



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: 2005133713/02, 01.04.2004

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
01.04.2004(30) Конвенционный приоритет:
02.04.2003 DE 10315061.7

(43) Дата публикации заявки: 20.02.2006

(45) Опубликовано: 27.03.2009 Бюл. № 9

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: WO 0017897 A1, 30.03.2000. RU 2117714
C1, 20.08.1998. RU 2041513 C1, 09.08.1995. RU
2178206 C2, 10.01.2002. DE 19548530 A,
26.06.1997. US 6507262 A, 14.01.2003.(85) Дата перевода заявки РСТ на национальную фазу:
02.11.2005(86) Заявка РСТ:
EP 2004/003485 (01.04.2004)(87) Публикация РСТ:
WO 2004/088681 (14.10.2004)Адрес для переписки:
129010, Москва, ул. Б. Спасская, 25, стр.3,
ООО "Юридическая фирма Городисский и
Партнеры", пат.пов. Ю.Д.Кузнецову, рег.№ 595(72) Автор(ы):
ХЕРЦЕР Гизельхер (DE),
ОТТЕ Детлеф (DE)(73) Патентообладатель(и):
ВАКУУМШМЕЛЬЦЕ ГМБХ УНД КО.КГ (DE)

(54) МАГНИТОПРОВОД, СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТАКОГО МАГНИТОПРОВОДА, ОБЛАСТИ
ПРИМЕНЕНИЯ ТАКОГО МАГНИТОПРОВОДА, В ЧАСТНОСТИ, В ТРАНСФОРМАТОРАХ ТОКА И
СИНФАЗНЫХ ДРОССЕЛЯХ, А ТАКЖЕ СПЛАВЫ И ЛЕНТЫ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТАКОГО
МАГНИТОПРОВОДА

(57) Реферат:

Изобретение относится к получению магнитопровода. Магнитопровод с линейной В-Н петлей и высокой регулируемостью переменного и постоянного тока, относительной магнитной проницаемостью 500-15000 и магнитострикцией насыщения меньше 15 ppm выполнен из нанокристаллического ферромагнитного сплава, представленного следующей формулой $Fe_aCo_bNi_cCu_dM_eSi_fB_gX_h$, где М - по меньшей мере,

один из V, Nb, Ta, Ti, Mo, W, Zr, Cr, Mn и Hf, X - P, Ge, C, а также промышленные примеси. При этом а, b, c, d, e, f, g, h удовлетворяют следующим условиям, ат. %: $0 \leq b \leq 40$, $2 < c < 20$, $0,5 \leq d \leq 2$, $1 \leq e \leq 6$, $6,5 \leq f \leq 18$, $5 \leq g \leq 14$, $h < 5$, а - остальное, причем $5 \leq b + c \leq 45$. По меньшей мере 50% кристаллических частиц сплава имеют средний размер частиц не более 100 нм. 4 н. и 20 з.п. ф-лы, 5 ил., 5 табл.



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,
PATENTS AND TRADEMARKS

(51) Int. Cl.

H01F 3/08 (2006.01)*H01F 1/153* (2006.01)*H01F 41/02* (2006.01)*H01F 27/24* (2006.01)(12) **ABSTRACT OF INVENTION**(21), (22) Application: **2005133713/02, 01.04.2004**(24) Effective date for property rights: **01.04.2004**(30) Priority:
02.04.2003 DE 10315061.7(43) Application published: **20.02.2006**(45) Date of publication: **27.03.2009 Bull. 9**(85) Commencement of national phase: **02.11.2005**(86) PCT application:
EP 2004/003485 (01.04.2004)(87) PCT publication:
WO 2004/088681 (14.10.2004)

Mail address:
**129010, Moskva, ul. B. Spasskaja, 25, str.3,
OOO "Juridicheskaja firma Gorodisskij i
Partnery", pat.pov. Ju.D.Kuznetsovu, reg.№ 595**

(72) Inventor(s):

**KhERTsER Gizel'kher (DE),
OTTE Detlef (DE)**

(73) Proprietor(s):

VAKUUMShMEL'TsE GMBKh UND KO.KG (DE)

(54) **MAGNETIC CONDUCTOR, METHOD OF ITS MANUFACTURING, APPLICATION SPHERES,
PARTICULARLY IN CURRENT TRANSDUCERS AND COMMON MODE THROTTLES, AND ALLOYS
AND STRIPES FOR MAGNETIC CONDUCTOR MANUFACTURING**

(57) Abstract:

FIELD: electrics.

SUBSTANCE: invention concerns obtaining magnetic conductor. Magnetic conductor with linear hysteresis loop and high adjustability of alternate and direct current, relative magnetic permittivity of 500-15000 and saturation magnetostriction below 15 parts per mln is obtained from nanocrystalline ferromagnetic alloy represented by the formula $\text{Fe}_a\text{CO}_b\text{Ni}_c\text{Cu}_d\text{M}_e\text{Si}_f\text{B}_g\text{X}_h$, where M is at least one

of V, Nb, Ta, Ti, Mo, W, Zr, Cr, Mn and Hf, X - P, Ge, C, and manufacturing admixtures; and a, b, c, d, e, f, g, h match the following conditions, atomic %: $0 \leq b \leq 40$, $2 < c < 20$, $0.5 \leq d \leq 2$, $1 \leq e \leq 6$, $6.5 \leq f \leq 18$, $5 \leq g \leq 14$, $h < 5$, a is the rest, while $5 \leq b + c \leq 45$. At least 50% of alloy crystalline particles have average particle size of 100 nm or smaller.

EFFECT: magnetic conductor with linear hysteresis loop and high adjustability of alternate and direct current.

24 cl, 5 dwg, 5 tbl

Изобретение относится к магнитопроводу с высокой регулируемостью для переменной и постоянной составляющих тока, способу изготовления такого магнитопровода, областям применения такого магнитопровода, в частности, в трансформаторах тока и синфазных дросселях, а также сплавам и лентам для изготовления такого магнитопровода.

При использовании в различных областях к магнитопроводам предъявляется требование высокой регулируемости для постоянной и переменной составляющих тока, причем в зависимости от применения требуется особая регулируемость соответственно для переменного и постоянного тока. Применение магнитопроводов с высокой регулируемостью для переменной и постоянной составляющих тока - необходимое условие, например, в трансформаторах тока и синфазных дросселях.

В патентах DE-A 3526047 и DE 19548530 A1 дается, например, описание синфазных помехоподавляющих дросселей. Для однофазного применения они имеют две, а для многофазного применения три и больше обмоток. Обмотки помехоподавляющих дросселей включены таким образом, что индуцируемые рабочим током магнитные потоки взаимно компенсируются, в то время как синфазно протекающие через обе обмотки токи помех приводят к намагничиванию магнитомягкого сердечника. Так что возникающий здесь синфазный помехоподавляющий дроссель действует как очень небольшое индуктивное сопротивление относительно рабочих токов, в то время как токи помех, исходящие, например, от подключенных приборов и замыкающиеся через землю, сталкиваются с очень высокой индуктивностью.

Сердечник известных помехоподавляющих дросселей изготовлен, например, из аморфных или нанокристаллических сплавов, предпочтительно ленточного материала. Индуктивность дросселя зависит при этом, в сущности, помимо числа витков и сечения сердечника, от относительной проницаемости магнитомягкого материала магнитопровода.

Трансформаторы тока с вышеупомянутым магнитопроводом могут применяться в свою очередь, например, в счетчиках электроэнергии, как это описано в публикациях WO 00/30131 или WO 0017897. Счетчики электроэнергии используются, например, для учета потребления электроэнергии электрических приборов и установок в промышленности и в домашнем хозяйстве. Используется при этом старейший принцип измерительного прибора индукционной системы Феррариса. Счетчик Феррариса основан на учете электроэнергии посредством вращения соединенного с механическим счетным механизмом диска, который приводится в движение катушками возбуждения, соответствующими пропорциональным току или напряжению полям. Для расширения функциональных возможностей счетчиков электроэнергии, как, например, для многотарифного режима работы или дистанционного отсчета показаний применяются электронные счетчики электроэнергии, у которых учет тока и напряжения осуществляется посредством преобразователей тока и напряжения. Выходные сигналы этих преобразователей переводятся в цифровой формат, умножаются, интегрируются и сохраняются; результатом является электрическая величина, доступная для дистанционного считывания.

