

**ОПИСАНИЕ
ИЗОБРЕТЕНИЯ
К ПАТЕНТУ**
(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СОБСТВЕННОСТИ

(19) **ВУ** (11) **15708**

(13) **С1**

(46) **2012.04.30**

(51) МПК

H 02J 3/00 (2006.01)

(54)

ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧА ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

(21) Номер заявки: а 20100140

(22) 2010.02.03

(43) 2011.10.30

(71) Заявитель: Белорусский национальный технический университет (ВУ)

(72) Авторы: Федин Виктор Тимофеевич; Становский Дмитрий Николаевич (ВУ)

(73) Патентообладатель: Белорусский национальный технический университет (ВУ)

(56) SU 1350747 A1, 1987.

ВУ 5963 С1, 2004.

ВУ 4547 С1, 2002.

RU 2337451 С1, 2008.

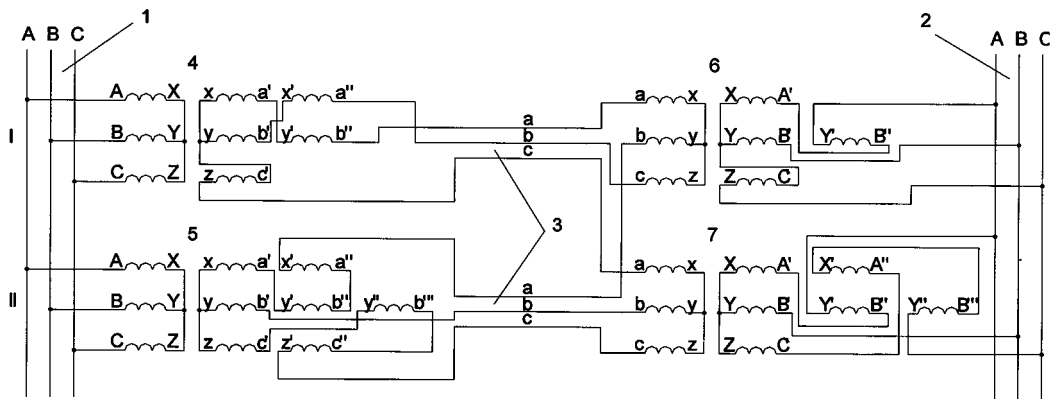
RU 2166225 С1, 2001.

SU 1257742 A1, 1986.

EP 0568130 A1, 1993.

(57)

Электропередача переменного тока, содержащая источник симметричных трехфазных напряжений, потребителей на приемном конце, линию электропередачи, фазосдвигающее устройство в виде установленного на передающем конце первого трехфазного трансформатора, обмотки одного из напряжений которого, соединенные с линией электропередачи, выполнены в виде двух групп согласно намотанных полуобмоток, при этом концы первой группы полуобмоток двух фаз соединены между собой, начало полуобмотки первой фазы первой группы соединено с концом полуобмотки второй фазы второй группы, а начало полуобмотки второй фазы первой группы соединено с концом полуобмотки первой фазы второй группы, отличающаяся тем, что линия электропередачи выполнена двухцепной, на передающем конце установлен второй трехфазный трансформатор, а на приемном конце - третий и четвертый трехфазные трансформаторы, при этом на передающем конце у первого трансформатора начало полуобмотки третьей фазы первой группы соединено с концами первой группы полуобмоток первых двух фаз, начало полуобмотки первой фазы второй группы соединено со второй фазой первой цепи линии электропередачи, начало



