

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **036868**

(13) **B1**

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

**(45)** Дата публикации и выдачи патента  
**2020.12.30**

**(51)** Int. Cl. **H02J 50/10** (2016.01)

**(21)** Номер заявки  
**201891062**

**(22)** Дата подачи заявки  
**2015.11.05**

---

**(54) СПОСОБ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ СЪЕМА МОЩНОСТИ, ПРЕДНАЗНАЧЕННОЙ ДЛЯ ЗАПИТЫВАНИЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЯЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ, С ПРОВОДНИКА, ЧЕРЕЗ КОТОРЫЙ ПРОХОДИТ ПЕРЕМЕННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК**

---

**(43)** **2018.11.30**

**(56)** IT-A1-T020080016

**(86)** PCT/IB2015/058555

EP-A1-0267595

**(87)** WO 2017/077365 2017.05.11

US-A1-2002181253

WO-A1-2012015942

**(71)(73)** Заявитель и патентовладелец:  
**ТИКСОН ЭНЕРДЖИ С.Р.Л. (IT)**

**(72)** Изобретатель:  
**Дондолини Алессандро (IT)**

**(74)** Представитель:  
**Ловцов С.В., Левчук Д.В., Коптева  
Т.В., Вилесов А.С., Ясинский С.Я.  
(RU)**

---

**(57)** Изобретением предложены способ и устройство для съема мощности, предназначенной для запитывания энергопотребляющего оборудования (26), с проводника (14, 16a и 16b), через который проходит первичный электрический ток ( $I_p$ ), в которых сердечник (20), выполненный из магнитного материала, и проводящий соленоид (22), намотанный на указанный сердечник (20), установлены в определенном положении на удалении от проводника (14, 16a и 16b) с целью получения вторичного тока ( $I_s$ ) в соленоиде за счет магнитного потока, создаваемого в соленоиде (22) проводником (14, 16a и 16b), сердечником (20) и соленоидом (22). Проводящий соленоид (22) соединен с энергопотребляющим оборудованием (26) через цепь (24), выполненную с возможностью преобразования вторичного тока ( $I_s$ ) в мощность ( $P_g$ ), предназначенную для запитывания энергопотребляющего оборудования (26) через сопутствующее напряжение ( $V_{dc}$  и  $V_{ac}$ ) и выходной ток ( $I_{dc1}$  и  $I_{ac}$ ). Когда мощность ( $P_g$ ), подаваемая на энергопотребляющее оборудование (26), возрастает вследствие неконтролируемого повышения первичного тока ( $I_p$ ), подача выходного тока ( $I_{dc1}$  и  $I_{ac}$ ) прекращается по достижении порогового значения, соотносимого со значением пропускаемого тока ( $I_{SS1}$ ), которое на заданную величину меньше значения вторичного тока ( $I_{SS}$ ) насыщения магнитного материала сердечника (20). Когда мощность ( $P_g$ ), подаваемая на энергопотребляющее оборудование (26), возрастает вследствие дальнейшего неконтролируемого повышения первичного тока ( $I_p$ ), детектируется значение напряжения ( $V_{dc}$  и  $V_{ac}$ ), подаваемого на энергопотребляющее оборудование (26), и когда оно достигает заданного порогового значения ( $V_{MAX}$ ), начинает течь выходной ток ( $I_{dc1}$  и  $I_{ac}$ ), превышающий указанное пороговое значение, инициируя насыщение сердечника (20) и, соответственно, снижение мощности ( $P_g$ ), подаваемой на энергопотребляющее оборудование (26).

---

**B1**

**036868**

**036868**

**B1**

### **Область техники, к которой относится изобретение**

Изобретение относится к способу и устройству для съема мощности, предназначенной для запитывания энергопотребляющего оборудования, с проводника, через который проходит переменный электрический ток.

Последующее описание как один из предпочтительных вариантов осуществления изобретения относится к способу съема мощности, используемой в линии электропередачи, а также к устройству для съема мощности с целью запитывания энергопотребляющего оборудования, которое устанавливается на опорной конструкции линии электропередачи, в частности, например, на опоре электрораспределительной сети среднего, высокого и сверхвысокого напряжения (MV, HV или NHV).

Однако следует понимать, что настоящее изобретение пригодно для использования в любой системе и применимо к любой системе, в которой имеется по меньшей мере один проводник, через который проходит переменный электрический ток, причем ссылки на линии электропередачи носят неограничительный характер.

### **Предшествующий уровень техники изобретения**

На протяжении последних лет возрастает потребность в съеме мощности для запитывания энергопотребляющего оборудования от проводников, через которые протекает ток, в частности, применительно к линиям электропередачи.

Действительно, за последние годы потребность в обеспечении электрораспределительных сетей электронным контрольно-измерительным оборудованием существенно возросла как по причине ужесточения требований к безопасности, так и вследствие необходимости получения значений измеряемых электрических параметров в сети ("умные" сети). В общем, указанное контрольно-измерительное оборудование включает в себя модуль питания, выполненный с возможностью выработки мощности (в частности, электрического тока), потребной для запитывания контрольно-измерительного оборудования.

Одно из известных устройств, предназначенных для съема мощности с целью запитывания энергопотребляющего оборудования (далее обозначаемое в настоящем документе просто термином "модуль питания"), описано в патенте Италии № IT 1391387.

В патентах WO 2010/005324 и WO 99/26329 раскрыты индуктивно-связанные системы передачи мощности, рассчитанные на работу вблизи магнитного поля, создаваемого управляемой первичной цепью. В патенте WO 2010/005324 предусмотрены резистивные средства, такие как МОП-транзисторы, используемые в линейном режиме для ограничения подачи мощности потребителю, которые рассеивают мощность и, следовательно, снижают общий КПД (коэффициент полезного действия) системы. В патенте WO 99/26329 предусмотрены средства ограничения мощности для насыщения магнитного сердечника вследствие протекания постоянного тока, которые также рассеивают мощность и снижают общий КПД.

### **Краткое раскрытие изобретения**

Цель изобретения заключается в том, чтобы предложить способ и устройство для съема мощности, предназначенной для запитывания энергопотребляющего оборудования, с проводника, через который проходит нерегулируемый электрический ток, что позволяет повысить и улучшить управление мощностью (или током), вырабатываемой и подаваемой на энергопотребляющее оборудование, и одновременно гарантировать защиту от сверхтоков на проводнике без рассеивания располагаемой мощности, обеспечивая высокий КПД.

Эта и иные цели достигаются настоящим изобретением с помощью способа по п.1 формулы изобретения и устройства по п.3 формулы изобретения.

Предпочтительные варианты осуществления и особые признаки заявленного изобретения описаны в зависимых пунктах формулы изобретения, составляющих неотъемлемую часть настоящего описания.

### **Краткое описание фигур**

Дополнительные характеристики и преимущества изобретения указаны в последующем подробном описании, которое представлено исключительно в качестве неограничивающего примера в привязке к прилагаемым чертежам, где

на фиг. 1 показан вид спереди одного из примеров осуществления модуля питания согласно настоящему изобретению, установленному на опоре электрораспределительной сети;

на фиг. 2 представлено схематическое перспективное изображение модуля питания, показанного на фиг. 1;

на фиг. 3 - эквивалентная электрическая схема модуля питания;

на фиг. 4а - график, иллюстрирующий характер изменения взаимной индукции в зависимости от размеров сердечника;

на фиг. 4б - график, иллюстрирующий характер изменения самоиндукции сердечника в зависимости от его размеров;

на фиг. 4с - график, иллюстрирующий характер изменения соотношения между взаимной индукцией и самоиндукцией сердечника в зависимости от его размеров;

на фиг. 5 - график, иллюстрирующий зависимость вырабатываемой мощности от первичного тока;

на фиг. 6 - виды спереди и сбоку опоры, снабженной модулем питания согласно изобретению;

на фиг. 7 показано продольное сечение одного из вариантов осуществления магнитного сердечника;

на фиг. 8 - поперечное сечение пластин сердечника;  
 на фиг. 9 - функциональная схема блока преобразования модуля питания; а  
 на фиг. 10-14 детально показаны части схемы, представленной на фиг. 9.

### Подробное раскрытие изобретения

В последующем описании все ссылки на линии электропередачи следует рассматривать как качественно независимые от формы опоры, количества проводников (одноцепная или двухцепная линия передачи) и напряжения электрода.

Способ и устройство (или модуль питания) согласно настоящему изобретению описаны последовательно в привязке к линии электропередачи, но они также применимы к отдельным проводникам, через которые проходит переменный электрический ток.

На фиг. 1 номером позиции 10 обозначен один из примеров осуществления модуля питания согласно настоящему изобретению. Модуль 10 питания установлен на опорной конструкции (такой как опора 12) одноцепной линии электропередачи с напряжением 380 кВ, которая целиком не показана.

