальные законы магнетизма и электродинамики, положенные в основу явления переноса энергии и информации. Установлено шесть основных требований к материалам, используемым для передачи энергии и информации. Было показано, что явление передачи энергии отрицательно заряженных квазичастиц сквозь материал описывается с использованием законов сохранения энергии электромагнитного поля и закона сохранения энергии

заряженных квазичастиц, движущихся по замкнутому контуру. Только благодаря закону сохранения механической энергии устанавливается связь между координатами и скоростями движения заряженных квазичастиц в двух симметрично расположенных точках траектории их движения по замкнутому контуру.

В целом сущность явления переноса энергии и информации сквозь материал (вещество), заключается в воздействии на материал, из которого выполнена механическая система замкнутого типа, соленоидальным импульсным магнитным полем высокой или сверхвысокой частоты, создании вихревого (индукционного) электрического поля, передаче энергии вихревого электрического поля в (кинетическую) энергию сложного (поперечно-продольного) движения конечной совокупности отрицательно заряженных квазичастиц, формировании токов переноса и смещения, создании этими токами соответствующего магнитного поля, порождении высокочастотной электромагнитной волны, передающей свою энергию и связанную с ней информацию вдоль замкнутого контура механической системы, наведении в неподвижном приемном контуре механической системы ЭДС электромагнитной индукции, содержащей полезную информацию, трансформации этой ЭДС в переменное напряжение заданного уровня, выпрямлении, фильтрации или усреднения его, выделения на нагрузке сигнала электрической природы (тока или напряжения), удобного для восприятия данных (информации), запоминания, обработки и передачи потребителю [1].

Явление переноса энергии и информации положено в основу физического принципа магнито-полевых измерений.

В данной работе основное внимание уделено рассмотрению сущности нового физического принципа измерений, сущности и особенностям магнито-полевых методов измерений.

Создание и развитие магнито-полевой теории измерений, как новейшего научного направления в общей теории измерений, обусловлено острой необходимостью измерений и исследований энергии Ферми новых материалов микро- и макромира, энергий дискретных энергетических уровней Ландау при изучении электрических и частотных свойств наноматериалов, биоматериалов, радиоматериалов и т.д., и т.п., а также разработки новых методов измерений свойств веществ и материалов на новом физическом принципе с целью решения существующих проблем фундаментальной метрологии и материаловедения.

Объектом исследований являются принципы и методы измерений физических величин.

Предметом исследований является новый принцип измерения физических величин, теоретические и практические аспекты магнито-полевых измерений.

Несомненно актуальной является проблема создание основ магнито-полевой теории измерений на основе нового физического принципа измерений — явления переноса энергии и информации сквозь проводящие или слабо проводящие среды (материалы и вещества) при воздействии на них энергией импульсного магнитного поля высокой или сверхвысокой частоты, а также описание сущности магнито-полевых методов измерений и схемотехнических решений магнито-полевых измерительных преобразователей физических величин (ФВ) и средств измерений (СИ).

### **Результаты исследований**

#### ***Определение и цели магнито-полевой теории измерений***

Магнито-полевая теория измерений — это теория, опирающаяся на основные законы теории электромагнетизма и использующая новый принцип измерений, — явление передачи энергии и информации через материальную или вещественную среду.

В работе [1] нами приведено расширенное и лаконичное определение магнито-полевой теории измерений (МПТИ). Напомним их.

*Магнито-полевая теория измерений* — это: система законов сохранения и преобразования энергии, сохранения импульса, момента импульса, электрического заряда и массы; система категорий, принципов, методов, математических и структурных моделей; система определений, положений, условий и ограничений, представляющая новую стратегию измерений на основе явления переноса энергии и информации сквозь слабо проводящие и проводящие (материальные или вещественные) среды, предлагающая новые методы линейного и нелинейного измерительного преобразования величин разной физической природы.

Это достигается за счет взаимодействий энергии зондирующего магнитного поля и потенциальной энергии материала (вещества), за счет преобразования последней в кинетическую энергию волнового движения заряженных частиц внутри материала (вещества). Теория предсказывает достижимые результаты по качеству измерений.

*Магнито-полевая теория измерений* — это система научных знаний о закономерностях взаимодействия энергии электромагнитных полей с энергией отрицательно заряженных квазичастиц материалов, объединенная концепцией волнового подхода к переносу и преобразованию энергии и информации через материал, опирающаяся на новый физический принцип измерений, на определенную совокупность фундаментальных законов электромагнетизма, категорий, условий, научных принципов, методов и методологий.

Целями МПТИ (на начальном этапе развития) являются [1]:

1) измерение ФВ вещественной, энергетической и информационной групп с использованием явления переноса энергии и информации сквозь проводящие и слабо проводящие (материальные или вещественные) среды;

2) изучение частных (резонансных и волновых) проявлений явления перенос энергии и информации через проводящие и слабо проводящие среды при измерениях физических величин (ФВ) той или иной природы и при управляемых воздействиях импульсным магнитным полем заданной частоты и индукции на заряженные квазичастицы материала или вещества;

3) разработка магнитополевых способов управления параметрами и видом функции измерительного преобразования энергии информативных сигналов;

4) широкомасштабные исследования скрытой энергии Ферми и энергии дискретных энергетических уровней Ландау различных типов материалов и веществ;

5) исследование явления излучения антенной радиоимпульсов при переходе электронов с одного дискретного уровня Ландау на другой для исследуемых образцов (ИО) материалов и веществ;

6) исследование МП явлений и эффектов взаимодействия зондирующих импульсных магнитных полей с материалом и веществом и их проявлений в целях расширения функциональных возможностей данного физического принципа измерений с учетом и без учета действия полей иной физической природы;

7) разработка магнитополевых методов прямых и избыточных измерений величин разной физической природы;

8) разработка методов измерений физико-химических свойств проводящих и слабо проводящих материалов и веществ, в том числе жидких и газообразных;

9) создание новых методов и методологий формирования постоянных и переменных магнитных полей заданной конфигурации, широкого диапазона частот, стабильных по значению индукции и напряженности магнитного поля и с разными законами воздействия на ИО материала (вещества) в пространстве и во времени;

10) исследование существующих и разработка новых видов модуляции токов, магнитных полей и/или скорости движения заряженных квазичастиц, используемых при преобразованиях энергии одного вида в энергию другого;

11) исследования оптимальных способов выделения, фильтрации и защиты полезной информации от внешних неинформативных воздействий на квазичастицы ИО материала (вещества) иных полевых форм энергии;

12) изучение влияния добавок и инородных включений в ИО материала (вещества) на результат измерения энергий Ферми и Ландау;

13) разработка методов и методологии технического контроля качества овощей, фруктов и корнеплодов по таким информативным признакам, как «значение энергии Ферми на единицу объема», число и значение энергии дискретных уровней Ландау на единицу объема»;

14) медико-биологические исследования влияния циркуляции отрицательно заряженных квазичастиц на очаги воспаления органов и систем человека;

15) создание методологии построения магнитополевых измерительных преобразователей для прямых и избыточных измерений указанных энергий и других ФВ;

16) развитие в МП ТИ методов измерений свойств веществ и материалов, которым приписывается или не приписывается математическая модель;

17) исследование и разработка научных принципов, методологии и методов конструирования и построения базовых структур магнитополевых средств измерений (МП СИ), информационных измерительных систем (МП ИИС) и магнитополевых измерительных преобразователей (МП ИП);

18) создание базовых структур МП СИ, МП ИИС и МП ИП, в том числе и интеллектуальных, включающих базы знаний (БЗ), экспертные системы (ЭС) и/или интеллектуальные интерфейсы (ИНИ);

19) создание базовых структур информативно-избыточных сенсоров и биосенсоров, в том числе и интеллектуальных, на основе магнитополевых явлений переноса энергии и информации через вещество или материал;

20) разработка (совместно с материаловедами) государственных стандартов и принципов построения стандартных образцов (СО) состава и свойств веществ и материалов для МП СИ, ИИС и ИП;

21) разработка общих подходов и принципов системного и прикладного программно-алгоритмического обеспечения (ПАО) МП СИ, МП ИИС и МП ИП;

22) разработка методологии, алгоритмов и методики тестирования МП СИ, МП ИИС и МП ИП;

23) разработка методов и методик самопроверки МП СИ, МП ИИС и МП ИП;

24) разработка методов калибровки МП СИ, МП ИИС и МП ИП, в том числе и интеллектуальных;

#### **Физический принцип магнитополевых измерений**

*Принцип измерений* — физическое явление (физический закон или эффект), положенное в основу измерений [2].

*Метод измерений* — прием или совокупность приемов сравнения измеряемой физической величины с ее единицей в соответствии с реализованным принципом измерений.

Нами предложено несколько определений принципа магнитополевых измерений:

*Определение 1* (основное)

Принцип магнитополевых измерений — физическое явление переноса энергии и информации отрицательно заряженными квазичастицами, движущимися под действием соленоидального магнитного поля по замкнутому контуру пассивной механической системы (волновода), выполненной из проводящего

или слабо проводящего материала.

*Определение 2*

Принцип магнитопольевых измерений — физическое явление переноса энергии и информации отрицательно заряженными квазичастицами, движущимися под действием магнитного поля с заданной скоростью по замкнутому контуру механической системы, выполненной из материала с известной подвижностью электронов.