Фиг. 1

ВУ 15708 С1 2012.04.30

полуобмотки второй фазы второй группы соединено с первой фазой первой цепи линии электропередачи, а конец полуобмотки третьей фазы первой группы соединен с третьей фазой первой цепи линии электропередачи; у второго трансформатора на передающем конце обмотки одного из напряжений со стороны линии электропередачи выполнены в виде трех групп согласно намотанных полуобмоток, при этом концы первой группы полуобмоток соединены в "звезду", начало полуобмотки первой фазы первой группы соединено с концом полуобмотки второй фазы второй группы, начало полуобмотки второй фазы второй группы соединено с началом полуобмотки первой фазы второй группы, конец полуобмотки первой фазы второй группы соединен с первой фазой второй цепи линии электропередачи, начало полуобмотки второй фазы первой группы соединено со второй фазой второй цепи линии электропередачи, начало полуобмотки третьей фазы первой группы соединено с концом полуобмотки второй фазы третьей группы, начало полуобмотки второй фазы третьей группы соединено с началом полуобмотки третьей фазы второй группы, а конец полуобмотки третьей фазы второй группы соединен с третьей фазой второй цепи линии электропередачи; на приемном конце линии электропередачи у третьего и четвертого трансформаторов концы обмоток, соединенных с линией электропередачи, соединены в "звезду", причем первая фаза первой цепи линии электропередачи соединена с началом обмотки первой фазы третьего трансформатора, вторая фаза первой цепи линии электропередачи соединена с началом обмотки третьей фазы третьего трансформатора, третья фаза первой цепи линии электропередачи соединена с началом обмотки первой фазы четвертого трансформатора, первая фаза второй цепи линии электропередачи соединена с началом второй фазы третьего трансформатора, вторая фаза второй цепи линии электропередачи соединена с началом обмотки второй фазы четвертого трансформатора, а третья фаза второй цепи линии электропередачи соединена с началом обмотки третьей фазы четвертого трансформатора, при этом у третьего трансформатора обмотки, соединенные с потребителями, выполнены в виде двух групп согласно намотанных полуобмоток, а у четвертого трансформатора - в виде трех групп согласно намотанных полуобмоток; у третьего трансформатора начало полуобмотки третьей фазы первой группы соединено с концами первой группы полуобмоток первых двух фаз в "звезду", начало полуобмотки первой фазы первой группы соединено с началом полуобмотки второй фазы второй группы, конец полуобмотки второй фазы второй группы подключен к первой фазе потребителей, а начало полуобмотки второй фазы и конец полуобмотки третьей фазы первой группы соединены соответственно с шинами второй и третьей фаз потребителей; у четвертого трансформатора начало полуобмотки первой фазы первой группы соединено с началом полуобмотки второй фазы второй группы, конец полуобмотки второй фазы второй группы подключен к первой фазе потребителей, начало полуобмотки второй фазы первой группы подключено ко второй фазе потребителей, начало полуобмотки третьей фазы первой группы соединено с началом полуобмотки первой фазы второй группы, конец полуобмотки первой фазы второй группы соединен с началом полуобмотки второй фазы третьей группы, а конец полуобмотки второй фазы третьей группы подключен к третьей фазе потребителей.

Изобретение относится к области электротехники и может служить для передачи электрической энергии переменного тока на расстояние по двухцепным линиям электропередачи.

Известна система электропередачи переменного тока [1], содержащая трехфазные источник и приемник электрической энергии, а также связывающую их трехфазную линию электропередачи, к которой приложена симметричная система напряжений.

Недостатком такой системы электропередачи является необходимость создания усиленной изоляции между фазными проводниками. В воздушных линиях необходимо создавать

между проводами фаз изоляционные промежутки тем большие, чем выше номинальное напряжение линии электропередачи. В связи с этим растет отрицательное воздействие воздушных линий на окружающую среду: возрастает площадь отчуждаемых земель, увеличивается ширина просеки в лесных массивах. Кроме того, повышаются удельные капиталовложения в сооружаемые линии электропередачи из-за большего расхода материала опор для воздушных линий и увеличения прочности изоляции кабельных линий.

Известна система передачи электроэнергии по трехпроводной линии [2], разность потенциалов между проводами фаз a , b и c которой равна нулю, благодаря чему сокращаются междофазные расстояния линии электропередачи практически до нуля. Указанная цель достигается путем формирования в начале электропередачи линии задержки сигнала во времени в фазе a на $2/3 \cdot f$, а в фазе b на $1/3 \cdot f$, где f - частота сети. В конце электропередачи восстанавливают первоначальный сдвиг фаз: создают линию задержки сигнала во времени в фазе c на $2/3 \cdot f$, а в фазе b на $1/3 \cdot f$.

Однако данная система имеет недостаток: при изменении величины тока, протекающего по линии электропередачи, отклоняется от нулевого значения разность потенциалов между фазами линии электропередачи из-за нелинейности вебер-амперной характеристики материала, создающего задержку сигнала во времени, что может вызвать пробой изоляции между проводами фаз. Для компенсации изменяющейся разности потенциалов необходима установка сложных систем коррекции магнитной проницаемости материала в зависимости от тока линии. Это приводит к снижению надежности функционирования и удорожанию системы электропередачи.