На фиг. 1 показана только часть опоры 12, расположенная с одной стороны своей оси Х-Х симметрии. Опора 12 несет на себе центральный воздушный токопроводящий кабель 14, а также первый и второй боковые воздушные токопроводящие кабели 16а и 16б, из которых на фигурах показан только первый. Токопроводящие кабели 14, 16а и 16б образуют эффективную трехфазную систему распределения электроэнергии. Опора 12 также соединена по меньшей мере с одним молниезащитным тросом 18 воздушной линии.

На фиг. 2 представлено схематическое перспективное изображение модуля питания, показанного на фиг. 1. Модуль 10 питания содержит магнитный сердечник 20 длиной  $h$  и диаметром  $d$ , предпочтительно включающий ряд ферромагнитных стержней, который выполнен с возможностью передачи части потока магнитного поля, наводимого токопроводящими кабелями 14, 16а и 16б. Для упрощения и во избежание двусмысленного толкования на фиг. 2 показан только центральный токопроводящий кабель 14.

Сердечник 20 может располагаться на удалении от проводников 14, 16а и 16б; или же он может отстоять от них на заданное расстояние, равное в предпочтительном варианте 1 см на каждый кВ напряжения в проводниках 14, 16а и 16б (по воздуху).

Модуль 10 питания включает в себя проводящий соленоид 22, предпочтительно снабженный медной обмоткой с числом витков  $N$ , намотанных на магнитный сердечник 20. Проводящий соленоид 22 соединен с блоком 24 преобразования, подробно описанным ниже, который выполнен с возможностью преобразования части потока магнитного поля, передаваемого проводниками 14, 16а и 16б, магнитным сердечником 20 и соленоидом 22, в мощность (или ток), предназначенную для запитывания энергопотребляющего оборудования 26 согласно подробному описанию, представленному ниже.

Следовательно, магнитный сердечник 20 и проводящий соленоид 22 исполняют функцию средств преобразования, которые преобразуют часть потока магнитного поля, наводимого воздушными проводниками 14, 16а и 16б, в выходную мощность для запитывания энергопотребляющего оборудования 26, не вступая в электрический контакт с проводниками 14, 16а и 16б линии электропередачи.

Следует отметить, что расстояние между сердечником 20 и указанными проводниками (до 5 м), линейная форма самого сердечника (с незамкнутой магнитной цепью) и невозможность регулирования тока, протекающего в проводниках, делают представленную систему съема абсолютно уникальной для съема энергии магнитного поля с кабелей под напряжением с совершенно безопасных расстояний.

Описание физических принципов, на которых основана работа модуля 10 питания согласно настоящему изобретению, представлено ниже.

Для упрощения и во избежание двусмысленного толкования соображения, изложенные ниже, относятся к системе, включающей в себя модуль 10 питания и один центральный проводник 14.

Следовательно, центральный токопроводящий кабель 14, по которому течет переменный ток, представляет собой источник магнитного поля, называемый также первичной цепью. Магнитное поле, создаваемое первичной цепью, снимается магнитным сердечником 20, на котором располагается соленоид 22. Этот соленоид 22 также называется вторичной обмоткой или цепью.

Вторичная цепь запитывает энергопотребляющее оборудование 26, а модуль 10 питания должен обладать размерами, обеспечивающими передачу максимальной активной мощности.

Стержень из магнитного материала (магнитный сердечник 20), на который намотана обмотка (соленоид 22) и который помещен в магнитное поле, создаваемое однофазным прямолинейным проводником, таким как центральный проводник 14 (в отношении которого известным образом принято допущение, что линии передачи тока простираются до бесконечности), лежащий в плоскости, перпендикулярной самому стержню, подвергается воздействию двух магнитных потоков, таких как первичный магнитный поток  $\Phi_{PS}$  и вторичный магнитный поток  $\Phi_{SS}$ .

Первичный магнитный поток  $\Phi_{PS}$ , создаваемый первичным током  $I_p$ , протекающим через центральный проводник 14, соединяется с витками числом  $N$  вторичной обмотки 22, в результате чего образуется магнитный поток  $\Phi_p$  первичной обмотки, равный

$$\Phi_p = N * \Phi_{PS} \quad (1)$$

Вторичный магнитный поток  $\Phi_{S2}$ , создаваемый током, протекающим через соленоид 22, соединяется с витками числом  $N$  вторичной обмотки 22, в результате чего образуется магнитный поток  $\Phi_S$  вторичной обмотки, равный

$$\Phi_S = N * \Phi_{S2} \quad (2)$$

Магнитный поток  $\Phi_P$  первичной обмотки, создаваемый первичным током  $I_P$ , протекающим через центральный проводник 14, и соединяемый с магнитным сердечником 20, равен

$$\Phi_P = M * I_P \quad (3),$$

где  $M$  обозначает коэффициент взаимной индукции между центральным проводником 14 и вторичной обмоткой 22.

Этот магнитный поток  $\Phi_P$  первичной обмотки создает напряжение  $V_0$  холостого хода на  $N$ -м количестве витков вторичной обмотки 22, равное

$$V_0 = \omega * \Phi_P = \omega * M * I_P \quad (4),$$

где  $\omega$  обозначает угловую частоту.

На фиг. 3 показана функциональная схема магнитного сердечника 20, блока 24 преобразования и энергопотребляющего оборудования 26.

Эта схема включает в себя эквивалентный генератор 28 напряжения величиной  $\omega \cdot M \cdot I_P$ , отображающей напряжение  $V_0$  холостого хода; катушку 30 индуктивности величиной  $L$ , связанной известным образом с магнитным потоком  $\Phi_S$  вторичной обмотки; внутреннее сопротивление 32 величиной  $R_i$ , отображающей суммарные потери сердечника 20 и соленоида 22; конденсатор 34 емкости величиной  $C$ , отображающей блок 24 преобразования; и нагружающее сопротивление 36 величиной  $R_c$ , отображающей энергопотребляющее оборудование 26.

Возвращаясь к описанию физических принципов, на которых основана работа модуля 10 питания, следует отметить, что как потери в магнитном материале сердечника 20, так и потери, обусловленные вторичной обмоткой 22, должны в известном смысле временно не браться в расчет.

Это означает, что внутреннее сопротивление 32 имеет нулевое значение, а витки числом  $N$  замкнуты в цепь, содержащую только нагружающее сопротивление 36 и конденсатор 34 емкости, которая находится в полном резонансе с катушкой 30 индуктивности. В этом случае напряжение  $V_0$  холостого хода создает в соленоиде 22 вторичный ток  $I_S$ , равный

$$I_S = \frac{V_0}{R_c} = \frac{\omega * M * I_P}{R_c} \quad (5)$$

Этот ток создает магнитный поток  $\Phi_S$  вторичной обмотки, тесно связанный с магнитным сердечником 20.

Наличие магнитного потока  $\Phi_P$  первичной обмотки и магнитного потока  $\Phi_S$  вторичной обмотки порождает, соответственно, первичную индукцию  $B_P$  и вторичную индукцию  $B_S$ , которые могут быть записаны следующим образом:

$$B_P = \frac{M * I_P}{S * N} \quad (6); \text{ и}$$

$$B_S = \frac{L * I_S}{S * N} \quad (7),$$

где  $S$  обозначает сечение сердечника, а  $L$  обозначает индуктивность эквивалентной схемы.

Суммарная намагниченность  $B_g$  магнитного сердечника 20 задается результирующим вектором двух индукций:

$$\vec{B}_g = \vec{B}_P + \vec{B}_S \quad (8)$$

В условиях полного резонанса токи  $I_P$  и  $I_S$  сдвинуты по фазе относительно друг друга на  $90^\circ$ , равно как и векторы  $B_P$  и  $B_S$ .

Графики, представленные на фиг. 4а, 4б и 4с, используются для анализа значений (по модулю) векторов  $B_P$  и  $B_S$ . Эти графики являются результатом вычислений, выполненных автором настоящего изобретения, рассматривающего в целях указанных вычислений металлический стержень, расположенный на расстоянии 4 м от проводника, с относительной магнитной проницаемостью ( $\mu_r$ )  $10^5$ , 500 витками на вторичной обмотке и разными значениями длины  $h$  и диаметра  $d$ . Графики, показанные на фиг. 4а-4с, могут быть использованы для получения значений величин  $M$ ,  $L$  и  $\theta = M/L$ .

Например, при использовании стержня длиной  $h$ , равной 4 м, и диаметром 5 см значение величины  $\theta$  будет составлять приблизительно 0,0002.

Если вторичный ток  $I_S$  равен первичному току  $I_P$ , то соотношение  $B_P/B_S$  будет соответствовать значению  $\theta$ , т.е. 0,0002.

Это означает, что достаточно иметь вторичный ток  $I_S$ , равный 1 А, чтобы получить индукцию, эквивалентную той, которая создается первичным током  $I_P$  в 5000 А.