Одна из возможных технических реализаций такого преобразователя тока представлена трансформатором тока в соответствии с законом электромагнитной индукции. На фиг.1 показана схема замещения такого трансформатора тока и диапазоны технических параметров таких, какими они могут быть в зависимости от назначения. Здесь представлен трансформатор тока 1. На изготовленном из магнитомягкого материала магнитопроводе 4 находится первичная обмотка 2, подключенная к цепи измеряемого тока I_{prim} , и вторичная обмотка 3, подключенная к цепи измеряемого вторичного тока I_{sec} . Этот ток I_{sec} устанавливается автоматически таким образом, что ампер-витки первичной и вторичной обмотки в идеальном случае представляются равновеликими и противоположно направленными. Характеристика магнитных полей в таком трансформаторе тока представлена на фиг.2, при этом потери магнитопровода в связи с их в целом нерелевантным значением не принимаются в расчет. Ток во вторичной обмотке 3 представляется в этом случае согласно закону электромагнитной индукции так, что он стремится воспрепятствовать причине своего возникновения, а именно изменению во

времени магнитного потока в магнитопроводе 4.

Поэтому в идеальном трансформаторе тока вторичный ток, умноженный на соотношение числа витков, равен первичному току с отрицательной полярностью, что отражается в уравнении (1):

$$I_{\text{sec}}^{\text{ideal}} = -I_{\text{prim}} \cdot (N_{\text{prim}} / N_{\text{sec}}) \quad (1)$$

Этот идеальный случай в связи с потерями в цепи нагрузки 5 в медном сопротивлении 6 вторичной обмотки и в магнитопроводе 4 никогда не осуществим.

Наоборот, в реальном трансформаторе тока вторичный ток включает в отличие от вышеупомянутой идеализации погрешность по амплитуде и погрешность по фазе, что описывается уравнением:

Погрешность по амплитуде:

$$F(I) = \frac{I_{\text{sec}}^{\text{real}} - I_{\text{sec}}^{\text{ideal}}}{I_{\text{sec}}^{\text{ideal}}};$$

Погрешность по фазе: $\varphi(I) = \varphi(I_{\text{sec}}^{\text{real}}) - \varphi(-I_{\text{prim}}) \quad (2)$

Выходные сигналы такого трансформатора тока преобразуются в цифровой формат и обрабатываются дальше электронным устройством счетчика электроэнергии.

Электронные счетчики электроэнергии промышленного назначения для учета потребления электроэнергии в связи с очень высокими зачастую токами ($>>100\text{A}$) работают не непосредственно, то есть к входам тока подключаются специальные первичные трансформаторы тока, так что в самом счетчике могут быть измерены лишь биполярные переменные токи нулевой симметрии (типично $1...6 A_{\text{eff}}$). Для этого служат трансформаторы тока, выполненные с магнитопроводами из материалов, обладающих высокой магнитной проницаемостью, например из сплавов никель-железо, содержащих примерно 80 мас. % никеля и известных как «пермаллой». Для достижения незначительной погрешности измерения им свойственна в принципе очень низкая фазная погрешность φ , для чего они оснащены дополнительно очень большим числом (типично более 1000) вторичных витков.

Они не пригодны для использования в счетчиках бытового назначения, которые применимы также на небольших промышленных объектах, так как для применяемого здесь обычно прямого включения, без подключения первичных трансформаторов тока, величина тока может составлять, как правило, 100 А и больше и в этой связи будут насыщаться вышеописанные трансформаторы тока. Более того, эти токи не могут содержать постоянных составляющих тока нулевой симметрии, которые генерируются применяемыми в современных электроприборах полупроводниковыми схемами (например, выпрямляющие или фазные схемы включения) и магнитно насыщают трансформаторы тока с магнитопроводами с высокой проницаемостью и, следовательно, искажают учет потребления электроэнергии.

Действующие здесь международные стандарты серии МЭК 62053 предусматривают, что электронный счетчик электроэнергии для поддержания класса точности 1 или 2% для заданного максимально измеримого эффективного значения I_{max} биполярного синусоидального тока нулевой симметрии должен иметь максимальную амплитуду униполярного выпрямленного однополупериодного синусоидального тока с максимальной дополнительной погрешностью 3 или 6%, числовое значение которой равно максимальному эффективному значению. Наряду с этими нормами существуют национальные и региональные установления, признающие достаточным точно определенный режим учета электроэнергии также с более низким, предельно допустимым амплитудным значением униполярного тока.

Для отображения таких токов известны преобразователи тока, работающие на основе незамкнутых или перекрытых механически внедренными воздушными зазорами магнитных цепей, которые, следовательно, отличаются низкой магнитной проницаемостью. Примером такого преобразователя тока является трансформатор тока, в котором используется как магнитопровод снабженный (перекрытый) воздушным зазором ферритовый чашеобразный

сердечник. Он имеет удовлетворительную линейность как функцию первичного тока, но в связи с относительно низкой индукцией насыщения ферритов требует сравнительно объемного магнитопровода, чтобы получить в трансформаторе тока высокий максимально измеримый первичный ток при высокой линейности по всему диапазону тока. Далее, эти трансформаторы тока отличаются также высокой чувствительностью относительно

внешних полей помех, так что должны быть приняты меры по экранированию, являются материалом и трудоемкими при монтаже и, значит, не очень выгодными с точки зрения себестоимости. Кроме того, у ферритов магнитные характеристики, как правило, сильно зависят от температуры.

Известны также преобразователи тока, работающие на основе катушек без стального сердечника. Этот принцип известен как так называемый принцип Роговского. Здесь свойства магнитомягкого материала не оказывают влияния на точность измерения. Ввиду магнитно-открытой конструкции таких преобразователей тока они должны быть оснащены особенно затратными экранирующими устройствами относительно внешних полей, что также повышает себестоимость в связи с материальными и монтажными затратами.

Технически чрезвычайно выгодной возможностью является применение трансформаторов тока с магнитопроводами с относительно низкой магнитной проницаемостью ($\mu=1400\ldots3000$) из быстрозатвердевающих аморфных магнитомягких материалов. Очень хорошая стабильность этой магнитной проницаемости при изменениях регулируемости обеспечивает очень высокую линейность фазной погрешности по всему передаваемому диапазону тока. Низкое значение магнитной проницаемости позволяет избежать в расчетных пределах насыщения постоянными составляющими тока; в то же время оно приводит к появлению сравнительно высокой фазной погрешности между первичным и вторичным током, которую в счетчике электроэнергии необходимо компенсировать соответствующей электронной схемой или программным обеспечением. В известных в настоящее время конструкциях электронных счетчиков электроэнергии предусмотрен компенсационный интервал типично $0,5\ldots5^\circ$, причем компенсация более высоких значений в этом интервале требует одновременно растущих затрат в том, что касается полупроводниковых схем и элементов памяти и хранения, используемых при

обработке сигнала, что повышает себестоимость изделия. Серьезную проблему с точки зрения конкурирующих на рынке счетчиков электроэнергии изготовителей представляет себестоимость используемых магнитных материалов, так как используемые по настоящее время сплавы содержат примерно 80 ат.% Со, что приводит к сравнительно высоким материальным затратам.

Задачей изобретения является усовершенствование магнитопровода, обладающего высокой регулируемостью постоянной и переменной составляющих тока, касательно его свойств в зависимости от назначения. Кроме того, задача изобретения состоит в том, чтобы разработать магнитопровод касательно его свойств таким образом, чтобы он мог использоваться по различным назначениям, а также предложить области применения для таких магнитопроводов. Далее задача предлагаемого изобретения состоит в том, чтобы разработать особенно выгодный с точки зрения себестоимости магнитопровод. И, наконец, другая задача изобретения заключается в том, чтобы предложить способ изготовления магнитопроводов такого типа.

Задача решается за счет магнитопровода с признаками основного п.1 формулы изобретения. Далее задача решается за счет трансформатора тока согласно п.20, включающего магнитопроводы этого типа, и дросселя согласно п.23, включающего магнитопроводы этого типа. Наконец, задача решается также за счет способа изготовления согласно п.16. Варианты исполнения и доработки изобретательской идеи являются предметом зависимых пунктов формулы.