*Определение 3*

Принцип магнитопольевых измерений — физическое явление переноса по замкнутому контуру пассивной механической системы энергии и информации токами переноса и смещения, созданными при воздействии импульсного магнитного поля высокой частоты на материал этой системы.

*Определение 4*

Принцип магнитопольевых измерений — физическое явление переноса энергии и информации движущимися с заданной скоростью отрицательно заряженными квазичастицами по контуру механической системы замкнутого типа, выполненной из проводящего или слабо проводящего материала.

*Определение 5*

Принцип магнитопольевых измерений — физическое явление переноса энергии и информации отрицательно заряженными квазичастицами, совершающими колебательно-поступательное движение по замкнутому контуру пассивной механической системы под действием импульсного магнитного поля высокой частоты.

*Определение 6*

Принцип магнитопольевых измерений — физическое явление переноса энергии и информации отрицательно заряженными квазичастицами, движущимися с установленной скоростью по замкнутому контуру пассивной механической системы под действием сил соленоидального магнитного поля.

*Определение 7*

Принцип магнитопольевых измерений — физическое явление переноса энергии и информации по замкнутому контуру консервативной механической системы движущимися электронами и другими отрицательно заряженными квазичастицами, силы взаимодействия между которыми являются консервативными (потенциальными) и практически отсутствуют взаимные превращения механической энергии в другие виды энергии.

*Определение 8*

Принцип магнитопольевых измерений — физическое явление переноса энергии и информации движущимися электронами и отрицательно заряженными квазичастицами по замкнутому контуру механической системы под действием нормированных по значению сторонних сил.

Приведенные определения физических принципов МП измерений расширяют наши представления о его сущности.

Строго говоря, все системы в природе являются диссипативными, т.е. рассеивающими энергию. В них закон сохранения механической энергии нарушается. Тем не менее, энергия никогда не исчезает и не появляется вновь, она лишь превращается из одного вида в другой. В этом состоит сущность количественной и качественной неуничтожимости материи и движения.

**Метод магнитопольевых измерений**

*Метод магнитопольевых измерений* — совокупность физических операций формирования тока высокой частоты и заданной формы, формирования соленоидального магнитного поля с заданными значениями частоты и индукции, модуляции тока высокой частоты, а, следовательно, и магнитного поля, по одному из параметров, магнитосилового воздействия им на материал механической системы замкнутого типа (источник электронов) с известной подвижностью электронов<sup>1</sup>, формирования в ней токов переноса и смещения, переноса энергии движущихся электронов и других отрицательно заряженных квазичастиц и содержащей в ней информации в приемный контур, преобразования ее в ЭДС индукции Фарадея, трансформации полученной ЭДС в переменное напряжение заданного уровня с последующим выделением информативной низкочастотной составляющей.

Причем канал магнитопольевого измерительного преобразования физической величины априори калибруется при заданном стандартном образце (СО) материала механической системы. Сравнения измеряемой физической величины с ее единицей осуществляется в соответствии с реализованным принципом измерений по электрической величине — по постоянному току или напряжению.

**Этапы магнитопольевых измерений**

Измерение физической величины магнитопольевым методом включает в себя следующие этапы:

- 1) обоснование необходимости использования магнитопольевых измерений для той или иной ФВ;
- 2) изучение свойств измеряемой физической величины и возможностей преобразования ее в электрический сигнал: напряжение или ток различного (микро или макро) уровня;
- 3) изучение возможности изготовления из исследуемого материала волновода (механической системы замкнутого типа) и существования стандартных образцов этого материала при измерении энергии Ферми и/или Ландау;

<sup>1</sup> с известным или неизвестным числом свободных электронов или значением их подвижности.

4) выбор для СО материала с известными механическими и электрическими свойствами: с заданными значениями площади и толщины (объема), класса обработки поверхности, подвижности электронов и их числом в единице объема;

5) изготовление из выбранного материала СО пассивной механической системы замкнутого типа, удовлетворяющей априори заданным требованиям;

6) выбор образцового сенсора или СО материала для решения задачи калибровки по нему выходного сигнала магнитополевого измерительного преобразователя;

7) формирование периодической последовательности импульсов электрического тока высокой или сверхвысокой частоты типа «меандр» с априори заданным значением амплитуды и частоты;

8) модуляция одного из параметров импульсного тока сигналом, пропорциональным измеряемой ФВ;

9) формирование модулированной по значению индукции периодической последовательности «пачек» импульсов соленоидального магнитного поля высокой или сверхвысокой частоты;

10) выбор значения и формирование низкой частоты коммутации в зависимости от частоты и фазы информативного сигнала, т.е. формирование неизменного значения частоты коммутации, в том числе при девиации частоты следования импульсов тока высокой или сверхвысокой частоты;

11) обеспечение условий для помехоустойчивого переноса энергии и информации по замкнутому контуру механической системы путем, например, магнитного экранирования колебательных контуров измерительного преобразователя от действия внешних магнитных полей с использованием экранов из ферромагнетиков, из магнитномягких кристаллических и аморфных сплавов с металлическим типом проводимости или из других материалов и сплавов;

12) формирование вихревого электрического поля путем воздействия на материал механической системы замкнутого типа силового соленоидального магнитного поля высокой или сверхвысокой частоты, обеспечивающего движение отрицательно заряженные квазичастицы (свободные электроны) по данному контуру;

13) создание токов переноса и смещения, обусловленных движением свободных и связанных электронов и других отрицательно заряженных квазичастиц в контуре механической системы;

14) формирование полным током механической системы вторичного импульсного магнитного поля высокой или сверхвысокой частоты, порождающего вместе с вихревым электрическим полем соответствующей электромагнитной волны, переносящей энергию и информацию по замкнутому контуру механической системы;

15) наведение в неподвижном приемном колебательном контуре диаметрально расположенным относительно излучающего контура, Э.Д.С. индукции Фарадея, пропорциональной измеряемой ФВ;

16) трансформации (усиления) наведенной Э.Д.С индукции Фарадея в электрический сигнал с априори заданным значением коэффициента трансформации;

17) выпрямление полученного высокочастотного или сверхвысокочастотного электрического сигнала и выделение (фильтрация) информативной низкочастотной составляющей;

18) измерение полученного напряжения в течение времени, кратном полупериоду частоты коммутации;

19) усреднение результатов измерений за 1 – 10 (100) полупериодов низкой частоты коммутации;

20) запоминание окончательного результата измерений или преобразование его в форму, удобную для дальнейшего использования, например, для передачи полученной информации на расстояние.

Предложенная последовательность этапов (действий) по реализации процесса измерения ФВ магнитополевым методом является базовой. При измерении конкретных ФВ возможны несущественные изменения и уточнения в выполняемых операциях. Таким образом, созданы все предпосылки по реализации МП методов измерений ФВ.

#### **Принципиальные схемы магнитополевых измерительных преобразователей [2, 3]**

На рис. 1, а, б приведены принципиальные схемы широкополосного (а) и избирательного (б) МП ИП, реализующие новый физический принцип измерений (преобразований) ФВ.

На рис. 1, а, б введены следующие обозначения:  $G_{\pm}$  — источник питания,  $G_0$  — генератор низкой частоты коммутации,  $ZQ$  — кварцевый резонатор,  $R1$  и  $R2$  — первый и второй токозадающие резисторы,  $R_{H1}$  и  $R_{H2}$  — первый и второй нагрузочные резисторы,  $C1$  и  $C2$  — времязадающие первый и второй конденсаторы,  $C3$  и  $C4$  — первый и второй конденсаторы колебательных контуров,  $VT1$  и  $VT2$  — первый и второй транзисторы,  $VD1$  и  $VD2$  — первый и второй полупроводниковые диоды,  $L1, \dots, L4$  — катушки индуктивностей (в частном случае равные между собой по значениям индуктивности:  $\{L1\} = \{L2\} = \{L3\} = \{L4\} = \{L_0\}$ ),  $DR$  — двухконтурный резонатор или волновод,  $AC1$  и  $AC2$  — первый и второй броневые ферритовые сердечники,  $C_H$  — конденсатор нагрузки,  $U_H$  — выходное напряжение на  $RC$ -нагрузке.

Приведенные принципиальные схемы представляют собой схемы кварцованных генераторов высокой частоты с индуктивной нагрузкой. Приведенные схемы в высокой степени симметричны относительно вертикальной оси. Схемотехнически они реализуются в виде симметричного высокочастотного генератора с частотоподающим кварцевым резонатором и симметричного мультивибратора, генерирующего сигнала

низкой частоты коммутации..

Приведенные принципиальные схемы представляют собой схемы кварцеванных генераторов высокой частоты с индуктивной нагрузкой. Приведенные схемы в высокой степени симметричны относительно вертикальной оси. Схемотехнически они реализуются в виде симметричного высокочастотного генератора с частотодающим кварцевым резонатором и симметричного мультивибратора, генерирующего сигнала низкой частоты коммутации..