В режиме эксплуатации линии электропередачи первичный ток  $I_P$  обычно остается на уровне ниже 1500 А, в результате чего намагничивание магнитного сердечника 20 осуществляется, главным образом,

за счет вторичного тока  $I_S$  (и, следовательно, вторичной индукции  $B_S$ ).

Средняя мощность  $P_g$ , вырабатываемая проводником 14, сердечником 20 и соленоидом 22 на нагружающем сопротивлении  $R_C$ , определяется следующей формулой:

$$P_g = \frac{\omega * I_P * B_S * N * S * M}{L} \quad (9)$$

При условии, что  $\theta = M/L$ , можно записать

$$P_g = \omega * I_P * B_S * N * S * \theta \quad (10)$$

Если предположить, что  $\Delta = N \cdot S \cdot \theta$ , то получим

$$P_g = \omega * I_P * B_S * \Delta \quad (11)$$

График, представленный на фиг. 4с, показывает, что величина  $\theta$  пропорциональна длине магнитного сердечника 20 и не зависит от величины  $S$ . Более того, известно, что величина  $\theta$  обратно пропорциональна числу  $N$  витков.

Другие вычисления, аналогичные тем, которые описаны выше (полученные графики которых не показаны), выполненные автором настоящего изобретения, показали, что величина  $\theta$  также не зависит от относительной магнитной проницаемости  $\mu_r$  стержня в случае, если проницаемость  $\mu_r$  превышает 30000.

Выражения, приведенные выше, показывают, что коэффициент  $\Delta$  пропорционален длине магнитного сердечника 20 и величине  $S$ , но является постоянным в отношении величин  $N$  и  $\mu_r$ .

Это говорит о том, что на вырабатываемую мощность  $P_g$  напрямую влияет объем магнитного сердечника 20, но при этом она не зависит от величин  $N$  и  $\mu_r$  (для  $\mu_r > 30000$ ).

При анализе выражения (9) выявляется, что при всех прочих параметрах, таких как частота сети, материал сердечника 20, значение первичного тока  $I_P$  и пр., остающихся неизменными, вырабатываемая мощность  $P_g$  будет зависеть от объема сердечника 20. Это означает, что могут быть изготовлены сердечники разной массы, в зависимости от подаваемой мощности. В предпочтительном варианте сердечник 20 должен весить менее 100 кг.

Повышение первичного тока  $I_P$  увеличивает напряжение  $V_0$  холостого хода и, следовательно, также и вторичный ток  $I_S$  (и, соответственно, вторичную индукцию  $B_S$ ).

В случае отсутствия ограничений (свободно-колебательный режим) изменение первичного тока  $I_P$  приводит к увеличению вырабатываемой мощности  $P_g$  по квадратичному закону

$$P_g = \frac{(\omega * M * I_P)^2}{R_C} \quad (12)$$

Намагничивание в этом свободно-колебательном режиме прекращается, когда напряжение  $V_0$  холостого хода индуцирует вторичный ток  $I_S$ , который порождает вторичную индукцию  $B_{SS}$  насыщения на магнитном сердечнике 20, равную величине насыщения материала магнитного сердечника 20. Это происходит тогда, когда вторичный ток  $I_{SS}$  насыщения равен

$$I_{SS} = \frac{S * N * B_{SS}}{L} \quad (13)$$

Этот вторичный ток  $I_{SS}$  насыщения возникает тогда, когда первичный ток  $I_{PS}$  насыщения равен

$$I_{PS} = \frac{S * N * R_C * B_{SS}}{L * M * \omega} \quad (14)$$

По достижении этой величины насыщения материал магнитного сердечника 20 оказывается насыщенным, а снижение его магнитной проницаемости больше не обеспечивает соединение с первичным магнитным потоком  $\Phi_P$ , компенсируя индуцированное напряжение  $V_0$ ; взаимная индуктивность  $M$  стремится к нулю; и, следовательно, быстро снижается до нуля и вырабатываемая мощность  $P_g$ .

На фиг. 5 представлен график, иллюстрирующий вырабатываемую мощность  $P_g$  в зависимости от величины первичного тока  $I_P$ .

Первая кривая А показывает тренд в области свободных колебаний. Кривая А образуется двумя ветвями А' и А''.

Одно из решений проблемы снижения до нуля вырабатываемой мощности  $P_g$  согласно настоящему изобретению предусматривает воздействие на нагружающее сопротивление 36 при приближении вторичного тока  $I_S$  к вторичному току  $I_{SS}$  насыщения, чтобы остановить возрастание вторичного тока  $I_S$  при достижении пропускаемым током  $I_{SS1}$  определенного уровня, который ниже значения вторичного тока  $I_{SS}$  насыщения на заданную величину, например около 1%. Пропускаемый ток  $I_{SS1}$  должен оставаться на этой стадии постоянным в условиях возрастания первичного тока  $I_P$  (режим принудительного намагничивания).

Это состояние обозначено кривой В на фиг. 5. Кривая В образуется двумя ветвями А' и В'.

После этого магнитный сердечник 20 оказывается в состоянии ненасыщенной намагниченности, и напряжение  $V_0$  холостого хода может повышаться по мере возрастания первичного тока  $I_P$ , что приводит к повышению вырабатываемой мощности по линейному закону

$$P_g = V_0 * I_{SS1} = \omega * M * I_P * I_{SS1} \quad (15)$$

Вырабатываемая мощность  $P_g$  будет возрастать линейно до тех пор, пока индуцированная первич-

ным током  $I_p$  первичная индукция  $B_p$ , векторно сложенная с вторичной индукцией  $B_s$ , не обеспечит насыщение магнитного сердечника 20.

Для обеспечения достижения магнитным сердечником 20 уровня насыщения первичному току  $I_p$  по-прежнему необходимо достичь значений в несколько тысяч ампер, что дает возможность напряжению  $V_0$  холостого хода достичь значений, способных вывести из строя блок 24 преобразования.

Для предотвращения возникновения этой проблемы необходимо повторное регулирование намагничивания магнитного сердечника 20.

Блок 24 преобразования (фиг. 2), подробнее описанный ниже, снабжен датчиком напряжения. Этот датчик, обнаружив, что напряжение, подаваемое на энергопотребляющее оборудование 26 (т.е. входное напряжение преобразователя, описанного ниже), достигает предельного значения (предпочтительно максимального значения напряжения, допустимого электронными компонентами или рассеянием тепла системы), позволяет вторичному току  $I_s$  превысить пропускаемый ток  $I_{SS1}$ . Это приводит к насыщению магнитного сердечника 20, вследствие чего уменьшается напряжение, подаваемое на энергопотребляющее оборудование 26, и, соответственно, вырабатываемая мощность  $P_g$  (режим принудительного насыщения).

Это состояние обозначено кривой С на фиг. 5. Кривая С образуется слиянием ветвей А', В' и С.

Этот режим также полезен в тех случаях, когда необходимо ограничить мощность, подаваемую на энергопотребляющее оборудование 26, и защитить блок 24 преобразования от сверхтоков (например, коротких замыканий на линии).

Представленное выше описание физических принципов, на которых основана работа модуля 10 питания, учитывает только ту мощность  $P_g$ , которая передается магнитному сердечнику 20 током, проходящим через центральный проводник 14.

Если же учитывать, что ток проходит по всем трем кабелям 14, 16а и 16б, то мощность, передаваемая сердечнику 20, будет варьироваться в зависимости от относительного положения сердечника 20 относительно этих кабелей. Для увеличения мощности, передаваемой сердечнику 20, в сравнении с описанным выше случаем сердечник 10 (а, следовательно, и модуль 10 питания) устанавливается в определенной точке опоры 12 так, что один из кабелей 14, 16а и 16б оказывается справа от сердечника 20, а остальные два кабеля - слева от сердечника 20.

Таким образом, магнитный поток, который создается кабелем, расположенным справа от сердечника 20, складывается с результирующим вектором магнитного потока, который создается кабелями, расположенными слева от сердечника 20.

На фиг. 6, рассмотренной ниже в качестве примера, представлены два вида, иллюстрирующие опору 12 (в данном случае опору на 150 кВ), на которой установлен модуль 10 питания.

На фиг. 6а показан вид опоры 12 спереди (т.е. токопроводящие кабели 38, 40 и 42, соответствующие кабелям 14, 16а и 16б опоры на 380 кВ, показанной на фиг. 1, расположены перпендикулярно плоскости фигуры).

На фиг. 6б показан вид опоры 12 сбоку (т.е. токопроводящие кабели 38, 40 и 42, соответствующие кабелям 14, 16а и 16б опоры на 380 кВ, показанной на фиг. 1, расположены параллельно плоскости фигуры).

Расположение сердечника 20 относительно трех токопроводящих кабелей 38, 40 и 42 так, как это показано на фиг. 6, приводит к повышению вырабатываемой мощности  $P_g$  приблизительно на 60% в сравнении со случаем, в котором предусмотрен лишь один проводник 40.