По сравнению с уровнем техники трансформатор тока с магнитопроводом согласно изобретению значительно улучшен, например, в своих свойствах (например, температурный режим, погрешность по фазе, максимальный первичный ток, а также себестоимость) относительно известных трансформаторов тока (например, с ферритовыми

сердечниками). При этом магнитопровод может быть выполнен без стального сердечника и закрытым. Наряду с высокой регулируемостью для переменной и постоянной составляющих тока, он отличается, в частности при использовании в счетчиках ампер-часов, исключительно адекватной высокой линейностью отображения тока по широкому

5 диапазону тока и высокой устойчивостью относительно внешних посторонних магнитных полей без дополнительных экранирующих мер. В этой связи выявилось, что магнитопроводы согласно изобретению особенно приемлемы для трансформаторов тока и синфазных дросселей. В то же время они могут также выгодно использоваться по любым

иным назначениям.

10 Кроме того, они очень выгодны в изготовлении с точки зрения себестоимости ввиду возможной благодаря особым свойствам магнитопровода простой конструкции трансформаторов тока и синфазных дросселей с небольшим по массе сердечником из сплавов, содержащих при этом лишь незначительные составные доли дорогостоящего элемента Со, а также с обмоткой с относительно небольшим числом витков, и,

15 следовательно, особенно пригодны для вышеназванных назначений. Более того, минимальной является температурная зависимость названных свойств.

При расчете трансформатора тока на заданный максимальный первичный ток принималось за основу то, что этот ток прямо пропорционален присущей материалу индукции насыщения, сечению сердечника и обратно пропорционален суммарным

20 значениям полного сопротивления нагрузки и сопротивления вторичной обмотки. Величина (объем) сердечника представляет собой произведение сечения сердечника и средней длины магнитной линии. Отсюда, масса сердечника получается из умножения на плотность материала. Одновременно максимальная униполярная амплитуда тока прямо пропорциональна присущей материалу индукции насыщения, а также обратно

25 пропорциональна магнитной проницаемости материала.

При этом была получена минимальная погрешность по фазе, соотносящаяся приблизительно со значением погрешности по амплитуде порядка $\leq 8^\circ$, прямо пропорциональная вышеназванному суммарному сопротивлению и обратно

30 пропорциональная магнитной проницаемости. Кроме того, была достигнута максимально возможная индукция насыщения. Аморфные материалы с содержанием примерно 80 ат.% Со характеризуются значениями для индукции насыщения порядка 0,8...1 Т. Повышение обеспечило бы уменьшение магнитопровода при неизменном максимальном токе или повышение максимального тока при неизменной величине сердечника.

Допустим вначале, что величина (объем) сердечника остается постоянной. В равной

35 мере должны оставаться без изменения такие, как правило, согласуемые конструктором счетчика величины как число вторичных витков, а также полное сопротивление нагрузки. В этой связи при повышении индукции насыщения с 1,9 Т до 1,2 Т, как это имеет место при использовании нанокристаллического вещества с 10 ат.% Ni, трансформатор тока мог бы показать 33% повышения первичного тока. Далее, при остающейся неизменной

40 максимальной униполярной амплитуде тока и повышении индукции насыщения и неизменной величине сердечника такая конструкция позволила бы получить более высокую магнитную проницаемость, например повышение с 1500...3000 при аморфном материале с 80 ат.% Со до 2000...4000 для аморфного материала с 10 ат.% Ni. Это в свою очередь ведет к уменьшению примерно на 25% фазной погрешности, что существенно снижает

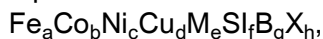
45 компенсационные затраты в счетчике электроэнергии. Если при этом используется возможность, чтобы уменьшить сечение сердечника на 25% для остающегося неизменным максимального первичного тока, а также соответственно регулируется соотношение величин с целью снижения сопротивления вторичной обмотки, то при остающемся неизменным полным сопротивлением нагрузки погрешность по фазе можно снизить в два

50 раза с 5° до, например, $2,5^\circ$.

В этом случае затраты на материал сердечника при применении нанокристаллического вещества с 10 ат.% Ni могли бы снизиться ровно на 30% по сравнению с расходами на материал при сердечнике из аморфного вещества с 80 ат.% Со.

Предпочтительный вариант исполнения магнитопровода согласно изобретению, предназначенного в частности для использования в трансформаторе тока, предусматривает, что магнитопровод состоит из витой ленты из ферромагнитного сплава, в котором по меньшей мере 50% сплава берется из мелких кристаллических частиц со
 5 средним размером частиц 100 нм или меньше, предпочтительно 50 нм или меньше (нанокристаллический сплав), с магнитной проницаемостью больше 1000, предпочтительно 1500, и меньше 10000, предпочтительно 6000, которая запуском в магнитном поле устанавливается перпендикулярно относительно направления намагничивания. При этом индукция насыщения ≤ 1 тесла.

10 Другие предпочтительные варианты исполнения имеют магнитострикцию насыщения $\lambda_s < 15$ ppm (предпочтительно < 10 ppm). Такие свойства могут быть получены обычно только за счет дорогих сплавов на основе Co, в то время как при нанокристаллических сплавах на основе Fe предел магнитной проницаемости при
 15 общеупотребительных сплавах превышает 10000. Сплав для магнитопровода согласно изобретению имеет состав, который описывается в сущности формулой



где M - по меньшей мере, один из элементов V, Nb, Ta, Ti, Mo, W, Zr, Cr, Mn и Hf, в свою очередь a, b, c, d, e, f, g даны в ат.%, X обозначает элементы P, Ge, C, а также
 20 принятые в торговле примеси и при этом a, b, c, d, e, f, g, h соответствуют следующим условиям:

$$0 \leq b \leq 40$$

$$2 < c < 20$$

$$0,5 \leq d \leq 2$$

$$1 \leq e \leq 6$$

$$6,5 \leq f \leq 18$$

$$5 \leq g \leq 14$$

$$h < 5 \text{ ат.}\%$$

$$c \leq b + c \leq 45, \text{ при этом } a + b + c + d + e + f = 100.$$

30 Предпочтительны магнитопроводы с составом сплава a, b, c, d, e, f, g, h, который соответствует следующему условию:

$$0 \leq b \leq 20$$

$$2 < c < 15$$

$$0,5 \leq d \leq 2$$

$$1 \leq e \leq 6$$

$$6,5 \leq f \leq 18$$

$$5 \leq g \leq 14$$

$$h < 5 \text{ ат.}\%$$

$$c \leq b + c \leq 30, \text{ при этом } a + b + c + d + e + f = 100.$$

40 Особенно предпочтительны магнитопроводы с составом сплава a, b, c, d, e, f, g, h, который соответствует следующему условию:

$$0 \leq b \leq 10$$

$$2 < c < 15$$

$$0,5 \leq d \leq 2$$

$$1 \leq e \leq 6$$

$$6,5 \leq f \leq 18$$

$$5 \leq g \leq 14$$

$$h < 5 \text{ ат.}\%$$

$$c \leq b + c \leq 20, \text{ при этом } a + b + c + d + e + f = 100.$$

50 Совершенно исключительные результаты дают магнитопроводы, составы сплава которых соответствуют следующим условиям:

$$0,7 \leq d \leq 1,5$$

$2 \leq e \leq 4$
 $6,5 \leq f \leq 18$
 $6 \leq g \leq 12$
 $h < 2$ ат. %

5 с $5 \leq b + c \leq 20$, при этом $a + b + c + d + e + f = 100$. В предпочтительных вариантах исполнения содержание Со меньше, чем содержание Ni.

10 Выявилось, что при таком магнитопроводе зависимость магнитной проницаемости от намагниченности очень невелика. Следовательно, петля гистерезиса магнитопровода очень узкая и линейная. Это предполагает минимально возможное соотношение остаточной магнитной индукции и индукции насыщения по возможности меньше 30% (предпочтительно 20%) и небольшие величины напряженности коэрцитивного поля по возможности меньше 1 А/см, предпочтительно лучше 0,2 А/см. Это приводит к высокой стабильности значений магнитной проницаемости. Так нелинейность проницаемости составляет $\Delta\mu/\mu < 15\%$ (лучше меньше 10%), причем $\Delta\mu$ представляет собой наибольшее значение для разности между минимальным и максимальным значением магнитной проницаемости по всему измеримому диапазону намагниченности.