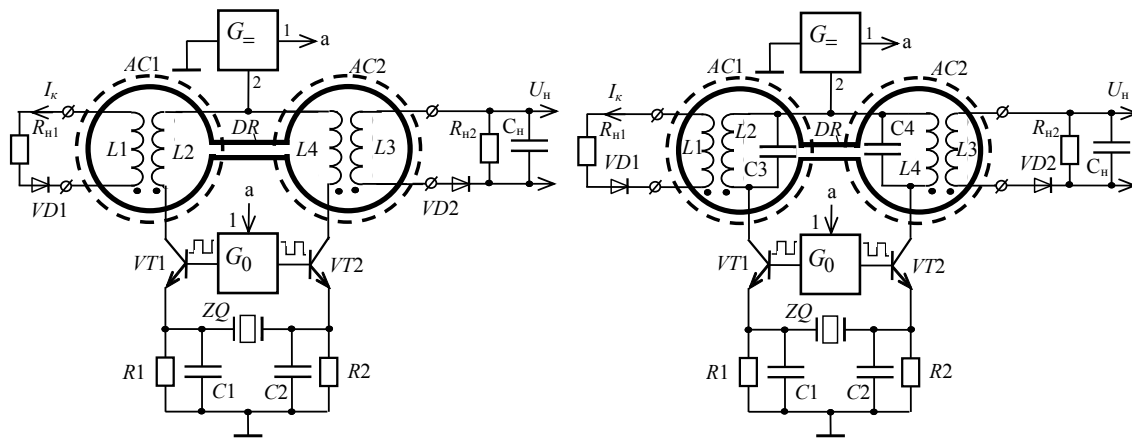


Рис. 1, а, б. Принципиальные схемы широкополосного (а) и избирательного (б) МП ИП

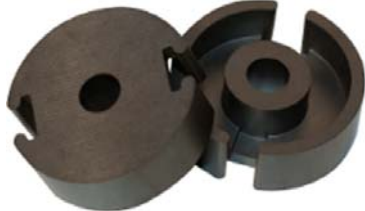


Рис. 2. Внешний вид бронзового ферритового сердечника

С целью повышения чувствительности преобразователя, одновитковые контура механической системы (двухконтурного резонатора или волновода) и каждая пара колебательных контуров генератора высокой частоты защищены от Все это позволило создать оптимальные условия для проявления фундаментальных законов взаимодействия магнитных полей и квазичастиц ИО материала и получить выходной сигнал  $U_H$  электрической природы, количественно описывающий результат взаимодействия магнитного поля с

конкретным материалом.

Измерительный преобразователь весьма прост в изготовлении. Он представляет собой генератор пачек высокочастотных импульсов тока типа меандр (см. рис. 3), следующих с частотой  $f_B = 1/T_B$  в течение интервала времени  $0,5T_H$ , т.е. периодически с априори заданной низкой частотой коммутации  $\Omega_0 = 1/T_H$ .

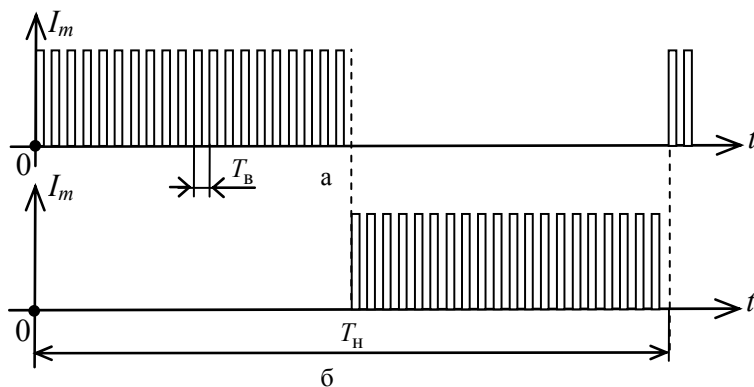


Рис. 3. Графическое изображение «пачек» высокочастотных импульсов тока (коллекторный ток транзисторов VT1 и VT2

В магнитополовом измерительном преобразователе в качестве коллекторной нагрузки используются идентичные колебательные контура с параметрами  $L_0C_0$  (где  $L_0$  индуктивность контура,  $C_0$  — собственная емкость контура). На коллекторах транзисторов VT1 и VT2 наблюдаются «пачки» высокочастотных колебаний, эпюры которых приведены на рис. 3, а, б, соответственно.

Высокочастотные колебания прямо-угольной формы сформированы путем усиления и ограничения по амплитуде автоколебаний кварцевого

резонатора ZQ, подключенного между эмиттерами транзисторов VT1 и VT2. Сами транзисторы нагружены на параллельно соединенные резистор и конденсатор, значения которых равны между собой, т.е.  $\{R1\}=\{R2\}=\{R0\}$  и  $\{C1\}=\{C2\}=\{C0\}$ .

Важным элементом измерительного преобразователя является механическая система замкнутого типа, выполненная из ИО материала (металла или диэлектрика) (см. рис. 1, элемент DR). На рис. 4 приведены чертежи пассивной механической системы, выполненной в виде плоского двухконтурного резонатора замкнутого типа. Такую систему можно назвать также волноводом. Она имеет два локальных (левый и правый) и один общий центры симметрии (см. рис. 4, точки  $O_L$ ,  $O_P$  и  $O_C$  соответственно). Приведенная конструкция механической системы позволяет правильно описать ряд свойств материалов (металлов и диэлектриков) и их изменений, связанных, например, с температурой.

Механическая система (рис. 4) является достаточно широкополосной волноводной системой с равномерной полосой пропускания от десятков до сотен мегагерц. В этой связи, и как показали исследования, конденсаторы высокочастотных колебательных контуров могут быть исключены. Это расширяет диапазон рабочих частот и повышает чувствительность измерительного преобразователя. Другой важной особенностью измерительного преобразователя является расположение первой и второй катушек индуктивности в центрах симметрии  $O_I$  и  $O_{II}$  механической системы строго перпендикулярно плоскости поверхности этой системы.

Третьей важной особенностью является использование двух броневых ферритовых сердечников для раздельного экранирования от действия внешних магнитных полей первой и второй катушек индуктивности и их высоко-частотных колебательных контуров, а также (левого и правого) одновитковых контуров механической системы (рис. 1, броневые сердечники  $AC1$  и  $AC2$ ).

Активные и пассивные сенсоры подключаются через входные разъемы к входному контуру  $L1$  первой катушки индуктивности измерительного преобразователя согласно принципиальным схемам, приведенным на рис. 5. При этом, конечной задачей является модуляция вектора индукции магнитного поля высокой частоты путем изменения тока через входную катушку индуктивности  $L1$ .

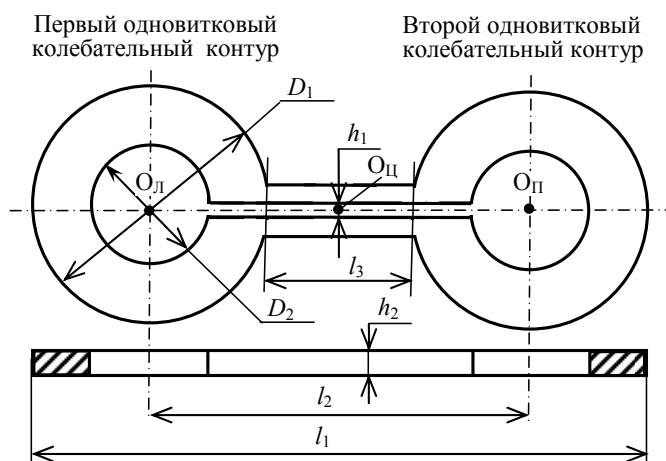


Рис. 4. Чертежи монолитной плоской двухконтурной механической системы замкнутого типа

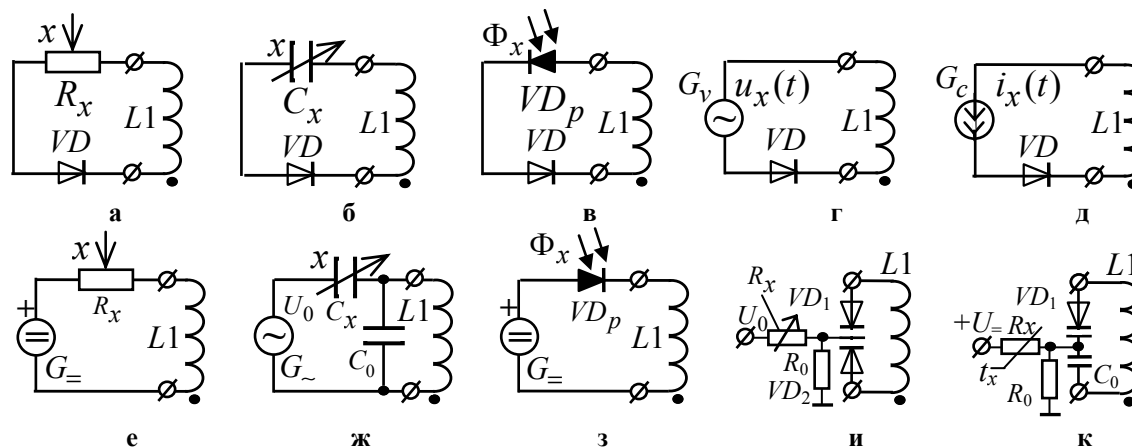


Рис. 5. Принципиальные схемы подключения пассивных и активных резистивных сенсоров (а) и (е), емкостных сенсоров (б) и (ж), фотодиодных (в) и (з), внешнего источника напряжения (г) или тока (д), с управляемыми варикапами (и) и (к) к первому пассивному колебательному контуру измерительного преобразователя физических величин

Для повышения чувствительности и энергоемкости магнитополевого измерительного преобразователя рекомендуется ввести дополнительные колебательные контура  $L5$  и/или  $L6$  в первую и/или во вторую катушки индуктивности и включить их, как показано на рис. 6, а, б. Это достигается за счет увеличения потокосцепления между колебательными контурами  $L1$  и  $L5$ ,  $L3$  и  $L6$ , а также за счет увеличения энергоемкости.