Электропередача переменного тока, принятая за прототип [3], содержит источник симметричных трехфазных напряжений, однофазных потребителей на приемном конце, одноцепную линию электропередачи, фазосдвигающее устройство, установленное на передающем конце линии, выполненное в виде трехфазного трансформатора, содержащего на стороне одного из номинальных напряжений две группы согласно намотанных полуобмоток, по три полуобмотки в каждой группе, расположенные по одной полуобмотке из каждой группы на каждой фазе трансформатора, причем концы полуобмоток первой группы соединены в "звезду", начало полуобмотки первой фазы первой группы соединено с концом полуобмотки второй фазы второй группы, начало полуобмотки второй фазы первой группы соединено с концом полуобмотки первой фазы второй группы, а начало полуобмотки третьей фазы первой группы соединено с концом полуобмотки этой же фазы второй группы. В результате к трехпроводной линии электропередачи оказывается приложенной система напряжений, в которой вектор напряжения одной из фаз сдвинут на 180° относительно векторов напряжений двух других фаз. Максимум передаваемой однофазным потребителям мощности обеспечивается при сближении проводов линии с противоположно направленными векторами фазных напряжений на минимально допустимое расстояние по условию диэлектрической прочности воздушного промежутка.

Недостатком прототипа является то, что электропередача переменного тока не позволяет снабжать электроэнергией трехфазных потребителей. Кроме того, изоляция между сближенными проводами должна иметь повышенную диэлектрическую прочность, так как к ней приложена разность потенциалов, равная двойному фазному напряжению линии. Обеспечение необходимой прочности изоляции воздушной линии по всей длине, например, при использовании дистанционных изолирующих распорок увеличивает стоимость сооружения и затраты при эксплуатации электропередачи.

Задачей, решаемой изобретением, является обеспечение возможности электроснабжения как однофазных, так и трехфазных потребителей при значительно меньшей диэлектрической прочности междофазной изоляции линии электропередачи.

Поставленная задача решается тем, что электропередача переменного тока содержит источник симметричных трехфазных напряжений, потребителей на приемном конце, линию электропередачи, фазосдвигающее устройство в виде установленного на передающем

ВУ 15708 С1 2012.04.30

конце трехфазного трансформатора, обмотки одного из напряжений которого, соединенные с линией электропередачи, выполнены в виде двух групп согласно намотанных полуобмоток, при этом концы первой группы полуобмоток двух фаз соединены между собой, начало полуобмотки первой фазы первой группы соединено с концом полуобмотки второй фазы второй группы, а начало полуобмотки второй фазы первой группы соединено с концом полуобмотки первой фазы второй группы, линия электропередачи выполнена двухцепной, на передающем конце установлен второй трехфазный трансформатор, а на приемном конце - третий и четвертый трехфазные трансформаторы, при этом на передающем конце у первого трансформатора начало полуобмотки третьей фазы первой группы соединено с концами первой группы полуобмоток первых двух фаз, начало полуобмотки первой фазы второй группы соединено со второй фазой первой цепи линии электропередачи, начало полуобмотки второй фазы второй группы соединено с первой фазой первой цепи линии электропередачи, а конец полуобмотки третьей фазы первой группы соединен с третьей фазой первой цепи линии электропередачи; у второго трансформатора на передающем конце обмотки одного из напряжений со стороны линии электропередачи выполнены в виде трех групп согласно намотанных полуобмоток, при этом концы первой группы полуобмоток соединены в "звезду", начало полуобмотки первой фазы первой группы соединено с концом полуобмотки второй фазы второй группы, начало полуобмотки второй фазы второй группы соединено с началом полуобмотки первой фазы второй группы, конец полуобмотки первой фазы второй группы соединен с первой фазой второй цепи линии электропередачи, начало полуобмотки второй фазы первой группы соединено со второй фазой второй цепи линии электропередачи, начало полуобмотки третьей фазы первой группы соединено с концом полуобмотки второй фазы третьей группы, начало полуобмотки второй фазы третьей группы соединено с началом полуобмотки третьей фазы второй группы, а конец полуобмотки третьей фазы второй группы соединен с третьей фазой второй цепи линии электропередачи; на приемном конце линии электропередачи у третьего и четвертого трансформаторов концы обмоток, соединенных с линией электропередачи, соединены в "звезду", причем первая фаза первой цепи линии электропередачи соединена с началом обмотки первой фазы третьего трансформатора, вторая фаза первой цепи линии электропередачи соединена с началом обмотки третьей фазы третьего трансформатора, третья фаза первой цепи линии электропередачи соединена с началом обмотки первой фазы четвертого трансформатора, первая фаза второй цепи линии электропередачи соединена с началом второй фазы третьего трансформатора, вторая фаза второй цепи линии электропередачи соединена с началом обмотки второй фазы четвертого трансформатора, а третья фаза второй цепи линии электропередачи соединена с началом обмотки третьей фазы четвертого трансформатора, при этом у третьего трансформатора обмотки, соединенные с потребителями, выполнены в виде двух групп согласно намотанных полуобмоток, а у четвертого трансформатора - в виде трех групп согласно намотанных полуобмоток; у третьего трансформатора начало полуобмотки третьей фазы первой группы соединено с концами первой группы полуобмоток первых двух фаз в "звезду", начало полуобмотки первой фазы первой группы соединено с началом полуобмотки второй фазы второй группы, конец полуобмотки второй фазы второй группы подключен к первой фазе потребителей, а начало полуобмотки второй фазы и конец полуобмотки третьей фазы первой группы соединены соответственно с шинами второй и третьей фаз потребителей; у четвертого трансформатора начало полуобмотки первой фазы первой группы соединено с началом полуобмотки второй фазы второй группы, конец полуобмотки второй фазы второй группы подключен к первой фазе потребителей, начало полуобмотки второй фазы первой группы подключено ко второй фазе потребителей, начало полуобмотки третьей фазы первой группы соединено с началом полуобмотки первой фазы второй группы, конец полуобмотки первой фазы второй группы соединен с началом полуобмотки второй фазы третьей группы, а конец полуобмотки второй фазы третьей группы подключен к третьей фазе потребителей.