15 Наряду с магнитопроводом трансформатор тока с магнитопроводом согласно изобретению включает, по меньшей мере, одну первичную обмотку и одну вторичную обмотку, к которой параллельно включено сопротивление нагрузки, замыкающее цепь вторичного тока с невысоким электрическим сопротивлением. Так как магнитная проницаемость магнитопровода в указанном диапазоне в сущности не зависит от намагниченности, то абсолютная фазная погрешность и абсолютная амплитудная погрешность этого преобразователя тока с таким магнитопроводом приблизительно неизменны, причем в широком диапазоне первичного тока. Абсолютная амплитудная погрешность может составлять менее 1%. Абсолютная погрешность по фазе может быть менее 5°. Вследствие хорошей линейности абсолютные значения фазной и амплитудной погрешностей легко компенсируются средствами электроники или программного обеспечения оснащенного ими счетчика электроэнергии, что обуславливает высокую точность измерения электрической мощности.

30 Вследствие нанокристаллической структуры магнитопровод отличается чрезвычайно высокой устойчивостью к старению, с верхним предельно допустимым эксплуатационным значением температуры для магнитопровода свыше 120°C, в отдельных случаях даже порядка 150°C. Именно поэтому преобразователь тока с магнитопроводом пригоден для использования для температур, значительно превышающих комнатную температуру.

35 Свойства магнитопровода лишь незначительно зависят от температуры, причем эта зависимость опять-таки имеет в значительной степени линейную характеристику. При этом коэффициент магнитной проницаемости может составлять в абсолютном значении существенно меньше 0,5%/K, предпочтительно менее 0,2%/K.

40 Изобретение базируется также на понимании того, что магнитопровод с описанными свойствами может быть изготовлен с применением сплава описанного состава путем соответствующей термической обработки. При этом очень многие параметры согласуются между собой для того, чтобы получить магнитопровод с описанными свойствами.

45 Обе основополагающие предпосылки хороших магнитомягких свойств обеспечиваются за счет созданной термической обработкой нанокристаллической структуры при одновременно высокой индукции насыщения и высокой термической стабильности. Сердечник изготавливается, как правило, из лент, которые получены, в свою очередь, из сплава согласно изобретению.

50 Ниже изобретение поясняется более детально на основе представленных на фигурах чертежа примерах исполнения. Показаны:

Фиг.1 - схема замещения известного преобразователя тока и диапазоны различных технических параметров, которые могут использоваться в производстве,

Фиг.2 - характеристика магнитных полей с преобразователем тока с фиг.1,

Фиг.3 - диаграмма амплитудной погрешности (в %) и фазной погрешности (в °) в

зависимости от первичного тока (в А) для номинального первичного тока $I_{\text{primN}} 640 \text{ А}$,

Фиг.4 - диаграмма амплитудной погрешности (в %) и фазной погрешности (в °) в зависимости от первичного тока (в А) для номинального первичного тока $I_{\text{primN}} 400 \text{ А}$ и Фиг.5 - петля гистерезиса для предпочтительного сплава согласно изобретению.

Ниже в виде примера рассматривается область применения "Трансформатор тока с предельно допустимым отклонением по постоянному току для электронных счетчиков электроэнергии". Исследования в этой области показали, что для известных с давних пор классических трансформаторов тока с сердечниками с высокой магнитной проницаемостью невозможно соблюдение требований нормативного ряда МЭК 62053 по вопросу допустимых отклонений для постоянного тока. Эти стандарты, определяющие требования к электронным бытовым счетчикам с прямым подключением, предусматривают, что учет электроэнергии возможен также для выпрямленных однополупериодных (то есть чисто униполярных) синусоидальных токов.

Здесь отказывают классические трансформаторы тока, так как сердечники с высокой проницаемостью очень быстро насыщаются нарастающим униполярным потоком. При уменьшении магнитной проницаемости материала сердечника вместе с индуктивностью падает также постоянная времени снижения потока, так что решение проблемы пытались найти в применении аморфных сплавов с низкой магнитной проницаемостью. Но недостатком здесь является относительно высокая цена, что обусловлено главным образом аморфной лентой с примерно 80% Со.

Таким образом, исходной точкой направления мысли является найти альтернативный вариант сплава, то есть сплав с очень низкой магнитной проницаемостью (μ предпочтительно порядка 1500...6000), который в состоянии заменить аморфные ленты на основе Со с низкой магнитной проницаемостью со значительными преимуществами по себестоимости.

Важным здесь является также выяснить вопрос о том, соответствует ли в равной мере достижимая линейность отлично проявившим себя в этом отношении лентам на основе Со, чтобы таким образом могли быть выполнены требования к точности измерения электроэнергии. С некоторой уверенностью следует ожидать, что более высокая индукция насыщения на пути оптимизации может быть перенесена в процесс соответствующего применения. Предпосылкой является безупречная функциональность согласно МЭК 62053, имеющая по настоящее время значительное техническое преимущество относительно использования дешевых ферритовых сердечников.

В первую очередь изучались ленты с изменением как в содержании Si, так и в содержании Nb. Экспериментальная программа включала по два сердечника в каждом варианте с двумя различными температурами при термической обработке в поперечном поле и 3 составами сплава. В рамках изменения сплава при контрольном эксперименте были отлиты ленты шириной 6,2 мм из пробных сплавов, из которых были изготовлены кольцевые ленточные сердечники. Они обрабатывались в продольном поле при различных температурах для получения как можно более плоской петли гистерезиса. Вначале были определены полученные средние значения магнитной проницаемости μ_{av} , а также другие базовые параметры (см. таблицу 1).

Таблица 1 Сплавы с присадками V и Ni														
Магнитопровод №	Fe	Ni	Cu	Nb	V	Si	B	T _{QF} [°C]	B _{max} [T]	B _r /B _m	H _c [mA/cm]	H _a [A/cm]	μ (av)	$\square_s$ [ppm]
1А	Остаток	10	1	3	0	15,9	6,6	540	1,12	0,008	13	1,75	5,083	4,4
1 В	Остаток	10	1	3	0	15,9	6,6	570	1,13	0,009	15	2,01	4,463	2,8
2А	Остаток	10	1	3	0	12,5	8	540	1,19	0,008	19	2,95	3,198	7,7
2 В	Остаток	10	1	3	0	12,5	8	570	1,20	0,011	35	3,49	2,735	6,7
3А	Остаток	10	1	1,5	1,5	12,5	8	540	1,20	0,016	59	3,71	2,578	6,5
3 В	Остаток	10	1	1,5	1,5	12,5	8	570	1,20	0,057	216	3,94	2,425	5,8

К началу эксперимента все сердечники не под напряжением были помещены в ванны без наполнителя, а затем для измерений линейности соответствующим образом были

навиты, причем вначале значения рассматривались при 25°C. Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2 Сплавы с присадками V и Ni и "нефиксированной" линейностью (не под напряжением в ванне)										
Магнитопровод №	Fe	Ni	Cu	Nb	V	Si	B	T _{QF} [°C]	μ _{средн.}	Δμ/μ _{средн.} [%]
1A-1	Остаток	10	1	3	0	15,9	6,6	540	5598	6,13
1A-2	Остаток	10	1	3	0	15,9	6,6	540	5605	6,24
1B-1	Остаток	10	1	3	0	15,9	6,6	570	4919	6,97
1B-2	Остаток	10	1	3	0	15,9	6,6	570	4888	6,79
2A-1	Остаток	10	1	3	0	12,5	8	540	3549	5,49
2A-2	Остаток	10	1	3	0	12,5	8	540	3523	5,52
2B-1	Остаток	10	1	3	0	12,5	8	570	3033	4,12
2B-2	Остаток	10	1	3	0	12,5		570	2981	3,48
3A-1	Остаток	10	1	1,5	1,5	12,5	8	540	2724	5,88
3A-2	Остаток	10	1	1,5	1,5	12,5	8	540	2714	5,46
3B-1	Остаток	10	1	1,5	1,5	12,5	8	570	2282	12,5
3B-2	Остаток	10	1	1,5	1,5	12,5	8	570	2300	12,5

Для лучшего обзора линейность конфигурации кривых выражена мерой $\Delta\mu/\mu_{\text{средн.}}$, при этом обе последние точки данных при запуске в насыщение не были включены в формирование среднего значения. Магнитопроводы выявили в большинстве случаев линейность, способную обеспечить требуемую точность измерения электроэнергии при применении сердечников для трансформаторов тока в электронных счетчиках электроэнергии. Исключение составляет вариант 3B, в котором 12,5% представляется относительно высоким значением, причиной чего предположительно был чрезмерный отжиг в поперечном поле.