Сенсоры могут включаться как по симметричной схеме, так и по асимметричной, — с заземлением входной клеммы «2».

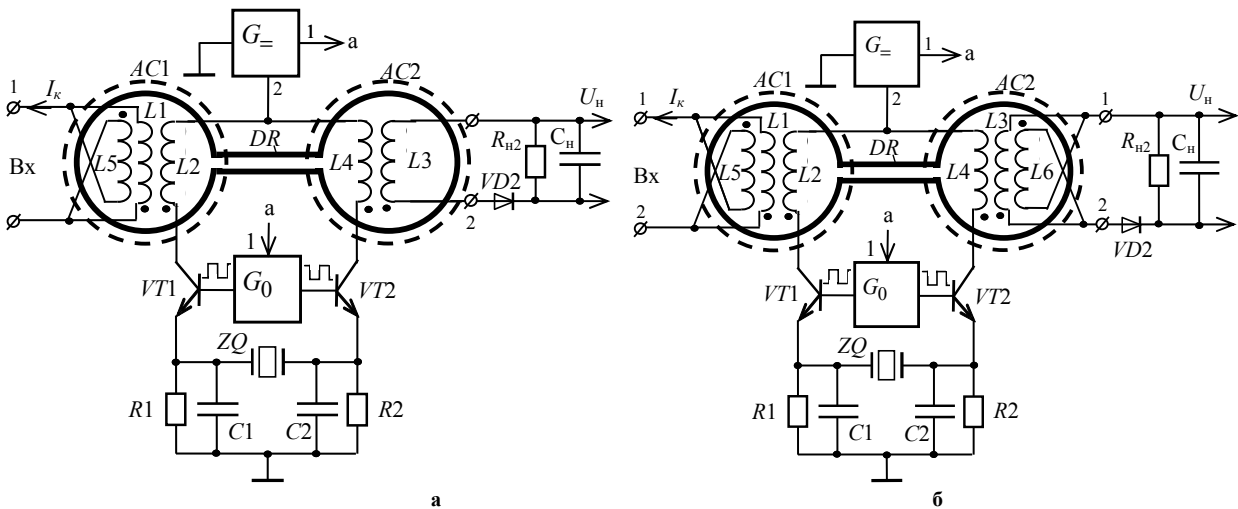


Рис. 6. Функциональная схема магнитополевого измерительного преобразователя с входным (а) и с входным и выходным (б) контурами повышенной чувствительности и емкости

**Физические процессы взаимодействия магнитного поля с отрицательно заряженными квазичастицами материала (вещества)**

Поток индукции импульсного магнитного поля воздействует строго перпендикулярно плоскости поверхности левого и правого одновитковых контуров плоской двухконтурной механической системы замкнутого типа (см. рис. 7). На рис. 7 сплошными и пунктирными линиями показано действие силовых линий магнитного поля, соответственно, в нечетные и четные полупериоды низкой частоты коммутации.

В нечетный полупериод частоты коммутации на вторую катушку индуктивности  $L_1$  первой (расположенной слева) пары высокочастотных колебательных контуров действует сигнал (ток) прямоугольной формы и высокой частоты (см. рис. 1):

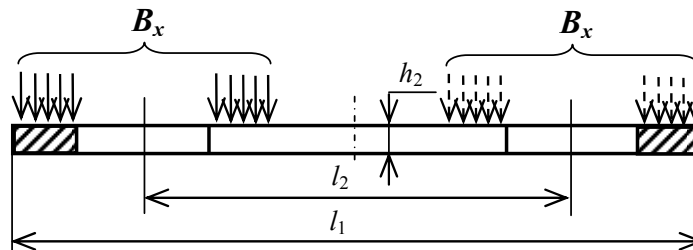


Рис. 7. Идеализированные эпюры индукции магнитного поля, воздействующего на левый и правый одновитковые контура плоской двухконтурной механической системы (вертикальное сечение)

$$i_{вч1}(t) = I_m \left( \frac{1}{k_2} + \frac{k_2}{n} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin(k_2 n - 1)\omega_0 t}{k_2 n - 1} \right) \left( \frac{1}{k_2} + \frac{k_2}{n} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin(k_2 n - 1)\Omega_0 t}{k_2 n - 1} \right), \quad (1)$$

а на правую катушку индуктивности второй пары высокочастотных контуров — ток

$$i_{вч2}(t) = I_m \left( \frac{1}{k_2} + \frac{k_2}{n} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin(k_2 n - 1)\omega_0 t}{k_2 n - 1} \right) \left( \frac{1}{k_2} - \frac{k_2}{n} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin(k_2 n - 1)\Omega_0 t}{k_2 n - 1} \right), \quad (2)$$

средние значения которых равны между собой, т.е.

$$I_{cp} = I_{cp1} = I_{cp2} = I_m \int_0^{T_H/2} \left( \frac{1}{k_2} + \frac{k_2}{n} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin(k_2 n - 1)\omega_0 t}{k_2 n - 1} \right) dt = I_m / k_2, \quad (3)$$

где  $I_m$  — амплитудное значение высокочастотного импульсного тока, протекающего через высокочастотный колебательный контур;  $k_2 = 2$ ;  $n$  — число гармоник.

В катушке индуктивности ток (1) создает высокочастотное импульсное магнитное поле в течение нечетных полупериодов низкой частоты коммутации  $\Omega_0 = 1/T_H$ . Энергия магнитного поля равна  $w_1 = (L_{вч1} I_m^2(t)) / k_2^2$ . Она создает, в свою очередь, магнитную силу

$$\mathbf{F}_M = k q_e (\mathbf{v}_e \times \mathbf{B}_{вч}), \quad (4)$$

где  $k$  — коэффициент пропорциональности, учитывающий также число отрицательно заряженных частиц в объеме ИО материала;  $q_e$  — заряд квазичастицы;  $v_e$  — скорость движения частиц, принятая



одинаковою для всіх квазічастиць;  $B_{\text{вч}}$  — індукція магнітного поля високої частоти, діючу на негативно заряджені квазічастиці і являюча магнітної складової сили Лоренца. Так як сила Лоренца  $F_M$  (4) завжди перпендикулярна швидкості  $v_e$  зарядженої квазічастиці, то вона не виконує роботи, т.е. не змінює значення швидкості зарядженої квазічастиці і її кінетичну енергію.

Електрична складова сили Лоренца (кулоновські сили відштовхування) визначається рівнянням величин

$$\mathbf{F}_k = q_e \Delta E_q, \quad (5)$$

де  $\Delta E_q$  — різниця напруженості електричного поля між сусідніми однаково зарядженими квазічастицями, яка є малою величиною по причині практично однакової значення негативних зарядів квазічастиць. Результуюча сила рівна векторній сумі кулоновської і магнітної сил:

$$\mathbf{F}_p = \mathbf{F}_k + \mathbf{F}_M. \quad (6)$$

Поскольку імпульсне магнітне поле високої частоти діє перпендикулярно площині механічної системи, то в ній негативно заряджені квазічастиці рухаються перпендикулярно силовим лініям магнітного поля, а сила Лоренца є центробіжною, т.е.  $F_L = m a_{\text{ц}}$  [4]. Ця сила створює центробіжне прискорення  $a_{\text{ц}} = v^2 / R$ , в результаті чого квазічастиці рухаються в механічній системі (см. рис. 4) по замкнутій кривій (см. рис. 7). Період обертання зарядженої квазічастиці (без урахування сили тяжкості) не залежить від швидкості її руху і визначається рівнянням величин

$$T_q = 2\pi m_q / q_e B_{\text{вч}}. \quad (7)$$

Магнітна сила  $F_M$  виникає за рахунок руху заряджених квазічастиць і визначається законом Ампера. Для двох рухомих і взаємодіючих між собою заряджених квазічастиць можна записати:

$$\mathbf{F}_{12M} = q_2 \cdot (\mathbf{v}_2 \times \mathbf{B}_1), \quad (8)$$

$$\mathbf{F}_{21M} = q_1 \cdot (\mathbf{v}_1 \times \mathbf{B}_2), \quad (9)$$

де  $\mathbf{B}_1$  і  $\mathbf{B}_2$  — вектори індукції імпульсного магнітного поля, створюваного при русі, відповідно, першої і другої заряджених квазічастиць в місці знаходження другої і першої;  $\mathbf{v}_1$  і  $\mathbf{v}_2$  — вектори швидкості першої і другої квазічастиць, відповідно.