На фиг. 6б также показаны устройства 44 для подвешивания и крепления, обеспечивающие опору для модуля 10 питания. Эти устройства 44 для подвешивания и крепления могут быть выполнены из магнитного или немагнитного материала. Все соображения, изложенные до сих пор (и ниже), относятся к использованию устройств 44 для подвешивания и крепления, выполненных из немагнитного материала, которые изолируют в магнитном отношении модуль 10 питания от опоры 12. Вышеупомянутые соображения также действительны в том случае, если используются устройства 44 для подвешивания и крепления, выполненные из магнитного материала. В этом случае как устройство 44 крепления, так и опора 12 должны рассматриваться как часть модуля 10 питания (в частности, часть сердечника 20).

В одном из вариантов осуществления настоящего изобретения для повышения вырабатываемой мощности  $P_g$  используется трубчатый сердечник 20, сечение  $S$  стенки которого постепенно и симметрично уменьшается (в направлении от центра сердечника 20 к его концам) так, что вторичная индукция  $B_s$  остается постоянной по всей длине продольной оси сердечника.

Это дает сердечник, который передает большее количество вырабатываемой мощности  $P_g$  при такой же массе сердечника или такую же вырабатываемую мощность  $P_g$  при меньшей массе сердечника.

На фиг. 7 показано продольное сечение сердечника 20 согласно этому варианту осуществления настоящего изобретения.

Как уже было сказано, представленное выше описание физических принципов, на которых основана работа модуля 10 питания, не учитывает как потери в магнитном материале сердечника 20, так и потери, обусловленные вторичной обмоткой 22.

Если принять в расчет эти потери (и, следовательно - в привязке к фиг. 3 - внутреннее сопротивление 32, равное величине  $R_1$ , превышающей ноль), то можно увидеть, что фактическая мощность, пода-

ваемая на нагрузку  $P_U$ , равна

$$P_U = P_g - P_p \quad (16),$$

где  $P_g$  обозначает вырабатываемую мощность, а  $P_p$  обозначает потерю мощности.

Эта потеря  $P_p$  мощности определяется суммой потерь на гистерезис и потерь на вихревые токи в сердечнике 20, а также рассеянием в металле вторичной обмотки 22.

Анализ работы модуля 10 питания в режиме принудительного намагничивания показывает, что потери в металле вторичной обмотки 22 связаны с пропускаемым током  $I_{SS1}$  и поэтому являются постоянными.

Подобным же образом потери в сердечнике 20, обусловленные гистерезисом или вихревыми токами, зависят от вторичной индукции  $B_s$ , которая, в свою очередь, зависит от пропускаемого тока  $I_{SS1}$ .

Поскольку пропускаемый ток  $I_{SS1}$  является постоянным, вторичная индукция  $B_s$  также постоянна, и, соответственно, потери в сердечнике 20 также постоянны.

Вышеизложенное подводит к выводу о том, что в режиме принудительного намагничивания при постоянной величине потери  $P_p$  мощности КПД модуля 10 питания будет повышаться по мере возрастания первичного тока  $I_p$  и, следовательно, вырабатываемой мощности  $P_g$ .

Для минимизации потери  $P_p$  мощности и, в частности, для уменьшения ее составляющих на гистерезис и вихревые токи в сердечнике 20 применяются следующие решения:

изготовление сердечника 20 из нанокристаллических или аморфных магнитных материалов в виде тонких лент с толщиной предпочтительно менее 30 мкм, шириной предпочтительно менее 2 см и потерями в расчете на один кг массы предпочтительно менее 0,1 Вт;

разработка сердечника 20 с полым сечением (см. фиг. 8), которое образуется за счет размещения полосок магнитного материала вдоль вертикальной оси сердечника, а также их размещения перпендикулярно радиальной составляющей магнитного потока (так, что магнитный поток воздействует на минимально возможную площадь поверхности); и

разработка сердечника удлиненной формы.

Фиг. 4а и 4b, а также выражения 4 и 9, подводят к выводу о том, что для достижения высокого напряжения  $V_0$  холостого хода и, следовательно, низких потерь необходим высокий показатель соотношения между длиной сердечника и его диаметром (предпочтительно более 20).

Для достижения высокой энергоёмкости с одновременным поддержанием тока, подаваемого на энергопотребляющее оборудование 26, на уровне нескольких ампер (чтобы в блоке 24 преобразования можно было использовать стандартные электронные компоненты), магнитный сердечник 20 должен характеризоваться индуктивностью, предпочтительно равной 2 Гн.

Эта высокая индуктивность должна быть компенсирована для обеспечения корректного согласования чисто активного полного сопротивления (т.е. энергопотребляющее оборудование 26 представлено чистоактивным нагружающим сопротивлением 36).

Изменчивость параметров и геометрии как в магнитном сердечнике 20, так и в устройствах 44 для подвешивания и крепления требует включения в блок 14 преобразования, что подробнее описано ниже, контрольно-регулирующего устройства (цепи управления, описанной ниже) для регулирования передачи мощности. Это регулирование осуществляется в зависимости от тока, подаваемого на энергопотребляющее оборудование 26.

Блок 24 преобразования подробнее описан ниже в привязке к фиг. 9 и последующим фигурам.

На фиг. 9 показана функциональная схема блока 24 преобразования модуля 10 питания согласно настоящему изобретению.

Помимо блока 24 преобразования на указанной фигуре показаны также магнитный сердечник 20 и энергопотребляющее оборудование 26.

Блок 24 преобразования представляет собой цепь, которая включает в себя блок 46 переменной емкости, модуль 48 защиты от перенапряжений, выпрямитель 50, сглаживающий конденсатор 52, преобразователь 54 постоянного тока в постоянный, измеритель 56 напряжений аккумулятора, аккумулятор 58 и цепь 60 управления.

Разные части схемы, показанной на фиг. 9, описаны ниже в привязке к фиг. 10 и последующим фигурам, начиная с упрощенной версии указанных частей с постепенным добавлением разных элементов, потребных для получения окончательной конфигурации, показанной на фиг. 9. Также описан принцип работы указанных частей с тем, чтобы можно было понять, как работает блок 24 преобразования в целом.

На фиг. 10 представлена первая часть схемы, показанной на фиг. 9.

Как было указано выше, магнитный сердечник 20 характеризуется индуктивно-реактивной составляющей, которая должна быть компенсирована емкостным реактивным сопротивлением блока 24 преобразования с тем, чтобы полное сопротивление цепи было представлено лишь сопротивлением потерь различных компонентов. Для этого предусмотрен блок 46 переменной емкости (подробнее описанный ниже), соединенный с соленоидом 22 через первое соединительное ответвление 150.

Наличие первичного тока  $I_p$  в центральном проводнике 14 (не показан на фигуре) порождает, как было описано выше, вторичный ток  $I_s$ , который представляет собой переменный ток, протекающий через

первое соединительное ответвление 150.

Напряжение  $V_{ac}$  переменного тока соотносится с вторичным током  $I_S$ .

Блок 46 переменной емкости соединен посредством первого соединительного ответвления 150 с выпрямителем 50, который, в свою очередь, соединен с соленоидом 22 посредством второго соединительного ответвления 152.

Мощность на клеммах выпрямителя 50, вырабатываемая проводником 14, магнитным сердечником 20 и соленоидом 22 (вырабатываемая мощность  $P_g$ , описанная выше), повышается до тех пор, пока вторичный ток  $I_S$  не достигнет уровня вторичного тока  $I_{SS}$  насыщения, после чего, если вторичный ток  $I_S$  продолжает возрастать, эта мощность  $P_g$  падает практически до нуля.

Вырабатываемая мощность  $P_g$  на входе выпрямителя 50 записывается следующим образом:

$$P_g = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} V_{ac} * I_S \quad (17),$$

и преобразуется выпрямителем 50 (и преобразователем 54, подробнее описанным ниже), за вычетом потерь на выпрямление и преобразование, в отдаваемую выходную мощность

$$P_U = V_{dc} * I_{dc} \quad (18),$$

где  $V_{dc}$  обозначает напряжение постоянного тока, присутствующее на клеммах энергопотребляющего оборудования 26 (или, что подробнее описано ниже, присутствующее на входе преобразователя 54 постоянного тока в постоянный и преобразуемое так, как это описано ниже), а  $I_{dc}$  обозначает постоянный ток, протекающий через третье соединительное ответвление 154, соединяющее выпрямитель 50 с энергопотребляющим оборудованием 26.

С учетом того, что вторичный ток  $I_S$  является синусоидальным, его среднеквадратическое значение согласуется с величиной постоянного тока  $I_{dc}$ , и поэтому регулирование последнего дает возможность регулировать вторичный ток  $I_S$ .

Сглаживающий конденсатор 52, подключенный параллельно выпрямителю 50, используется для снижения пульсаций выходного напряжения выпрямителя 50.