Затем для определения влияния фиксации в условиях эксплуатации один сердечник в каждом варианте либо покрывался изоляционным слоем пластмассы, либо помещался в подходящую пластмассовую ванну с мягкоэластичным клеем и вновь производилась навивка и измерения. При этом были получены существенно отличающиеся изображения характеристик линейности сердечников, что видно из двух следующих таблиц 3 и 4.

Таблица 3 Линейность, фиксируемая в состоянии, близком к готовности (пластмассовое покрытие)										
Магнитопровод Тип/Мв	Fe	Ni	Cu	Nb	V	Si	B	T _{QF} [°C]	μ _{средн.}	Δμ/μ _{средн.} [%]
1A-1	Остаток	10	1	3	0	15,9	6,6	540	10170	151
1B-1	Остаток	10	1	3	0	15,9	6,6	570	8403	138
2A-1	Остаток	10	1	3	0	12,5	8	540	6555	161
2B-1	Остаток	10	1	3	0	12,5	8	570	4881	129
3A-1	Остаток	10	1	1,5	1,5	12,5	8	540	3696	82,9
3B-1	Остаток	10	1	1,5	1,5	12,5	8	570	2262	35,1

Таблица 4 Линейность, фиксируемая в состоянии, близком к готовности (пластмассовая ванна с мягкоэластичным клеем)										
Магнитопровод Тип/№	Fe	Ni	Cu	Nb	V	Si	B	T _{QF} [°C]	μ _{средн.}	Δμ/μ _{средн.} [%]
1A-2	Остаток	10	1	3	0	15,9	6,6	540	5716	13,2
1B-2	Остаток	10	1	3	0	15,9	6,6	570	4947	5,15
2A-2	Остаток	10	1	3	0	12,5	8	540	3587	5,46
2B-2	Остаток	10	1	3	0	12,5	8	570	3033	3,06
3A-2	Остаток	10	1	1,5	1,5	12,5	8	540	2699	6,74
3B-2	Остаток	10	1	1,5	1,5	12,5	8	570	2305	12,7

На таблице 3 показано очень существенное влияние пластмассового покрытия на линейность характеристик. Через созданную присадкой Ni магнитострикцию вещество настолько сильно реагирует на усадочное напряжение затвердевающего примерно при 120°C и сжимающегося при охлаждении покрытия, что полученные линейности представляются уже бессмысленными для использования в прецизионных трансформаторах тока. Отклонения от линейности достигают значений, которые от 9 до 50 и больше раз превышают служащие для сравнения значения свободных от

магнитострикции аморфных сплавов на основе Co.

Значительно более благоприятное поведение наблюдается при фиксации ванны. Здесь в результате применения мягкоэластичного клея нелинейности возрастают максимально лишь в два раза. Во всяком случае, варианты 1В, 2А и 2В представляются при комнатной температуре подходящими при применении для высоколинейных трансформаторов тока. В рамках дальнейшего рассмотрения использования в широком диапазоне температур (например, от -40°C до $+70^{\circ}\text{C}$) также рассматривались температурные свойства комплексной магнитной проницаемости. Например, диаграммы для сердечника 2А-2 показывают отрицательный температурный коэффициент магнитной проницаемости, который между -400°C и $+850^{\circ}\text{C}$ имеет почти линейную характеристику, а для сердечника 2В-2 значение составляет примерно $-0,1\%/K$. Значение остается в силе как для амплитуды возбуждающего поля 4 мА/см , так и для 15 мА/см . Было установлено, что положительный температурный коэффициент для трансформатора тока благоприятен в той мере, в какой он при растущей температуре имеет обратное действие относительно растущего сопротивления медной проволоки и тем самым снижает фазную погрешность. Таким образом, при проектировании трансформаторов тока следует обратить особое внимание на большую вариантность погрешностей в связи с температурой. При использовании мягкоэластичного клея было обнаружено, что изменение температуры как для высоких, так и для низких температур ведет к дополнительным отклонениям от линейности в погрешности преобразователя. Здесь проявляются растягивающие или сжимающие напряжения на сердечнике, которые в связи с упругим поведением затвердевшего клея передаются на него материалом ванны. Ощутимое снижение этого эффекта могло бы быть достигнуто, если бы в качестве наполнителя вместо мягкоэластичного реакционного клея применялась мягкопластичная нереакционная паста. Таким образом, значения линейности могли бы более или менее постоянно поддерживаться в пределах температурного диапазона от -40°C до $+85^{\circ}\text{C}$.

Существенное преимущество нанокристаллического материала состоит в изменчивости магнитной проницаемости, что в случае фиксации ванны позволяет также применить ее с адекватной назначению линейностью. Благодаря расширенным возможным диапазонам регулируемости трансформатор тока в рамках предельно допустимого отклонения по постоянному току может быть легко согласован на оптимум предварительной нагруженности. Для улучшения линейностей может быть уменьшена также магнитострикция, если снизить процентное содержание присадочного никеля с 10% и выйти на значения магнитной проницаемости в пределах 4000-6400.

На фиг.3 и 4 показана диаграмма амплитудной погрешности (в %) и фазной погрешности (в °) в зависимости от первичного тока (в А) для различных номинальных первичных токов I_{primN} на 640 А (фиг.3) и 400 А (фиг.4).

Наконец, на фиг.5 представлена петля гистерезиса (магнитный поток В в Т по силе тока Н в А/см) для сплава с 65,2 ат.% Fe, 12 ат.% Ni, 0,8 ат.% Cu, 2,5 ат.% Nb, 11,5 ат.% Si и 8 ат.% В. Эти сплавы противопоставляются другим сплавам согласно изобретению в таблице 5, при этом принято обозначение QF для обработки в поперечном поле и LF для обработки в продольном поле. Символом *обозначены сплавы для сравнения, которые не являются предметом изобретения.

Термическая обработка в поперечном поле (QF) всегда считается необходимой, причем магнитная проницаемость может быть установлена по желанию путем дополнительной термической обработки в продольном поле (LF), которая может осуществляться до или после обработки в продольном поле. Это имеет то преимущество, что из одного и того же сплава могут быть изготовлены сердечники с отличающимися свойствами и, следовательно, различные классы трансформаторов тока (классы тока). Принято, что сочетание температуры и продолжительности обработки в поперечном поле всегда имеет более сильное воздействие, чем температура и продолжительность обработки в продольном поле.