Поскольку заряджена квазічастиця взаємодіє одночасно з кількома зарядженими квазічастицями, то результуюча сила, діюча на дану квазічастицю, рівна векторній сумі сил, діючих на цю частинку з боку всіх інших заряджених квазічастиць.

Під дією імпульсного магнітного поля негативно заряджені квазічастиці рухаються паралельно між собою площинах в одному напрямку. Магнітна і кулоновська сили не дають цим квазічастицям зіткнутися, т.к. є силами дії і протидії.

В нашому випадку вираження для магнітних сил (8) і (9) не суперечать фундаментальному закону природи — принципу відносності Галілея, згідно з яким фізичні процеси в інерціальних системах відліку протікають однаково, незалежно від того, нерухомо чи знаходиться система в стані рівномірного і прямолінійного руху. Це обумовлено тим, що в рівняннях величин (2) і (3) вектори  $\mathbf{v}_1$  і  $\mathbf{v}_2$  швидкості руху заряджених квазічастиць є сумми двох векторів, — векторів  $\mathbf{v}_{01}$  і  $\mathbf{v}_{02}$  початкової швидкості руху квазічастиць і векторів  $\mathbf{v}_3 = \mathbf{a}_{e1} T_{\text{вч}} / k_2$  і  $\mathbf{v}_4 = \mathbf{a}_{e2} T_{\text{вч}} / k_2$ . Останні характеризують швидкості дискретного (періодичного) рівноприскореного руху квазічастиць, отриманого за рахунок штучного рівномірного впливу на квазічастицю імпульсним магнітним полем високої частоти в інтервалі часу  $\Delta t_0 = T_{\text{вч}} / k_2$ . Тоді, для рівноприскореного руху квазічастиць в інтервалі часу  $t_1 - t_0 = \Delta t_0$  можна записати аналітичне вираження для їх швидкості в вигляді

$$\mathbf{v}_1 = \mathbf{v}_{01} + (t - t_0) \mathbf{a}_{e1} = \mathbf{v}_{01} + (t - T_{\text{вч}} / k_2) \mathbf{a}_{e1} \quad (10)$$

і

$$\mathbf{v}_2 = \mathbf{v}_{02} + (t - t_0) \mathbf{a}_{e2} = \mathbf{v}_{02} + (t - T_{\text{вч}} / k_2) \mathbf{a}_{e2}, \quad (11)$$

де  $\mathbf{v}_{01}$  і  $\mathbf{v}_{02}$  — початкові швидкості руху квазічастиць на момент початку дії високочастотного імпульсу магнітного поля ( $\{v_{01}\} \neq \{v_{02}\}$ );  $\mathbf{a}_{e1}$  і  $\mathbf{a}_{e2}$  — прискорення першої і другої квазічастиць (при  $\{a_{e1}\} \neq \{a_{e2}\}$ );  $\{v_3\} \neq \{v_4\}$ ;  $T_{\text{вч}}$  — період повторення високочастотних імпульсів магнітного поля;  $k_2 = 2$ .

Следовательно, сили, діючі на заряджені квазічастиці, залежать не тільки від абсолютних значень швидкостей, але і від прискорення, отриманого зарядженою квазічастицею в результаті дії імпульсного магнітного поля в інтервалі часу  $T_{\text{вч}} / k_2$ . Підставив (10) і (11) в (8) і (9), остаточно отримаємо:

$$\mathbf{F}_{p1} = \mathbf{F}_k + q_2 \cdot (\mathbf{v}_{02} + \mathbf{a}_{e2} T_{\text{вч}} / k_2) \times \mathbf{B}_1, \quad (12)$$

$$\mathbf{F}_{p2} = \mathbf{F}_k + q_1 \cdot (\mathbf{v}_{01} + \mathbf{a}_{e1} T_{вч} / k_2) \times \mathbf{B}_2. \quad (13)$$

Квазичастицы, имеющие одинаковый заряд  $q_e$ , действуют друг на друга только при разных массах, а, следовательно, и ускорениях ( $\{a_{e1}\} \neq \{a_{e2}\}$ ). При одинаковых по значению начальных скоростях движения квазичастиц и их ускорений, т.е. при  $\{v_{01}\} = \{v_{02}\} = \{v_0\}$  и  $\{a_{e1}\} = \{a_{e2}\} = \{a_e\}$ , результирующие силы, действующие на заряженные квазичастицы, определяются в соответствии с уравнениями величин:

$$\mathbf{F}_{p1} = q_e \cdot \left( \frac{1}{k_2 \pi \epsilon_0} \frac{q_e}{r^2} + (\mathbf{v}_0 + \mathbf{a}_e T_{вч} / k_2) \times \mathbf{B}_1 \right) \quad (14)$$

$$\mathbf{F}_{p2} = q_e \left( \frac{1}{k_2 \pi \epsilon_0} \frac{q_e}{r^2} + (\mathbf{v}_0 + \mathbf{a}_e T_{вч} / k_2) \times \mathbf{B}_2 \right). \quad (15)$$

где  $r$  — расстояние между квазичастицами.

При этом, в каждый четный полупериод частоты высокочастотного магнитного поля, квазичастицы движутся прямолинейно, с одинаковым ускорением (равноускоренно), не мешая друг другу.

Для отрицательно квазичастиц, движущихся в материале (веществе) необходимо учитывать электрическую составляющую силы Лоренца, определяемую уравнением величин (5). Тогда, с учетом (5), результирующая сила

$$\mathbf{F}_{p1} = q_e \Delta \mathbf{E}_q + q_e \cdot (\mathbf{v}_0 + \mathbf{a}_e T_{вч} / k_2) \times \mathbf{B}_1 = q_e (\Delta \mathbf{E}_q + [\mathbf{v}_0 + \mathbf{a}_e T_{вч} / k_2] \times \mathbf{B}_1), \quad (16)$$

а

$$\mathbf{F}_{p2} = q_e \Delta \mathbf{E}_q + q_e \cdot (\mathbf{v}_0 + \mathbf{a}_e T_{вч} / k_2) \times \mathbf{B}_2 = q_e (\Delta \mathbf{E}_q + [\mathbf{v}_0 + \mathbf{a}_e T_{вч} / k_2] \times \mathbf{B}_2). \quad (17)$$

Известно, что сила тока всегда пропорциональна скорости движения заряженных частиц, т.к.  $i(t) = Q \cdot v(t) / z$ , где  $z$  — это параметр решетки пространственного электрического заряда (ПЭЗ). Напряженность вихревого магнитного поля вокруг проводника с током определяется степенью ориентации заряженных частиц по вектору скорости. Степень ориентации зависит от ускорения заряженных квазичастиц. Для того, чтобы ток оставался пропорциональным скорости движения квазичастиц, необходимо осуществить равноускоренное движение квазичастиц на коротких участках пути  $l_0$ , равных между собой, т.е.  $\{l_0\} - 0 = k_2 \{l_0\} - \{l_0\} = k_3 \{l_0\} - k_2 \{l_0\} = \dots = \{l_0\}$ ). Согласно [4], необходимо, чтобы отрезки  $l_0$  были малы и равномерны.

На рис. 8 приведены графические построения, поясняющие характер изменения скорости электронов в проводниках на коротких участках пути  $l_0$  ( $k_2 = 2, k_3 = 3$ ) при воздействии импульсного магнитного поля высокой частоты  $f_{вч} = 1 / T_{вч}$ .

В случае периодического (с периодом  $T_{вч} = k_2 \pi / \omega_{вч}$ ) воздействия на квазичастицы импульсами магнитного поля, вектор ускорения равноускоренного движение опишется уравнением величин:

$$v(t) = v_m \left( \frac{1}{k_2} + \frac{1}{\pi} \sum_{n=1}^{n \rightarrow \infty} \frac{\sin nt}{n} \right) \text{ при } 0 < t < nk_2 \pi, \quad (18)$$

где  $n$  — не равное нулю целое число (1, 2, 3, ...);  $v_m$  — максимальная скорость заряженной частицы;  $k_2 = 2$ .

Согласно рис. 8, б, воздействие индукции импульсного магнитного поля длительностью  $\Delta t_0 = T_{вч} / k_2$  на заряженную квазичастицу придает ей ускорение  $a_e = F_k / m_e = H q_e / m_e = U q_e / m_e l$ . ( $F_k$  — кулоновская сила).

Следовательно, ток может оставаться пропорциональным скорости электронов только при условии, что скорость периодически сбрасывается в нуль (см. рис. 8, а). В таком случае ток характеризуется длиной  $L_e$  свободного пробега квазичастиц и найти её можно из условия (см. построения на рис. 8)  $v_{cp} = a_e T_{вч} / k_2$

и

$$L_e = v_{cp} T_{вч} = k_2 v_{cp}^2 / a_e \quad (19)$$

или

$$L_e = \frac{k_2 m_e}{H q_e} \cdot \left( \frac{\gamma^*}{\sigma} \right). \quad (20)$$

Ток в металлах может быть пропорциональным напряжению только при периодическом сбросе кинетической энергии.