На фиг. 11 показана та же часть схемы, что показана на фиг. 10, но с добавлением некоторых компонентов, в частности преобразователя 54 постоянного тока в постоянный и аккумулятора 58.

Постоянный ток  $I_{dc}$  поступает в преобразователь 54 до того, как он достигнет энергопотребляющего оборудования 26. Преобразователь 54 включает преобразователь 62 тока, выполненный с возможностью приема постоянного тока  $I_{dc}$  и его преобразования в напряжение  $V_{idc}$  сравнения.

В качестве альтернативы вышеизложенному вторичный ток  $I_S$  преобразуется непосредственно в напряжение  $V_{idc}$  сравнения с помощью известного преобразователя или регулируется с помощью известного преобразователя магнитного поля, который располагается в магнитном сердечнике 20 и который генерирует напряжение  $V_{Bdc}$  сравнения, согласующееся с  $V_{idc}$ .

Напряжение  $V_{idc}$  сравнения сопоставляется с опорным напряжением  $V_{ref}$  с помощью усилителя 64 ошибки, причем указанный усилитель 64 ошибки вырабатывает ток  $I_{ref}$  сравнения, который подается в модуль 66 ШИМ (широтно-импульсная модуляция). Указанный модуль 66 ШИМ соединен известным образом с усилителем 64 ошибки по контуру обратной связи и выполнен с возможностью выработки выходного тока  $I_{dc1}$ . Следовательно, модуль 66 ШИМ поддерживает постоянным выходной ток  $I_{dc1}$  за счет контура обратной связи с усилителем 64.

Изменяя опорное напряжение  $V_{ref}$  известным способом, можно определить уровень выходного тока  $I_{dc1}$ , по достижении которого будет осуществляться съем энергии с магнитного сердечника 20.

Преобразователь 54 преобразует энергию, снятую с магнитного сердечника 20, в энергию, накапливаемую в аккумуляторе 58. Следовательно, в качестве входной мощности преобразователь 54 использует ток постоянной величины (постоянный ток  $I_{dc}$ ) и регулируемое напряжение (напряжение  $V_{dc}$  постоянного тока), зависящие от располагаемой мощности магнитного сердечника 20, и преобразует указанную мощность за вычетом КПД в постоянное напряжение, подаваемое на аккумулятор 58, и в переменный ток  $I_{dc1}$ , подаваемый на энергопотребляющее оборудование 26.

На фиг. 12 представлена часть схемы, показанной на фиг. 11, но с добавлением к преобразователю 54 некоторых компонентов.

На неинвертирующем плече усилителя 64 размещается первое делительное сопротивление  $R1$ , соединенное последовательно со вторым делительным сопротивлением  $R2$ , причем указанные сопротивления  $R1$  и  $R2$  соединены по параллельной схеме со сглаживающим конденсатором 52, а второе делительное сопротивление  $R2$  соединено по параллельной схеме с первым зенеровским диодом 68. Опорное напряжение  $V_{ref}$  получается за счет подачи напряжения  $V_{dc}$  постоянного тока, присутствующего на клеммах сглаживающего конденсатора 52, на делитель преобразователя 54.

Изменяя коэффициент деления

$$R = \frac{R2}{R1 + R2} \quad (19),$$

можно регулировать величину сопротивления преобразователя 54.

В линейном режиме максимальная передача мощности с магнитного сердечника 20 на энергопо-



требляющее оборудование 26 происходит тогда, когда сопротивление энергопотребляющего оборудования 26 равно эквивалентному сопротивлению потерь блока 24 преобразования. Вырабатываемая мощность  $P_g$ , передаваемая с магнитного сердечника 20 на энергопотребляющее оборудование 26, будет возрастать в квадрате до тех пор, пока величина вторичного тока  $I_S$  не приблизится к вторичному току  $I_{SS}$  насыщения, который соответствует входному напряжению преобразователя 54 (напряжению  $V_{dc}$  постоянного тока), равному

$$V_{\text{вход}} = I_{dc} * R \quad (20)$$

Когда входное напряжение преобразователя 54 достигает напряжения  $V_{\text{switch}}$ , зенеровский диод 68 становится проводящим; постоянный ток  $I_{dc}$  (и, следовательно, выходной ток  $I_{dc1}$ ) больше не может возрасти; и, следовательно, вырабатываемая мощность  $P_g$  начинает увеличиваться по линейному закону по мере нарастания первичного тока  $I_p$ .

Когда напряжение  $V_{\text{switch}}$  постоянного тока становится равным опорному напряжению  $V_{\text{ref}}$  насыщения, происходит насыщение преобразователя 54; и, соответственно, при повышении первичного тока  $I_p$  вторичный ток  $I_S$  (а, следовательно, также и сопутствующий постоянный ток  $I_{dc}$  и выходной ток  $I_{dc1}$ ) остается заблокированным на уровне вторичного тока  $I_{SS}$  насыщения.

Таким образом, для обеспечения корректной работы блока 24 преобразования параметру  $V_{\text{ref}}$  присваивается значение, которое на заданную величину (например, 1%) меньше напряжения  $V_{\text{switch}}$  насыщения, вследствие чего выходной ток  $I_{dc1}$  остается равным пороговому значению, связанному с величиной пропускаемого тока  $I_{SS1}$  (т.е. вторичный ток  $I_S$  считается равным пропускаемому току  $I_{SS1}$ ; и поэтому, с учетом того, что вторичный ток  $I_S$  связан, как это описано выше, с выходным током  $I_{dc1}$ , последний должен поддерживаться равным пороговому значению с тем, чтобы сопутствующий вторичный ток  $I_S$  был равен пропускаемому току  $I_{SS1}$ ).

В альтернативном варианте выходной ток  $I_{dc1}$  может регулироваться с использованием известного преобразователя магнитного поля, установленного в магнитном сердечнике 20.

Отдаваемая мощность  $P_U$ , которая достигает энергопотребляющего оборудования 26, определяется, как это указано выше, разницей между вырабатываемой мощностью  $P_g$  и потерями.

На фиг. 13 представлена та же часть схемы, что показана на фиг. 12, но с добавлением к преобразователю 54 еще некоторых компонентов.

В частности, к неинвертирующему плечу усилителя 65 добавляется третье сопротивление  $R3$ , а четвертое сопротивление  $R4$  и второй зенеровский диод 70, соединенный последовательно с четвертым сопротивлением  $R4$ , связаны между собой на участке между точкой 72 соединения, расположенной на неинвертирующем плече усилителя 64 (между первым сопротивлением  $R1$  и преобразователем 62 тока), и неинвертирующей клеммой усилителя 64.

Второй зенеровский диод 70, третье сопротивление  $R3$  и четвертое сопротивление  $R4$  вместе образуют датчик напряжения, упомянутый на странице 9.

Вырабатываемая мощность  $P_g$  возрастает линейно по мере изменения первичного тока до максимально возможного значения, равного

$$P_{\text{max}} = I_{\text{sat}} * V_{\text{MAX}} \quad (21),$$

где  $V_{\text{MAX}}$  обозначает напряжение  $V_{dc}$  постоянного тока, равное напряжению проводимости второго зенеровского диода 70. Таким образом, по достижении этого напряжения  $V_{\text{MAX}}$  проводимости второй зенеровский диод 70 становится проводящим и с помощью резистивного делителя, образованного третьим и четвертым сопротивлениями  $R3$  и  $R4$ , начинает повышать постоянный ток  $I_{dc}$  (и, следовательно, выходной ток  $I_{dc1}$ ). Это приводит к соответствующему возрастанию вторичного тока  $I_S$  до тех пор, пока тот не достигнет величины вторичного тока  $I_{SS}$  насыщения.

Таким образом, вырабатываемая мощность  $P_g$  уменьшается, а возрастание напряжения  $V_{dc}$  прекращается.

На фиг. 14 представлена та же часть схемы, что показана на фиг. 13, но с добавлением к неинвертирующему плечу усилителя 64 переключателя 74, выполненного с возможностью размыкания цепью 60 управления (тем самым обнуляя опорное напряжение  $V_{\text{ref}}$ ), если требуется компенсировать мощность, подаваемую на энергопотребляющее оборудование (например, по достижении аккумулятором 58 максимального напряжения аккумуляирования).

В качестве альтернативы вышеизложенному блок 24 преобразования выдает переменный ток  $I_{ac}$  (вместо постоянного тока  $I_{dc}$ ), который затем преобразуется известным способом в постоянный ток, подаваемый на энергопотребляющее оборудование 26. В этом случае в состав блока преобразования не входит выпрямитель 50.

Как показано на фиг. 9, блок 46 переменной емкости обеспечивает преимущество, состоящее в том, что он включает в себя конденсатор 46а постоянной емкости, настроечный конденсатор 46б и конденсатор 46с переменной емкости, причем указанные конденсаторы регулируются известным способом цепью 60 управления для изменения величины суммарной емкости блока 46 с тем, чтобы компенсировать реактивную составляющую соленоидов 22. Настроечный конденсатор 46б может отключаться переключателем 76, который управляется цепью 60 управления, переводя систему в состояние полного отсутствия резо-

нанса с тем, чтобы компенсировать переток мощности в блок 24 преобразования.