Таблица 5

5

10

15

20

25

30

Nr	Fe	Co	Ni	Cu	Nb	V	Si	B	WB	B _m (T)	B _r /B _m	H _c (A/cm)	μ	TK (%/°C)	λ _s (ppm)
1*	75,5		0	1	3		12,5	8	0,5 ч 550°C QF	1,32	0,006	0,005	10600	-0,25	4,4
2	70,5		5	1	3		12,5	8	0,5 ч 550°C QF	1,28	0,001	0,008	5020	-0,18	-
3	65,5		10	1	3		12,5	8	0,5 ч 570°C QF	1,23	0,006	0,019	2630	-0,13	-
3b	65,5		10	1	3		12,5	8	0,5 ч 550°C QF	1,21	0,001	0,005	2837	-0,17	-
3c	65,5		10	1	3		12,5	8	0,5 540°C QF	1,19	0,008	0,019	3200	-0,16	7,7
3d	65,5		10	1	3		12,5	8	0,5 ч 550°C LF+3 ч 500°C QF	1,21	0,001	0,015	6080	-0,05	-
3e	65,5		10	1	3		12,5	8	0,5 ч 550°C LF+3 ч 460°C QF	1,20	0,003	0,030	7140	-0,01	-
3f	65,5		10	1	3		12,5	8	0,5 ч 550°C LF+3 ч 423°C QF	1,20	0,002	0,018	8360	0,03	-
4	65,5		10	1	1,5	1,5	12,5	8	0,5 ч 540°C QF	1,20	0,016	0,059	2578	-0,16	6,5
5a	60,5		15	1	3		12,5	8	0,5 ч 550°C QF	1,12	0,005	0,026	1860	-0,12	-
5b	60,5		15	1	3		12,5	8	0,5 ч 550°C LF+3 ч 500°C QF	1,12	0,036	0,073	4590	0,03	-
5c	60,5		15	1	3		12,5	8	0,5 ч 550°C LF+3 ч 460°C QF	1,12	0,036	0,061	5420	-0,001	-
5d	60,5		15	1	3		12,5	8	0,5 ч 550°C LF+3 ч 423°C QF	1,12	0,044	0,031	6490	0,02	-
6*	55,5		20	1	3		12,5	8	0,5 ч 550°C QF	0,18	0,140	1,14	175		-
7	64,5		10	1	3		14	7,5	0,5 ч 550°C QF	1,10	0,005	0,012	3520	-0,15	-
8	66		10	1	3		11	9	0,5 ч 550°C QF	1,25	0,001	0,003	2617	-0,15	8,7
9a	63,5		10	1	3		15,9	6,6	0,5 ч 550°C QF	1,14	0,002	0,003	4307	-0,12	-
9b	63,5		10	1	3		15,9	6,6	0,5 ч 540°C QF	1,12	0,008	0,013	5080	-0,09	4,4
10	63,5		10	1	1,5	1,5	15,9	6,6	0,5 ч 540°C QF	1,12	0,011	0,026	3400	-0,12	3,1
11	66,7		10	0,8	3		11,5	8	0,5 ч 550°C QF	1,23	0,000	0,002	2610	-0,14	8,1
12	67		10	0,8	2,7		11,5	8	0,5 ч 550°C QF	1,27	0,001	0,003	2610	-0,13	-
13	69,2		8	0,8	2,5		11,5	8	0,5 ч 550°C QF	1,32	0,012	0,041	3090	-0,12	7,6
14	67,2		10	0,8	2,5		11,5	8	0,5 ч 550°C QF	1,29	0,006	0,022	2650	-0,12	-
15	65,2		12	0,8	2,5		11,5	8	0,5 ч 550°C QF	1,26	0,004	0,019	2230	-0,11	8,8
16	63,2		14	0,8	2,5		11,5	8	0,5 ч 550°C QF	1,16	0,110	0,020	1720	0,09	-
17	67,4		10	0,8	2,3		11,5	8	0,5 ч 550°C QF	1,30	0,016	0,063	2610	-0,09	-
18	67,6		10	0,8	2,1		11,5	8	0,5 ч 550°C QF	1,30	0,064	0,253	2600	0,04	-
19	66,8		10	0,8	2,9		11,5	8	0,5 ч 550°C QF	1,25	0,012	0,041	2787	-0,14	7,9
20	61,8	5	10	0,8	2,9		11,5	8	0,5 ч 550°C QF	1,25	0,008	0,039	2045	-0,13	10,7
21	56,8	10	10	0,8	2,9		11,5	8	0,5 ч 550°C QF	1,24	0,012	0,073	1627	-0,15	12,5
22	46,8	20	10	0,8	2,9		11,5	8	0,5 ч 550°C QF	1,22	0,015	0,127	1097	-0,16	20,5
23	363	30	10	0,8	2,9		11,5	8	0,5 ч 550°C QF	1,17	0,018	0,208	845	-0,17	23,5
24	26,8	40	10	0,8	2,9		11,5	8	0,5 ч 550°C QF	1,03	0,040	0,519	582	-0,46	22

Приведенные в расположенной выше таблице величины обозначают:

35

1. QF - термическая обработка в поперечном магнитном поле, LF - термическая обработка в продольном магнитном поле.

2. B_m был измерен при максимальной силе тока H_m=8 A/см для примеров 1-21 и H_m=32 A/см для примеров 22-24.

40

3. μ обозначает среднюю величину магнитной проницаемости, определяемую как средний подъем петли гистерезиса.

4. Примеры сравнения 1 и 6 не входят в предмет изобретения.

Нумерация сплавов в таблице 5 отличается от нумерации в таблицах 1-4. Поэтому значения магнитной проницаемости между таблицей 5 и другими таблицами могут несколько отличаться, так как речь идет о различных сериях тестирования.

45

С магнитопроводами согласно изобретению могут быть изготовлены трансформаторы тока, у которых максимальная, неискаженно отображаемая амплитуда выпрямленного однополупериодного синусоидального первичного тока составляет в числовом значении, по меньшей мере, 10%, лучше 20%, от эффективного значения максимального, неискаженно отображаемого биполярного синусоидального первичного тока.

50

Формула изобретения

1. Магнитопровод с линейной В-Н петлей и высокой регулируемостью переменного и постоянного тока, относительной магнитной проницаемостью λ, от 500 до 15000 и

магнитострикцией насыщения X меньше 15 ppm, выполненный из нанокристаллического ферромагнитного сплава, представленного следующей формулой



где M - по меньшей мере, один из V, Nb, Ta, Ti, Mo, W, Zr, Cr, Mn и Hf, X - P, Ge,

- 5 С, а также промышленные примеси, при этом a, b, c, d, e, f, g, h удовлетворяют следующим условиям, ат. %:

$$0 \leq b \leq 40$$

$$2 < c < 20$$

$$0,5 \leq d \leq 2$$

10 $1 \leq e \leq 6$

$$6,5 \leq f \leq 18$$

$$5 \leq g \leq 14$$

$$h < 5$$

a - остальное,

- 15 причем сумма b и c удовлетворяет следующему условию $5 \leq b + c \leq 45$, при этом по, меньшей мере, 50% кристаллических частиц сплава имеют средний размер частиц не более 100 нм.

2. Магнитопровод по п.1, в котором a, b, c, d, e, f, g, h соответствуют следующим условиям, ат. %:

20 $0 \leq b \leq 20$

$$2 < c < 15$$

$$0,5 \leq d \leq 2$$

$$1 \leq e \leq 6$$

25 $6,5 \leq f \leq 18$

$$5 \leq g \leq 14$$

$$h < 5$$

a - остальное,

причем сумма b и c удовлетворяет следующему условию $5 \leq b + c \leq 30$.

- 30 3. Магнитопровод по п.1, в котором a, b, c, d, e, f, g, h соответствуют следующим условиям, ат. %:

$$0 \leq b \leq 20$$

$$2 < c < 15$$

$$0,5 \leq d \leq 2$$

35 $1 \leq e \leq 6$

$$6,5 \leq f \leq 18$$

$$5 \leq g \leq 14$$

$$h < 5$$

a - остальное, причем сумма b и c удовлетворяет следующему условию с $5 \leq b + c \leq 20$.

- 40 4. Магнитопровод по п.1, в котором, d, e, f, g, h соответствуют следующим условиям, ат. %:

$$0,7 \leq d \leq 1,5$$

$$2 \leq e \leq 4$$

45 $6,5 \leq f \leq 18$

$$6 \leq g \leq 12$$

$$h < 2.$$

5. Магнитопровод по п.1, в котором Co содержится в меньшем или в равном количестве, что и Ni .

- 50 6. Магнитопровод по п.1 в форме кольцевого ленточного сердечника, который навит из ленты толщиной менее 50 мкм.

7. Магнитопровод по п.1, в котором величина напряженности коэрцитивного поля H_c меньше 1 А/см.

8. Магнитопровод по п.1, в котором остаточное соотношение составляет меньше 0,1.

9. Магнитопровод по п.1, имеющий относительную магнитную проницаемость μ , которая больше 1000 и меньше 10000.

5 10. Магнитопровод по п.1, имеющий относительную магнитную проницаемость μ , которая больше 1500 и меньше 6000.

11. Магнитопровод по п.1, в котором магнитострикция насыщения λ_s меньше 10 ppm.