Периодичность сбросов связана со структурой решетки и плотностью упаковки атомов. Характеристика периодичности — длина свободного пробега электрона  $L_e$ . Так, для меди длина свободного пробега оказалась равной  $L_e = 2,987 \cdot 10^{-9}$  м, что составляет  $L_e / b = 8,26$  периодов атомной структуры.

Следует отметить, что значение магнитной индукции определяется как произведение тока на число витков контура, т.е.  $B_0 = \mu_0 n I_0$ , где  $n = N / k_2 L_c$  — число витков ( $N / k_2$ , где  $k_2 = 2$ ) на единицу длины

соленоида (первого и второго высокочастотных колебательных контуров),  $nI_0$  – число ампер-витков. Здесь рассматривается случай, когда  $I_0 = \text{const}$ , а катушка соленоида проведена двоянным медным проводом. Вектор магнитной индукции  $\mathbf{B}_0$  направлен по оси соленоида, перпендикулярной плоскости механической системы.

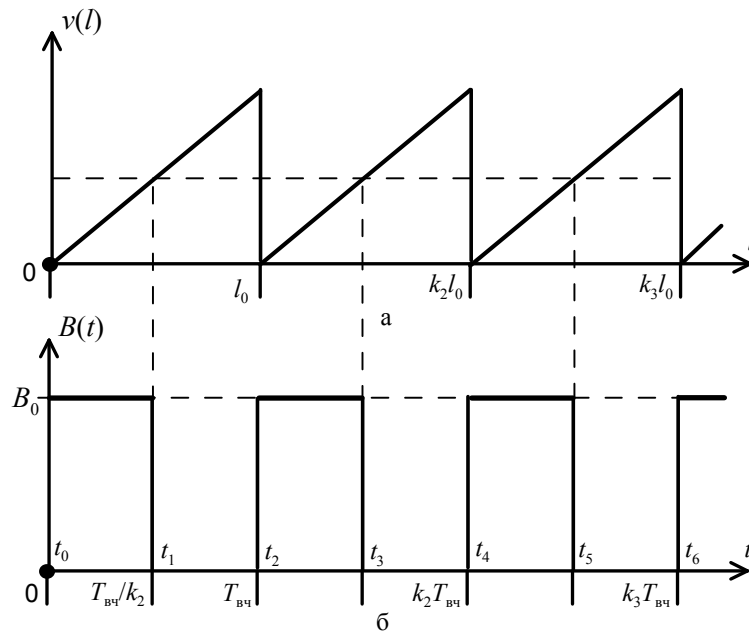


Рис. 8. Характер изменения скорости электронов в проводниках на коротких участках пути ( $k_2 = 2, k_3 = 3$ ) при воздействии импульсного магнитного поля высокой частоты  $f_{вч} = 1/T_{вч}$

Силловые линии магнитного поля с индукцией  $B_0$  ( $\{B_0\} = \text{const}$ ) действуют на отрицательно заряженные частицы  $q_i$ , движущиеся со скоростью  $\mathbf{v}_i$ , с силой Лоренца, равной  $\mathbf{F}_{ли} = q_i [\mathbf{v}_i \times \mathbf{B}_0]$  (или  $F_{ли} = q_i v_i B_0 \sin \alpha_i$ , где  $\alpha_i$  — угол между векторами скорости и магнитной индукции, причем направление вектора  $\mathbf{F}_{ли}$  перпендикулярно им обоим и направлено по правилу буравчика).

Еще раз подчеркнем, сила Лоренца всегда перпендикулярна скорости движения отрицательно заряженной квазичастицы. Она не совершает работы, т.е. не изменяет скорость движения отрицательно заряженной квазичастицы и её кинетическую энергию. Магнитное поле изменяет только направление скорости движения этой квазичастицы, а не её значение.

В общем виде сила Лоренца описывается уравнением величин  $\mathbf{F}_{л0} = q_i (\mathbf{E}_0 + \mathbf{v}_i \times \mathbf{B}_0)$ , из которого следует, что между отрицательно заряженной квазичастицей и магнитным полем энергетическое взаимодействие отсутствует. По сравнению с электрическим полем, действие магнитного поля на эти квазичастицы является более ограниченным. Именно поэтому магнитное поле применяется для воздействия на электроны значительно реже, нежели электрическое поле. При постоянном значении индукции магнитного поля значение скорости движения отрицательно заряженных квазичастиц практически будет постоянным.

Сила Лоренца  $F_{л}$  искривляет траекторию движения отрицательно заряженных квазичастиц в дугу окружности. Направление поворота этих квазичастиц в магнитном поле в соответствии с правилом левой руки удобно определяется, согласно [6], следующим образом. Если смотреть в направлении магнитных силовых линий, которые действуют перпендикулярно плоскости поверхности, например, левого одновиткового контура механической системы, то направление движения отрицательно заряженных квазичастиц будет осуществляться по часовой стрелке (см. рис 9, б, — направление утолщенных стрелок вдоль контура механической системы). В результате действия силы Лоренца, эти квазичастицы станут двигаться по замкнутому контуру механической системы со скоростью  $v_k$ .

Воздействие высокочастотного импульсного магнитного поля с индукцией  $\mathbf{B}_x(t) = \text{const} = \mathbf{B}_0$  на первый одновитковый колебательный контур механической системы замкнутого типа силовыми линиями магнитного поля приводит к упорядоченному движению по всему замкнутому контуру отрицательно заряженных частиц. Их количество  $n$  присуще только тому ИО материала, из которого выполнена механическая система (см. рис. 9, а, б). На рис. 9 приведено графическое представление потока отрицательно заряженных частиц, движущихся по замкнутому контуру плоской двухконтурной механической системы замкнутого типа и динамического взаимодействия (отталкивания за счет кулоновских сил и не только) их с электронами правого колебательного контура  $L4C4$  (см. рис. 1, б)

Каждая частица имеет заряд  $q_0$ . Скрытую энергию Ферми составляют свободные и связанные электроны (частицы с полусцелым спином, обычно  $1/2$ ).

Проведенные экспериментальные исследования показали справедливость теоремы Умова – Пойтинга [7], согласно которой «электрическая энергия от генератора к приемнику передается не по проводам линии электропередачи, а электромагнитным полем, окружающим эти провода. При этом замкнутая линия электропередачи выполняет следующие функции:

- 1) создает условия для получения электромагнитного поля,
- 2) обеспечивает сцепление электрической и магнитной составляющих электромагнитного поля между собой и равенство  $\epsilon_0 \mu_0 v^2 = \text{const}$ , где  $v$  – скорость распространения электромагнитной волны ( $v = c / \lambda$ , где  $\lambda$  – длина волны);
- 3) осуществляет ориентационное равновесие составляющих этих полей;
- 4) обеспечивают синфазное изменение составляющих электромагнитной волны во времени;
- 5) является направляющими для потока электроэнергии».

В результате силового действия соленоидального импульсного магнитного поля высокой частоты, например, на первый контур плоского двухконтурного волновода DR, расположенного соосно и под контурами  $L1$  и  $L2$  первой катушки индуктивности, электроны и другие отрицательно заряженные квазичастицы исследуемого материала волновода начнут двигаться с большой скоростью по замкнутому контуру указанного волновода (см. рис. 9).

Такова сущность физических процессов, протекающих в двухконтурном волноводе, т.е. в механической системе замкнутого типа.

**Уравнение величин, описывающее замкнутый контур движения квазичастиц**

В ИО материала движение отрицательно заряженных квазичастиц осуществляется по плоскому контуру механической системы замкнутого типа (см. рис. 4). Одна из траекторий движения квазичастицы может быть описана выведенным автором уравнением величин

$$y(x_i) = \pm S_K \sqrt{\sqrt{a^4 + 4(r + \Delta r)^2 x_i^2} - x_i^2 - r^2 + \Delta h_2 \mp \Delta h_1} \Big|_{x_1}^{x_2}, \quad (21)$$

которое получено впервые и с математической точки зрения, представляет собой функцию шестого порядка.

В (21) используются следующие обозначения:  $S_K$  — безразмерный масштабный коэффициент;  $i$  -я точка пути;  $\Delta h_1$  — смещение функции шестого порядка;  $\Delta h_2$  — смещение функции второго порядка;  $r$  — радиус окружностей первого и второго участков пути;  $\Delta r$  — длина линейного участка пути;  $a$  — параметр, связывающий любую точку  $E_i$  участка пути с фокусными расстояниями  $F_1$  и  $F_2$  круговых орбит ( $a = \sqrt{F_1 E_i \cdot F_2 E_i}$  (см. рис. 10) );  $x_1$  и  $x_2$  — нижняя и верхняя границы изменения переменной. Рекомендуется выбирать  $a \geq r\sqrt{2} = 1,43 \cdot r$ ; при  $a = 1$   $r = 0,699$ , при  $a > 1$   $r > 0,699$ .

Исследования показали, что отклонения траекторий движения от окружности не превышает 1%. Несмотря на отклонение от идеальной реальной окружности, путь, проходимый отрицательно заряженными частицами, будет тот же, что и при идеальных окружностях.