Также предусмотрен переключатель 78, управляемый цепью 60 управления, который используется для соединения блока 46 переменной емкости с первым соединительным ответвлением 150 для запуска преобразования мощности. Третий переключатель 80 управляется модулем 48 защиты от перенапряжений для закорачивания вторичного тока  $I_S$  с целью предотвращения выдачи мощности на энергопотребляющее оборудование 26 в случае аварии. В альтернативном варианте переключатель 80 приводится в действие цепью 60 управления.

Разумеется, безотносительно принципов изобретения, варианты осуществления и признаки вариантов осуществления заявленного изобретения могут существенно отличаться от описания и чертежей, которые носят исключительно иллюстративный характер, не выходя, таким образом, за пределы объема настоящего изобретения, который определяется прилагаемой формулой.

#### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ съема мощности, предназначенной для запитывания энергопотребляющего оборудования (26), с проводника (14, 16a и 16b), через который проходит первичный электрический ток ( $I_P$ ), причем указанный способ отличается тем, что он включает в себя следующие стадии:

установку в определенном положении на удалении от указанного проводника (14, 16a и 16b) сердечника (20), выполненного из магнитного материала, и проводящего соленоида (22), намотанного на указанный сердечник (20), с целью получения вторичного тока ( $I_S$ ) в соленоиде (22) за счет магнитного потока, создаваемого в указанном соленоиде (22) указанным проводником (14, 16a и 16b), сердечником (20) и соленоидом (22); причем указанный проводящий соленоид (22) соединен с энергопотребляющим оборудованием (26) через устройство (24) преобразования, выполненное с возможностью преобразования указанного вторичного тока ( $I_S$ ) в мощность ( $P_g$ ), предназначенную для запитывания энергопотребляющего оборудования (26) через сопутствующее напряжение ( $V_{dc}$  и  $V_{ac}$ ) и выходной ток ( $I_{dc1}$ ,  $I_{ac}$ );

при возрастании мощности ( $P_g$ ), подаваемой на энергопотребляющее оборудование (26), вследствие неконтролируемого повышения первичного тока ( $I_P$ ) прекращение подачи выходного тока ( $I_{dc1}$  и  $I_{ac}$ ) по достижении порогового значения, соотносимого со значением пропускаемого тока ( $I_{SS1}$ ), которое на заданную величину меньше значения вторичного тока ( $I_{SS}$ ) насыщения магнитного материала сердечника (20); и

при возрастании мощности ( $P_g$ ), подаваемой на энергопотребляющее оборудование (26), вследствие дальнейшего неконтролируемого повышения первичного тока ( $I_P$ ) детектирование значения напряжения ( $V_{dc}$  и  $V_{ac}$ ), подаваемого на энергопотребляющее оборудование (26); и по достижении заданного порогового значения ( $V_{MAX}$ ) подача выходного тока ( $I_{dc1}$  и  $I_{ac}$ ), превышающего указанное пороговое значение, что инициирует насыщение сердечника (20) и, соответственно, снижение мощности ( $P_g$ ), подаваемой на энергопотребляющее оборудование (26),

причем выработка мощности ( $P_g$ ) для запитывания энергопотребляющего оборудования (26) через сопутствующее напряжение ( $V_{dc}$  и  $V_{ac}$ ) и выходной ток ( $I_{dc1}$  и  $I_{ac}$ ) обеспечивается посредством следующих стадий:

преобразование вторичного тока ( $I_S$ ) в напряжение ( $V_{Idc}$ ) сравнения с использованием преобразователя тока (62);

сопоставление напряжения ( $V_{Idc}$ ) сравнения с опорным напряжением ( $V_{ref}$ ) для выработки тока ( $I_{ref}$ ) сравнения с применением усилителя (64) ошибки, соединенного с преобразователем (62) тока;

выработка выходного тока ( $I_{dc1}$ ,  $I_{ac}$ ), подаваемого на энергопотребляющее оборудование (26) с применением модуля (66) ШИМ в контуре обратной связи с усилителем (64) ошибки;

регулирование выходного тока ( $I_{dc1}$ ,  $I_{ac}$ ) посредством первого делительного сопротивления ( $R1$ ), соединенного последовательно со вторым делительным сопротивлением ( $R2$ ), причем указанные первое и второе сопротивления ( $R1$  и  $R2$ ) расположены на неинвертирующем плече усилителя (64); и первого зенеровского диода (68), соединенного по параллельной схеме со вторым делительным сопротивлением ( $R2$ ); и

вызывание превышения выходным током ( $I_{dc1}$ ,  $I_{ac}$ ) первого порогового значения, связанного со вторичным током ( $I_{SS}$ ) насыщения, для насыщения магнитного материала сердечника (20), с применением третьего делительного сопротивления ( $R3$ ), установленного на неинвертирующем плече усилителя (64), четвертого делительного сопротивления ( $R4$ ) и второго зенеровского диода (70), причем указанный второй зенеровский диод (70) соединен по последовательной схеме с указанным четвертым сопротивлением ( $R4$ ), а указанное четвертое делительное сопротивление ( $R4$ ) и указанный второй зенеровский диод (70) связаны между собой на участке между точкой (72) соединения, расположенной на неинвертирующем плече усилителя (64) между первым делительным сопротивлением ( $R1$ ) и преобразователем (62) тока, и неинвертирующей клеммой усилителя (64).

2. Способ по п.1, в котором стадия проверки достижения выходным током ( $I_{dc1}$ ,  $I_{ac}$ ) первого порогового значения предусматривает стадию определения момента, когда напряжение ( $V_{dc}$ ,  $V_{ac}$ ), подаваемое на энергопотребляющее оборудование (26), достигает значения, приближенного к заданному значению ( $V_{switch}$ ).

3. Устройство (10) для съема мощности, предназначенной для запитывания энергопотребляющего оборудования (26), с проводника (14, 16a и 16b), через который проходит первичный электрический ток ( $I_p$ ), причем указанное устройство (10) отличается тем, что оно содержит сердечник (20), выполненный из магнитного материала, и проводящий соленоид (22), намотанный на указанный сердечник (20) и соединенный с энергопотребляющим оборудованием (26), причем указанный сердечник (20) и соленоид (22) располагаются на удалении от указанного проводника (14, 16a и 16b); и блок (24) преобразования, соединенный с соленоидом (22) и предназначенный для соединения с энергопотребляющим оборудованием (26); при этом указанный блок (24) преобразования выполнен с возможностью преобразования по меньшей мере части магнитного потока, создаваемого в указанном соленоиде (22) указанным проводником (14, 16a и 16b), магнитным сердечником (20) и соленоидом (22), в мощность ( $P_g$ ), предназначенную для запитывания энергопотребляющего оборудования (26), не вступая в электрический контакт с указанным проводником (14, 16a и 16b); а указанный блок (24) преобразования включает в себя преобразователь (54), выполненный с возможностью приема вторичного тока ( $I_s$ ), связанного с мощностью ( $P_g$ ), выдаваемой за счет указанного магнитного потока, и его преобразования в выходной ток ( $I_{dc1}$ ,  $I_{ac}$ ), подаваемый на энергопотребляющее оборудование (26); а также тем, что указанный блок преобразования выполнен с возможностью: при возрастании мощности ( $P_g$ ), подаваемой на энергопотребляющее оборудование (26), вследствие неконтролируемого повышения первичного тока ( $I_p$ ) прекращения подачи выходного тока ( $I_{dc1}$ ,  $I_{ac}$ ) по достижении порогового значения, соотносимого со значением пропускаемого тока ( $I_{SS1}$ ), которое на заданную величину меньше значения вторичного тока ( $I_{SS}$ ) насыщения магнитного материала сердечника (20); и при возрастании мощности ( $P_g$ ), подаваемой на энергопотребляющее оборудование (26), вследствие дальнейшего неконтролируемого повышения первичного тока ( $I_p$ ) детектирования значения напряжения ( $V_{dc}$  и  $V_{ac}$ ), подаваемого на энергопотребляющее оборудование (26); и по достижении заданного порогового значения ( $V_{MAX}$ ) подачи выходного тока ( $I_{dc1}$ ,  $I_{ac}$ ), превышающего указанное пороговое значение, что инициирует насыщение сердечника (20) и, соответственно, снижение мощности ( $P_g$ ), подаваемой на энергопотребляющее оборудование (26),

причем блок (24) преобразования дополнительно содержит выпрямитель (50), выполненный с возможностью приема вторичного тока ( $I_s$ ) и его преобразования в промежуточный ток ( $I_{dc}$ ),