12. Магнитопровод по п.1, в котором, по меньшей мере, 50% кристаллических частиц сплава имеют средний размер частиц не более 50 нм.

10 13. Магнитопровод по п.1, в котором он выполнен как замкнутый кольцевой, овальный или прямоугольный сердечник без воздушных зазоров.

14. Магнитопровод по п.1, который зафиксирован в ванне.

15. Магнитопровод по п.14, который зафиксирован в ванне при помощи мягко-эластичного реакционного клея и/или мягко-пластичной нереакционной пасты.

15 16. Способ изготовления магнитопровода по любому из пп.1-15, путем термической обработки в поперечном магнитном поле.

17. Способ по п.16, в котором дополнительно осуществляют термическую обработку в продольном магнитном поле.

18. Способ по п.16 или 17, в котором термическую обработку в поперечном магнитном поле осуществляют перед термической обработкой в продольном поле.

20 19. Способ по п.16 или 17, в котором термическую обработку в поперечном поле осуществляют после термической обработки в продольном поле.

20. Трансформатор тока для переменного тока с магнитопроводом по любому из пп.1-15, в котором трансформатор тока рядом с магнитопроводом как сердечником трансформатора имеет одну первичную обмотку и, по меньшей мере, одну вторичную обмотку, причем вторичная обмотка через сопротивление нагрузки и/или измерительное электронное устройство замыкает цепь вторичного тока с невысоким электрическим сопротивлением.

30 21. Трансформатор тока по п.20, который имеет максимальную фазную погрешность $7,5^\circ$ в цепи согласно требованиям назначения и измерения, включающей сопротивление нагрузки и/или электронное измерительное устройство.

22. Трансформатор тока по п.21, который имеет максимальную фазную погрешность 5° в цепи согласно требованиям назначения и измерения, включающей в себя сопротивление нагрузки и/или электронное измерительное устройство.

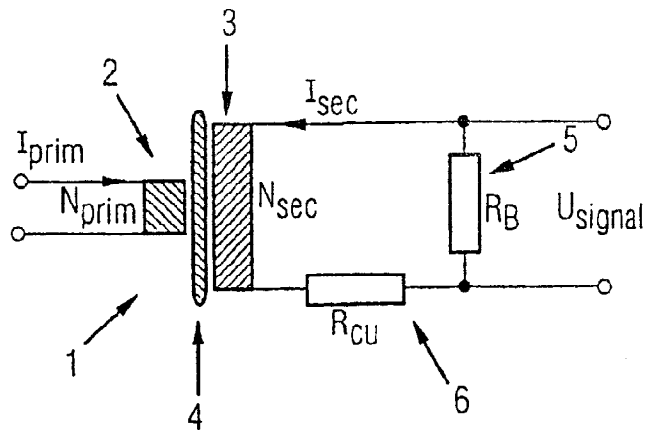
35 23. Синфазный дроссель с магнитопроводом по любому из пп.1-15, в котором дроссель вместе с магнитопроводом (М) включает, по меньшей мере, две обмотки.

24. Дроссель по п.23, в котором дроссель также при протекании тока утечки величиной, по меньшей мере, 10% от номинального тока характеризуется вносимым затуханием по меньшей мере 20 дБ в частотном диапазоне от 150 кГц до 1 МГц.

40 25. Дроссель по п.24, в котором дроссель также при протекании отводного тока, по меньшей мере, 20% от номинального тока характеризуется вносимым затуханием, по меньшей мере, 20 дБ в частотном диапазоне от 150 кГц до 1 МГц.

45

50



Типовые параметры:

$N_{prim} : 1 \dots 6$

$I_{prim} : 5A_{eff} \dots 120A_{eff} (max.)$

$N_{sec} : 500 \dots 4000$

$I_{sec} \approx -I_{prim} \cdot N_{prim} / N_{sec}$

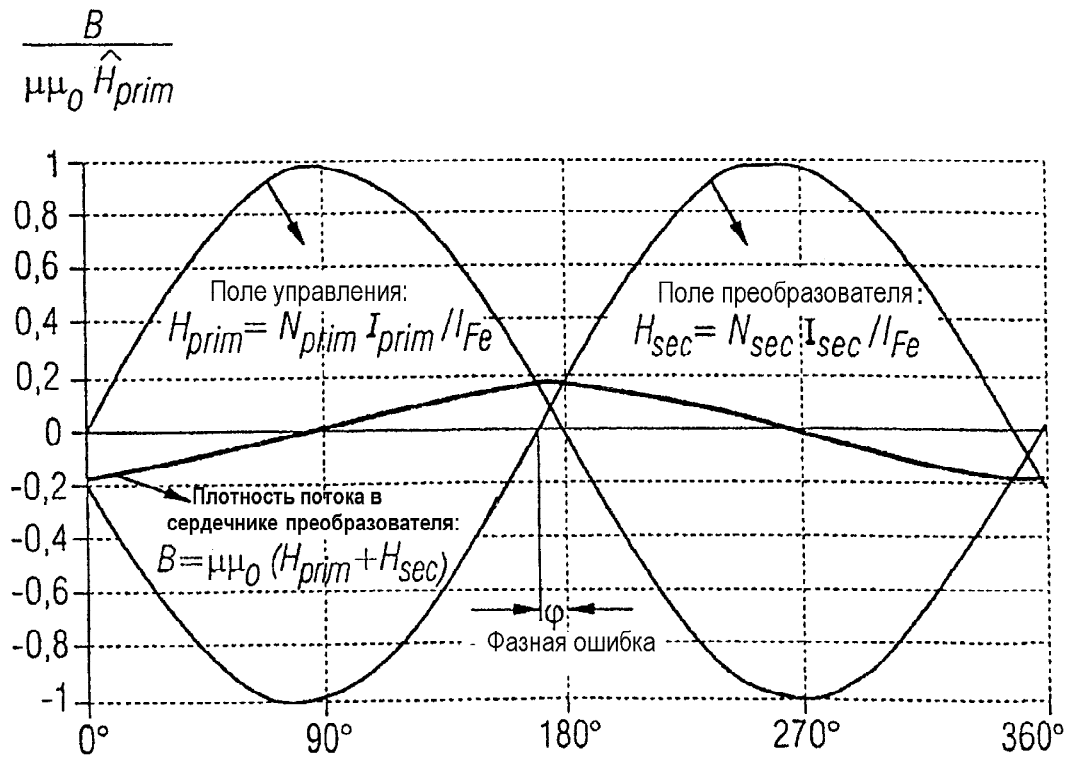
$R_B : 1\Omega \dots 200\Omega$ (Полное сопротивление нагрузки)

$R_{cu} : 1\Omega \dots 200\Omega$ (Обмотка)