Работа, совершаемая консервативными силами магнитного поля ( $A_{ACB} = A_{ADB} = A_{AOB}$ ) не зависит от

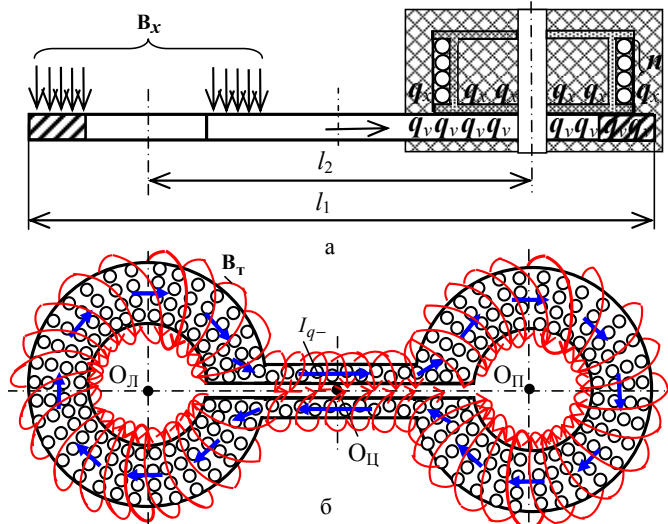


Рис. 9. Графическое представление потока отрицательно заряженных частиц, движущихся по замкнутому контуру плоской двухконтурной механической системы замкнутого типа

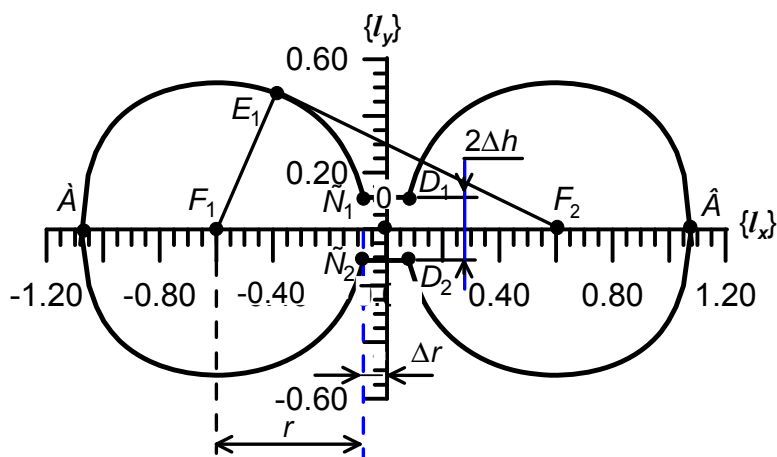


Рис. 10. Графическое построение траектории движения отрицательно заряженных квазичастиц внутри механической системы с помощью IIII Graher 7

пути  $L_{ik}$ , проходимою  $i$ -й квазичастицей вдоль замкнутого контура механической системы (см. рис. 10) и равна нулю, т.е.

$$\oint_S \mathbf{F}_M dl = A_{AB} + A_{BA} = A_{AB} - A_{BA} = 0. \quad (24)$$

Циркуляция вектора силы  $\mathbf{F}_M$  по замкнутому контуру описывается интегралом  $\oint_S \mathbf{F}_M dl$ . На рис. 10 приведена замкнутая кривая, характеризующая одну из траекторий движения отрицательно заряженных частиц в исследуемом материале при следующих значениях параметров:

$$y(x) = \pm 1,2 \sqrt{\sqrt{0,78^4 + 4(0,78 + 0,12)^2 x^2 - x^2 - 0,78^2} - 0,144} \mp 0,121. \quad (22)$$

где  $S_k = 1,2$ ,  $k_0 = -0,144$ ,  $\Delta y_0 = 0,121$ ,  $a = 0,78$ ,  $r = 0,78$ ,  $\Delta r_0 = 0,12$  и  $-1,75 \leq x_i \leq 1,75$ .

В программе Golden Software Graher 7 эта функция описывается следующим образом:

$$\left\{ \begin{array}{l} 1.2 * \text{sqrt}(\text{sqrt}((\text{sqrt}(0.78 * 0.78 * 0.78 * 0.78 + 4 * x * x * 0.9 * 0.9) - x * x - 0.78 * 0.78)) - 0.144) - 0.121, \\ -1.2 * \text{sqrt}(\text{sqrt}((\text{sqrt}(0.78 * 0.78 * 0.78 * 0.78 + 4 * x * x * 0.9 * 0.9) - x * x - 0.78 * 0.78)) - 0.144) + 0.121. \end{array} \right\}_{x_1=-1,75}^{x_2=1,75} \quad (23)$$

В замкнутом контуре в процессе движения свободных электронов возникает высокочастотный ток переноса, а в процессе колебаний других электронов и отрицательно заряженных квазичастиц, привязанных к узлам пространственной кристаллической решетки и движущихся в пределах своего среднестатистического положения, возникает высокочастотный ток смещения. Вместе эти токи создают вихревое магнитное поле, которое взаимодействует с созданными ими вихревым электрическим полем. Результатом взаимодействия полей является порождение высокочастотной электромагнитной волны, которая и переносит энергию и информацию по замкнутому контуру волновода  $DR$  слева на право и справа на лево.

Благодаря бесконечному движению электронов и отрицательно заряженных квазичастиц, бесконечно долго текут и токи переноса и смещения. В колебательном контуре  $L4$  второй катушки индуктивности (см. рис. 1) наводится ЭДС, пропорциональная значению искомой физической величины.

Эта ЭДС трансформируется в напряжения  $u_1(t)$  на выходе колебательного контура  $L3$  второй катушки индуктивности, которое выпрямляется с помощью диода  $VD2$ , постаает на  $RC$ -нагрузку и усредняется (см. рис. 1). Средневыпрямленное значение выходного напряжения, которое поступает на вход цифрового вольтметра (на рис. 1 не показано), описывается уравнением величин

$$U_{св1} = \sqrt{\frac{R_H}{T'_K} \int_0^{T'_K} |i_1(x, t)| dt} = k_T S_1 i_1(x), \quad (25)$$

где  $T'_K = nT_K$  — время интегрирования, которое выбирается равным нескольким периодам низкой частоты коммутации ( $n = 1-10$ );  $R_H$  — сопротивление нагрузочного резистора;  $i_1(x, t)$  — ток через нагрузочный резистор;  $k_T$  — коэффициент трансформации (отношение числа витков колебательных контуров  $L3$  и  $L4$ ).

#### Функция преобразования магнитополевого измерительного преобразователя

В результате экспериментальных исследований МП ИП, по схеме, приведенной на рис. 1, были получены зависимости выходного напряжения от входного, т.е.  $U_{вых} = f(U_{вх})$ . На рис. 11 приведены функции преобразования для двух частных случаев: механическая система замкнутого типа (волновод  $DR$ ) выполнена из медных пластин толщиной 0,5 мм и 2,4 мм. В результате были получены два разных вида функции преобразования (см. рис. 11) при значениях коэффициента трансформации между парами высокочастотных катушек индуктивности  $L1$ ,  $L2$  и  $L4$ ,  $L3$  равном единице.

В первом случае (рис. 11, а), при изменении входного напряжения от 0,01 В до 1,5 В, выходное напряжение изменялось от 0,8 В до 0,2 В. Во втором случае (рис. 11, б), при изменении входного напряжения от 0,01 В до 1,7 В, выходное напряжение уменьшалось от 1,39 В до 0,89 В. При этом в первом случае линейный участок графика приходится на диапазон значений входных напряжений от 0,01 В до 0,4 В, а нелинейный — от 0,4 В до 1,1 В. Перекрытие выходного напряжения составляет 0,6 В. Для второго случая линейный участок графика приходится на входное напряжение от 0,9 В до 1,7 В, а нелинейный — от 0,01 В до 0,8 В. Перекрытие составляет 0,5 В. При увеличении числа витков катушки индуктивности  $L2$  и  $L3$  в 5 раз, выходное напряжение также увеличится в 5 раз.

Полученные зависимости (функции преобразования) математически представляют собой многочлены третьей степени и описываются, соответственно, уравнениями величин

$$U_{вых1} = 0,81 - 0,884U_{вх} + 0,274U_{вх}^2 + 0,027U_{вх}^3 \quad (26)$$

и

$$U_{вых2} = 1,395 - 0,068U_{вх} - 0,22U_{вх}^2 + 0,05U_{вх}^3. \quad (27)$$

В общем виде графики функции преобразования представляют собой кубическую или

квадратичную параболы и описываются уравнениями величин:

$$U_{\text{ВЫХ1}} = U_0 - S_{\text{Л1}}U_{\text{ВХ}} + S_{\text{Н1}}U_{\text{ВХ}}^2 + S_{\text{Н2}}U_{\text{ВХ}}^3 \quad (28)$$

и

$$U_{\text{ВЫХ2}} = U_0 - S_{\text{Л1}}U_{\text{ВХ}} + S_{\text{Н1}}U_{\text{ВХ}}^2 \quad (29)$$