а преобразователь (54) включает в себя

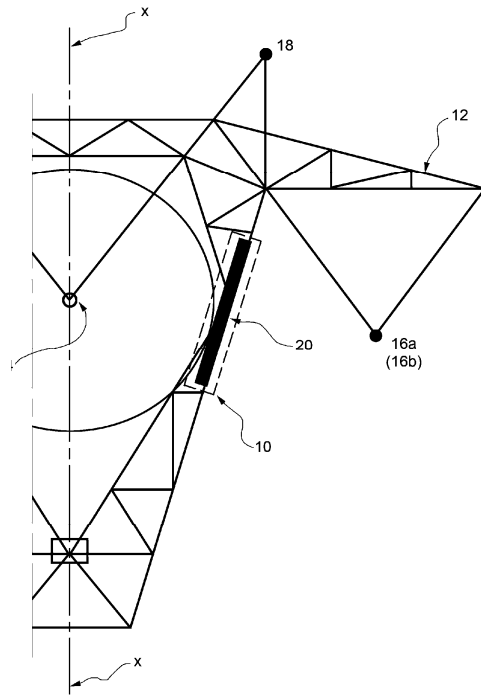
преобразователь (62) тока, выполненный с возможностью приема промежуточного тока ( $I_{dc}$ ) и его преобразования в напряжение ( $V_{Idc}$ ) сравнения;

усилитель (64) ошибки, соединенный с преобразователем (62) тока, который выполнен с возможностью сопоставления указанного напряжения ( $V_{Idc}$ ) сравнения с опорным напряжением ( $V_{ref}$ ) и выработки тока ( $I_{ref}$ ) сравнения;

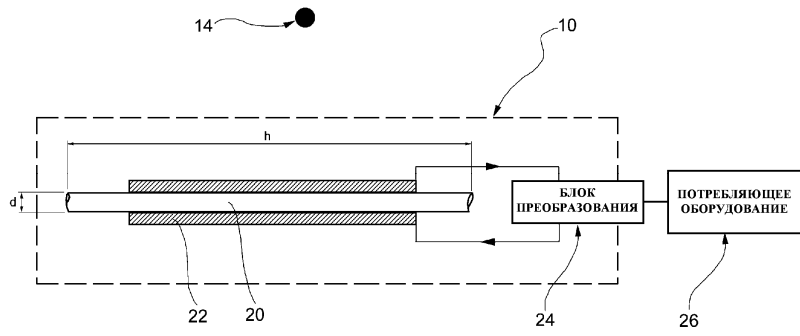
модуль (66) ШИМ в контуре обратной связи с усилителем (64) ошибки, который выполнен с возможностью приема тока ( $I_{ref}$ ) сравнения и генерирования выходного тока ( $I_{dc1}$ ,  $I_{ac}$ ),

первое делительное сопротивление ( $R1$ ), соединенное последовательно со вторым делительным сопротивлением ( $R2$ ), причем указанные первое и второе сопротивления ( $R1$  и  $R2$ ) располагаются на неинвертирующем плече усилителя (64); и первый зенеровский диод (68), соединенный по параллельной схеме со вторым делительным сопротивлением ( $R2$ ); при этом указанные первое и второе делительные сопротивления ( $R1$  и  $R2$ ) и указанный первый зенеровский диод (68) выполнены с возможностью регулирования выходного тока ( $I_{dc1}$ ,  $I_{ac}$ ), а также

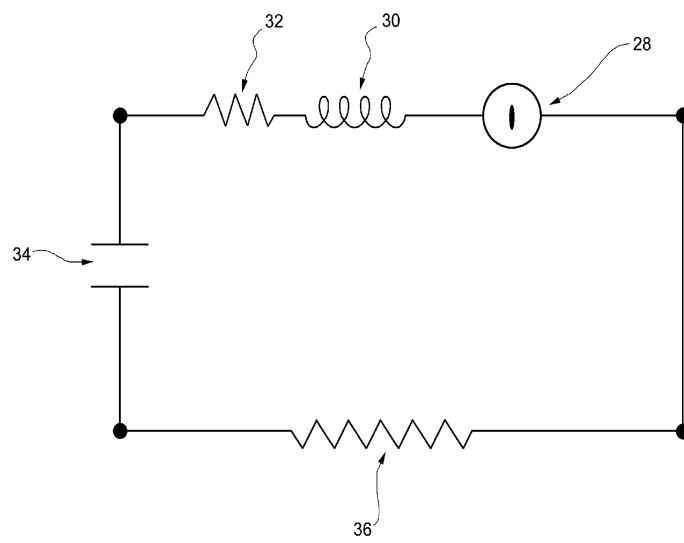
третье делительное сопротивление ( $R3$ ), установленное на неинвертирующем плече усилителя (64); и четвертое делительное сопротивление ( $R4$ ) и второй зенеровский диод (70), соединенный по последовательной схеме с указанным четвертым сопротивлением ( $R4$ ), причем указанное четвертое делительное сопротивление ( $R4$ ) и указанный второй зенеровский диод (70) связаны между собой на участке между точкой (72) соединения, расположенной на неинвертирующем плече усилителя (64) между первым делительным сопротивлением ( $R1$ ) и преобразователем (62) тока, и неинвертирующей клеммой усилителя (64); при этом указанные третье и четвертое делительные сопротивления ( $R3$  и  $R4$ ) и указанный второй зенеровский диод (70) выполнены с возможностью, позволяющей выходному току ( $I_{dc1}$ ,  $I_{ac}$ ) превышать первое пороговое значение, связанное с вторичным током ( $I_{SS}$ ) насыщения, для насыщения магнитного материала сердечника (20).