$U_{signal} : 300 mV_{eff} (max.)$

Частота: 50 / 60 Hz

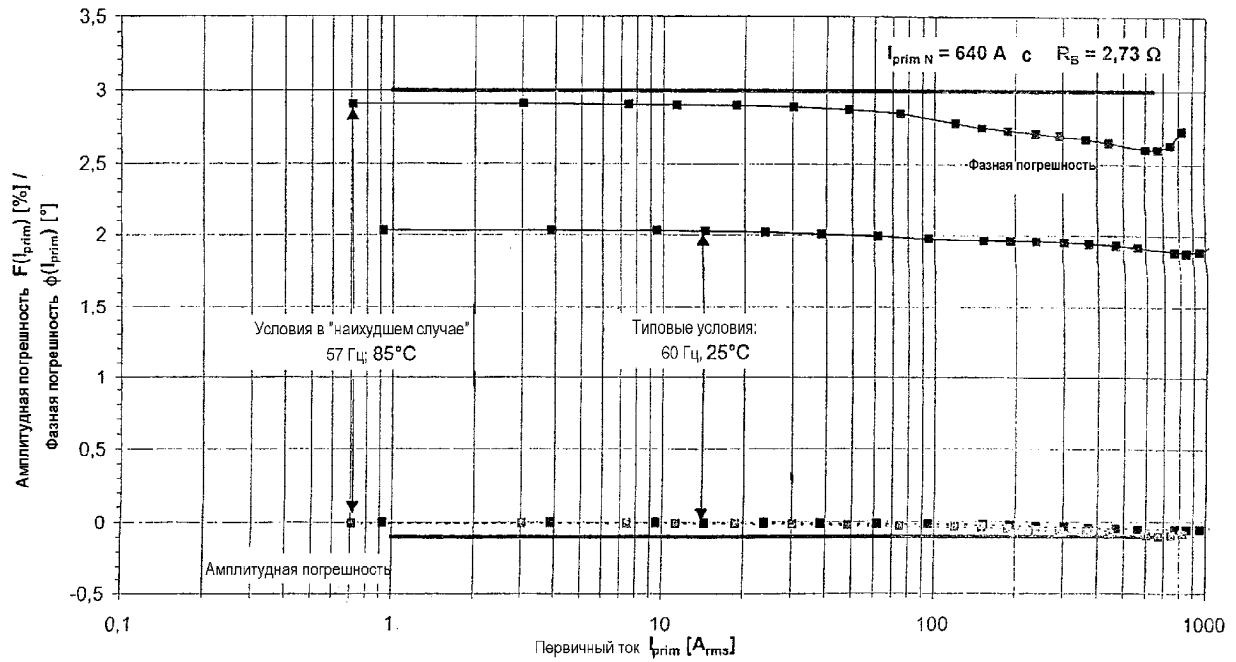
ФИГ.1



ФИГ.2

Расчетная амплитудная и фазная погрешность ТТ для электронного счетчика электроэнергии "Однофазный счетчик" на 60 Гц с

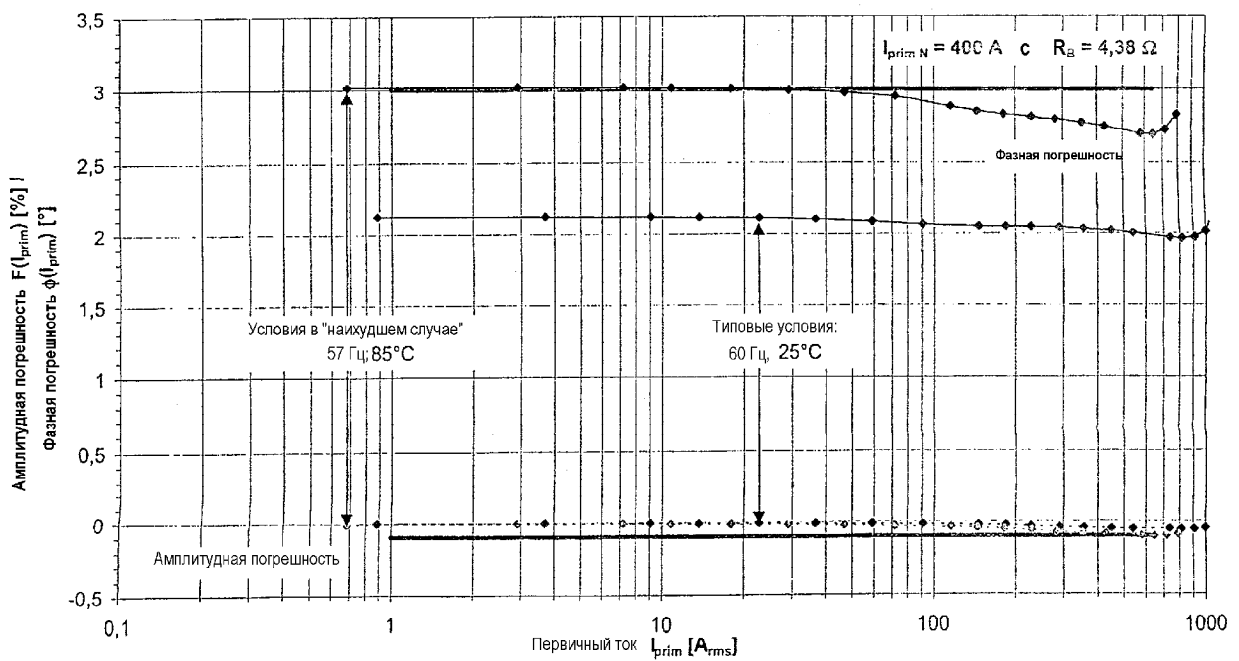
$U_B=0,7$ в и $I_{prim\ N}$ V.2 с парциальным допустимым отклонением ПТ и ID=27 мм



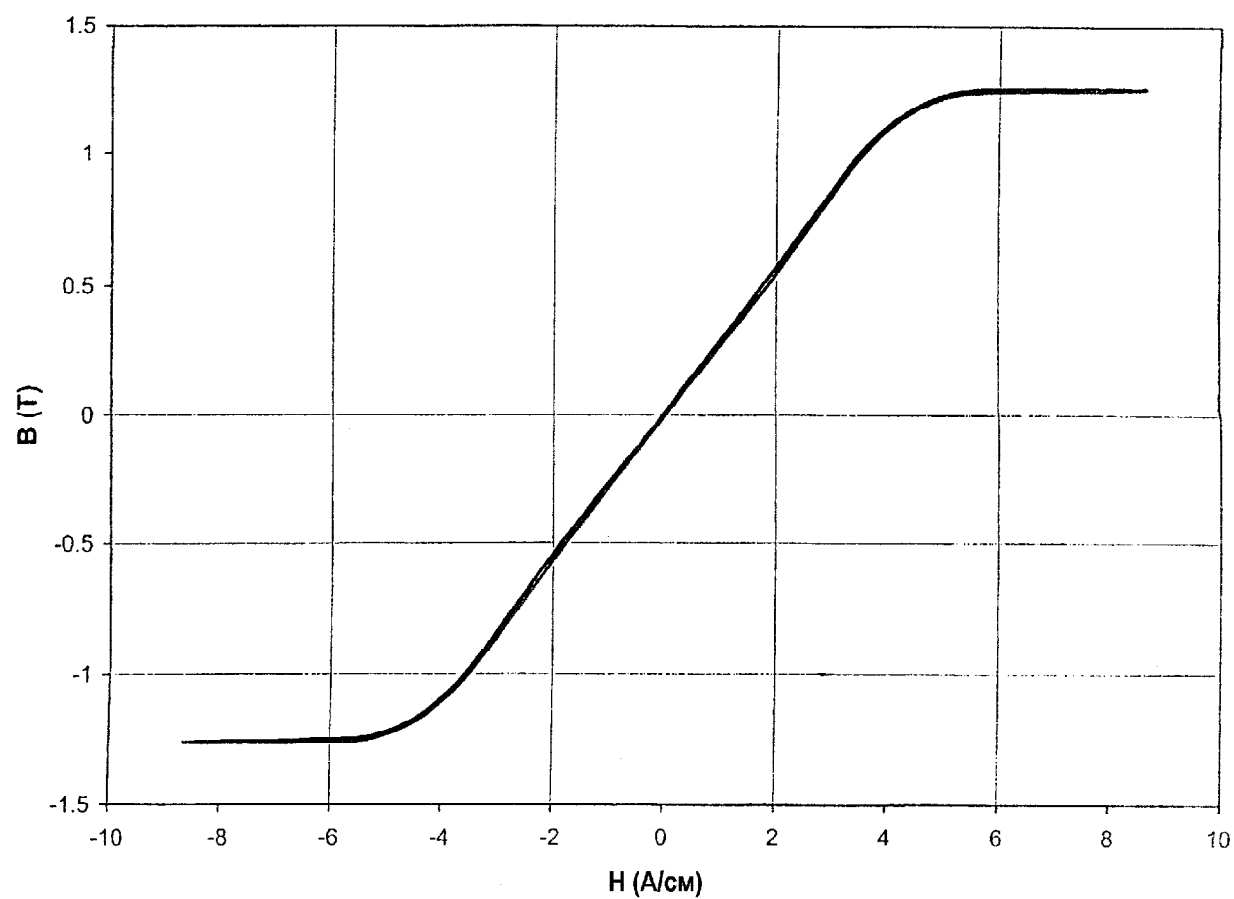
ФИГ.3

Расчетная амплитудная и фазная погрешность ТТ для электронного счетчика электроэнергии "Однофазный счетчик" на 60 Гц с

$U_B=0,7$ в и $I_{prim\ N}$ V.2 с парциальным допустимым отклонением ПТ и ID=27 мм



ФИГ.4



ФИГ.5