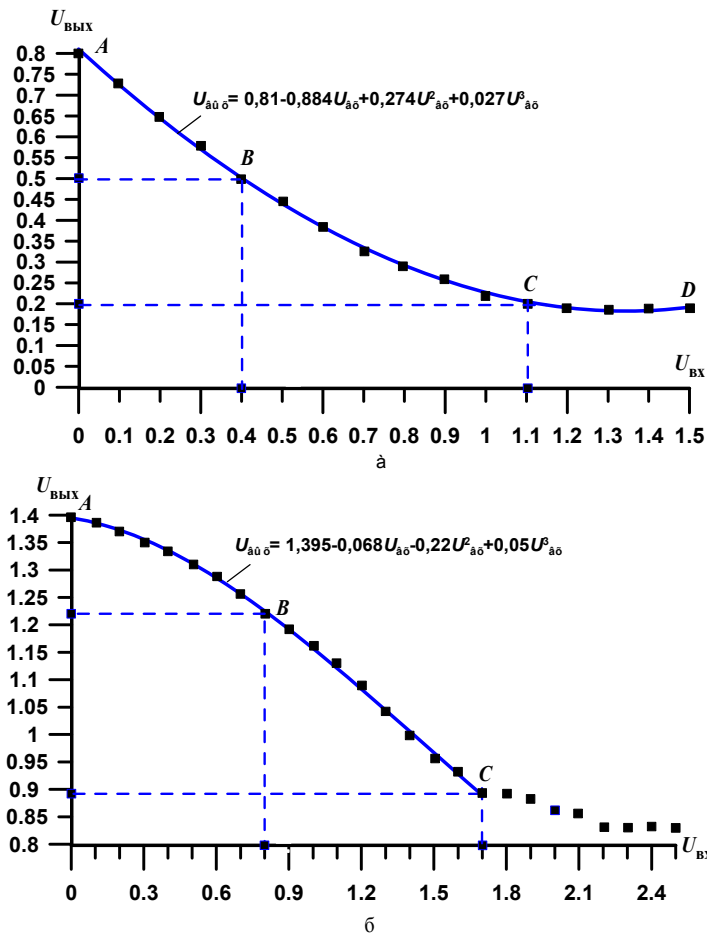


Рис. 11. Графики зависимости  $U_{\text{ВЫХ}} = f(U_{\text{ВХ}})$  при использовании волновода, который выполнен: а) из листовой меди толщиной 0,5 мм, б) из листовой меди толщиной 2,5 мм

Установлена возможность регулирования чувствительности преобразователя. Чувствительность и вид функции преобразования можно изменять путем изменения силы тока через катушки индуктивностей  $L2$  и  $L4$ , изменением коэффициента трансформации между катушками индуктивности каждой пары высокочастотных колебательных контуров, выбором соответствующей марки и толщины листового материала (металла) из которого изготавливается волновод  $DR$  и/или выбором рабочей точки преобразователя.

Описанные магнитополевые методы измерений и соответствующие измерительные преобразователи представляют научный и технический интерес как для исследований свойств веществ и материалов на новом физическом принципе измерений, так и при создании приемников электромагнитных волн, генераторов свободной энергии, средств передачи электрической энергии посредством однопроводной линии электропередач и т.д.

**Выводы.** Магнитополевая теория измерений — это система научных знаний о закономерностях взаимодействия энергии электромагнитных полей с энергией отрицательно заряженных квазичастиц материалов, объединенная концепцией волнового подхода к переносу и преобразованию энергии и информации через материал, опирающаяся на новый физический принцип измерений, на определенную совокупность фундаментальных законов электромагнетизма, категорий, условий, научных принципов, методов и методологий.

Сформулировано 24 цели магнитополевой теории измерений, что характеризует широкие возможности данной теории.

В качестве принципа магнитополевых измерений использовано открытое автором явление переноса энергии и информации сквозь вещество или материал. Предложено восемь определений принципа магнитополевых измерений, каждое из которых акцентирует внимание на тот или иной аспект используемого явления.

Сформулированы и подробно изложены этапы измерений физических величин магнитополевым методом, что расширяет наши представления о магнитополевых измерениях.

Приведены и описаны принципиальные схемы магнитополевых преобразователей (широкополосного и

избирательного), реализующих новый принцип измерений и преобразований физических величин.

Отмечается особенности схмотехнических решений магнитопольевых измерительных преобразователей. Важными элементами преобразователей являются кварцевый резонатор, волновод (или механическая система замкнутого типа), выполненный, как правило, из металла, а также магнитные экраны с рассоложенными в них колебательными контурами.

Показана возможность использования в схемах магнитопольевых измерительных преобразователях пассивных и активных резистивных, емкостных, фотодиодных сенсоров, варикапов, внешних источников тока и напряжения и т.д.

Описаны физические процессы взаимодействия магнитных полей с отрицательно заряженными квазичастицами, что расширяет наши представления о сущности физического принципа измерений.

Проведенные экспериментальные исследования показали справедливость теоремы Умова – Пойнтинга, согласно которой электрическая энергия и заключенная в ней информация переносится от генератора к приемнику не по проводам линии электропередачи, а посредством электромагнитной волны.

Подчеркивается, что замкнута линия электропередач выполняет следующие функции: 1) создает условия для получения и сохранения энергии электромагнитного поля, 2) обеспечивает сцепление электрической и магнитной составляющих электромагнитной волны между собой; 3) осуществляет ориентационное равновесие составляющих этих полей; 4) обеспечивает синфазное изменение составляющих электромагнитной волны во времени; 5) является направляющей для потока электроэнергии.

Показано, что траектория движения отрицательно заряженной квазичастицы по двухконтурному волноводу, представляет собой контур из двух соединенных между собой идентичных колец. С алгебраической точки зрения такой замкнутый контур представляет собой функцию шестого порядка. Она впервые выведена автором и получила название «бикольцоид».

### Литература

1. Кондратов В.Т. Фундаментальная метрология. Магнитопольевая теория измерений с использованием явления переноса энергии и информации сквозь материал или вещество. Часть 3. Явление переноса, используемые фундаментальные законы, условия и проблемы измерений / В.Т. Кондратов // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2018. – № 5. – С. 165–178.

2. Патент України на винахід № 115190. Спосіб вимірювального перетворення фізичних величин та пристрій для його здійснення / Кондратов В.Т. – Бюл. № 7, 10.04.2017.

3. Патент України на винахід № 117538. Спосіб магнітопольового перетворення енергії негативно заряджених квазичастинок матеріалу (речовини) або дискретних енергетичних рівнів Ландау у напругу і в адекватну енергію радіоімпульса / Кондратов В.Т. – Бюл. № 15, 10.08.2018.

4. Действие магнитного поля на движущийся заряд [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [http://class-fizika.narod.ru/10\\_16.htm](http://class-fizika.narod.ru/10_16.htm).

5. Движение заряженных частиц в однородном электрическом поле [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://studfiles.net/preview/2969511/page:22/>.

6. Движение электронов в однородном магнитном поле [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.e-reading>.

7. Теорема Умова-Пойнтинга для электромагнитного поля [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [http://studopedia.ru/3\\_43\\_182\\_teorema-umova-poytinga-dlya-elektromagnitnogo-polya.html](http://studopedia.ru/3_43_182_teorema-umova-poytinga-dlya-elektromagnitnogo-polya.html).

### References

1. Kondratov V.T. Fundamentalnaya metrologiya. Magnitopolevaya teoriya izmereniy s ispolzovaniem yavleniya perenosa energii i informatsii skvoz material ili veschestvo. CHast 3. YAvlenie perenosa, ispolzuemyie fundamentalnyie zakonyi, usloviya i problemyi izmereniy / V.T. Kondratov // Visnik Hmelnitskogo natsionalnogo universitetu. Tehnichni nauki. – 2018. – № 5. – S. 165–178.

2. Patent Ukrainy na vynakhid № 115190. Sposib vymiriuvalnoho peretvorennia fizychnykh velychyn ta prystrii dlia yoho zdiisnennia / Kondratov V.T. – Biul. № 7, 10.04.2017.

3. Patent Ukrainy na vynakhid № 117538. Sposib mahnitopolevoho peretvorennia enerhii nehatyvno zariadzhenykh kvazichastynok materialu (rechovyny) abo dyskretnykh enerhetychnykh rivniv Landau u napruhu i v adekvatnu enerhiuu radioimpulsa / Kondratov V.T. – Biul. № 15, 10.08.2018.

4. Deystvie magnitnogo polya na dvijuschisysya zaryad [Elektronniy resurs]. – Rejim dostupu : [http://class-fizika.narod.ru/10\\_16.htm](http://class-fizika.narod.ru/10_16.htm).

5. Dvijenie zaryajennyih chastits v odnorodnom elektricheskom pole [Elektronniy resurs]. – Rejim dostupu : <https://studfiles.net/preview/2969511/page:22/>.

6. Dvijenie elektronov v odnorodnom magnitnom pole [Elektronniy resurs]. – Rejim dostupu : <https://www.e-reading>.

7. Teorema Umova-Poytinga dlya elektromagnitnogo polya [Elektronniy resurs]. – Rejim dostupu : [http://studopedia.ru/3\\_43\\_182\\_teorema-umova-poytinga-dlya-elektromagnitnogo-polya.html](http://studopedia.ru/3_43_182_teorema-umova-poytinga-dlya-elektromagnitnogo-polya.html).

Рецензія/Peer review : 15.10.2018 р.

Надрукована/Printed : 19.11.2018 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Троцишин І.В.