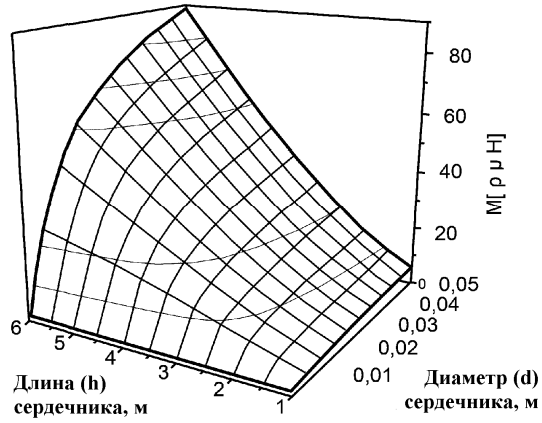
Фиг. 1



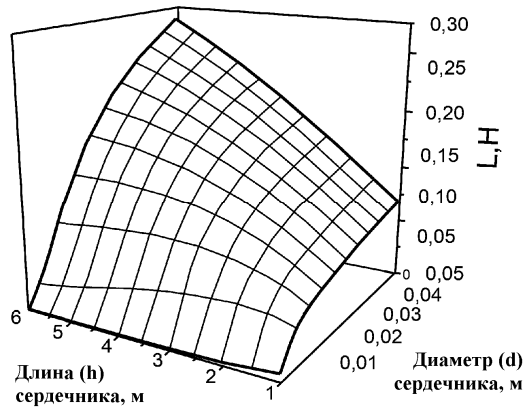
Фиг. 2



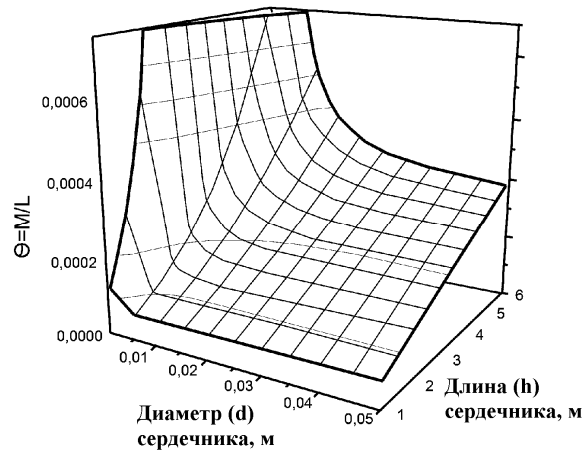
Фиг. 3



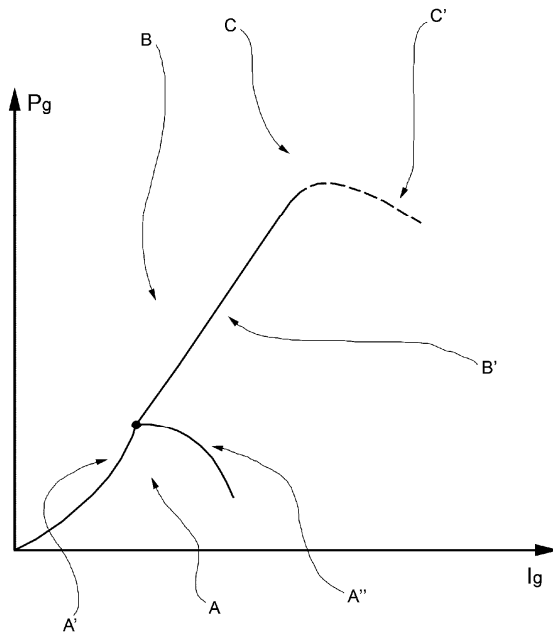
Фиг. 4а



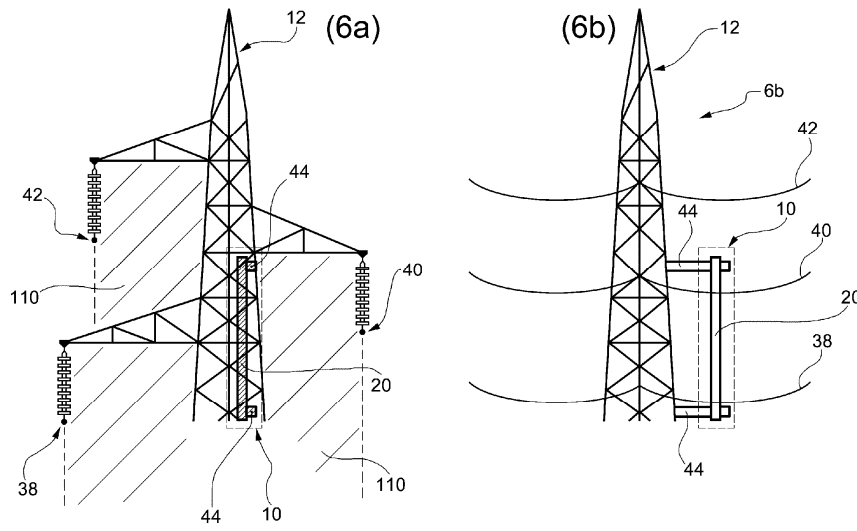
Фиг. 4b



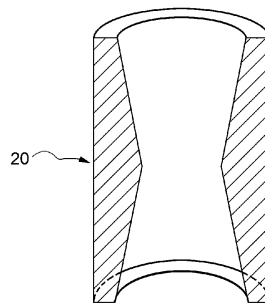
Фиг. 4с



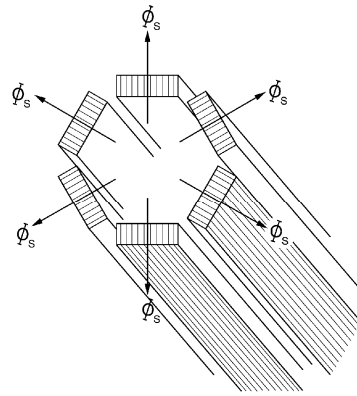
Фиг. 5



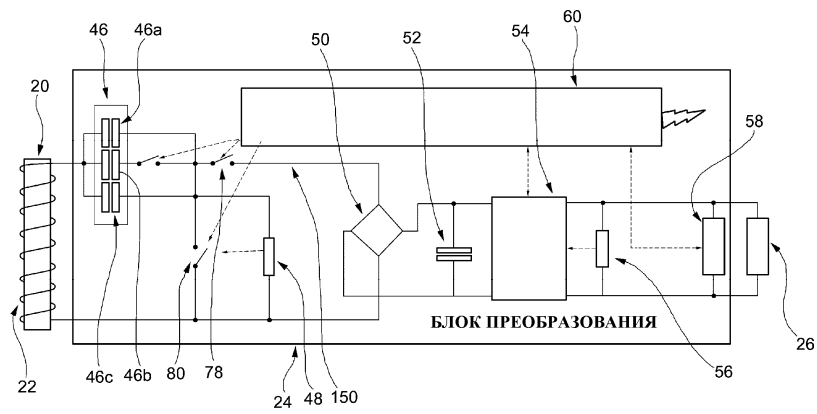
Фиг. 6



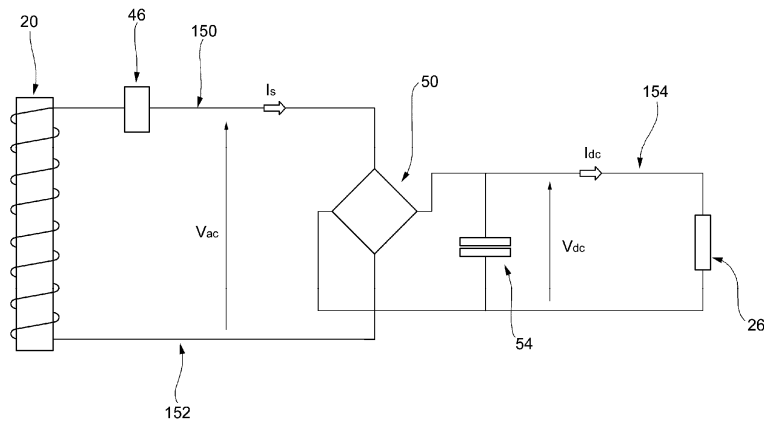
Фиг. 7



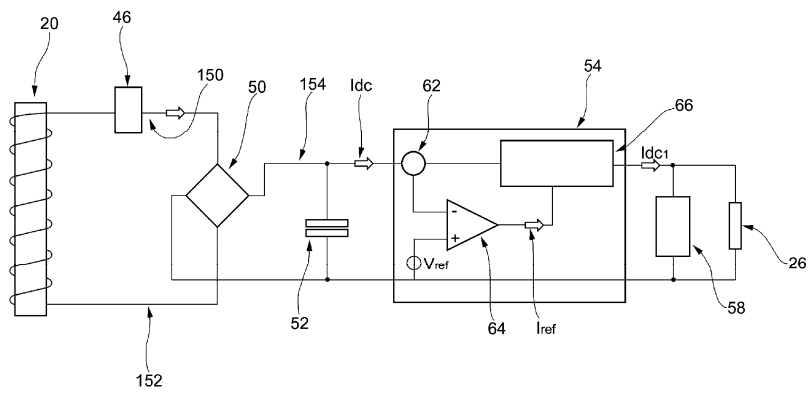
Фиг. 8



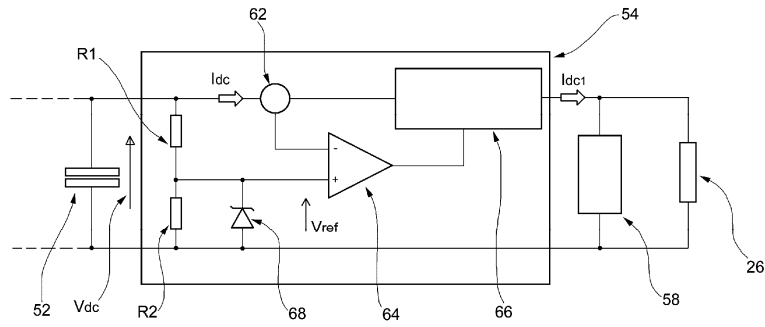
Фиг. 9



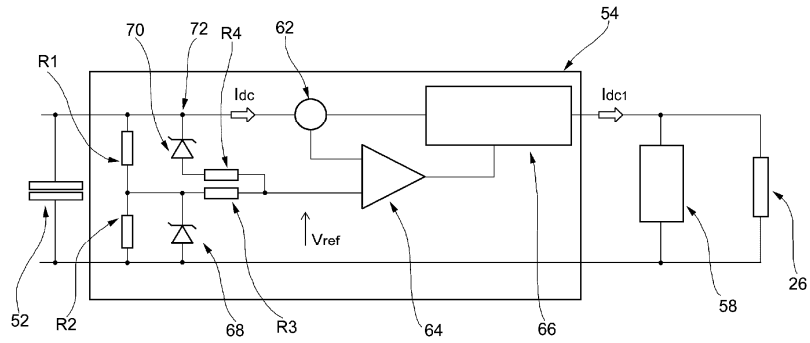
Фиг. 10



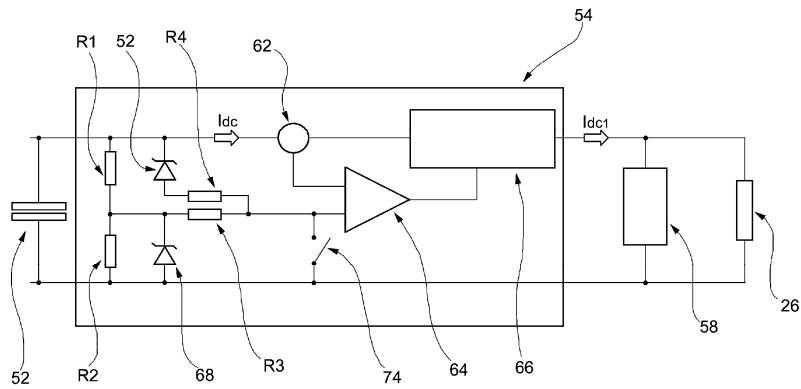
Фиг. 11



Фиг. 12



Фиг. 13



Фиг. 14