Сущность изобретения поясняется графически: на фиг. 1 представлена схема электропередачи переменного тока, на фиг. 2-25 - векторные диаграммы напряжений к ней.

Электропередача переменного тока (фиг. 1) содержит источник 1 симметричных трехфазных напряжений, потребителей 2, двухцепную линию электропередачи 3, фазосдвигающие устройства в виде установленных на передающем и приемном конце каждой цепи трехфазных трансформаторов 4-7, обмотки которых, соединенные с линией электропередачи на передающем конце и с шинами потребителя на приемном конце, выполнены в виде групп согласно намотанных полуобмоток. Концы первой группы полуобмоток трансформаторов 4 и 5 обозначены через x, y, z , начала - соответственно через a', b', c' . Вторая группа полуобмоток трансформатора 4 состоит из двух полуобмоток, концы которых обозначены через x', y' , начала - соответственно через a'', b'' . Вторая группа полуобмоток трансформатора 5 состоит из трех полуобмоток, концы которых обозначены через x', y', z' , начала - соответственно через a'', b'', c'' . Третья группа полуобмоток состоит из одной полуобмотки в трансформаторе 5, ее конец обозначен через y'' , начало - через b''' . Обмотки, соединенные с источником 1, трансформаторов 4 и 5 обозначены: A, B, C - начала, X, Y, Z - соответственно концы. Провода фаз a, b и c первой цепи I линии электропередачи соединены с выводами трансформатора 4 b'', a'', z соответственно, а провода фаз a, b и c второй цепи II линии электропередачи - соответственно с выводами трансформатора 5 x', b', z' . Таким образом, при передаче мощности от источника к потребителям трансформаторы 4 и 5 с дополнительными группами вторичных полуобмоток преобразуют напряжения из симметричной трехфазной системы в две системы сонаправленных и равных по модулю векторов, которые приложены к соответствующим цепям линии электропередачи, причем сдвиг по фазе напряжений проводников разных цепей равен 60° . Число витков групп полуобмоток выбирается таким образом, чтобы фазные напряжения на выводах трансформаторов были одинаковыми по модулю. Начала соединенных с линией электропередачи обмоток трансформаторов 6 и 7 приемного конца обозначены через a, b и c , а их концы - соответственно через x, y и z . Провод фазы a первой цепи линии электропередачи соединен с началом a обмотки трансформатора 6, провод фазы b первой цепи линии электропередачи соединен с началом a обмотки трансформатора 6, провод фазы c первой цепи линии электропередачи соединен с началом a обмотки трансформатора 7, провод фазы a второй цепи линии электропередачи соединен с началом b обмотки трансформатора 6, провод фазы b второй цепи линии электропередачи соединен с началом b обмотки трансформатора 7, провод фазы c второй цепи линии электропередачи соединен с началом c обмотки трансформатора 7. Обмотки трансформаторов 6 и 7, соединенные с потребителем 2, выполнены в виде групп полуобмоток. Концы первой группы полуобмоток обозначены через X, Y, Z , начала - соответственно через A', B', C' . Вторая группа полуобмоток трансформатора 6 состоит из одной полуобмотки, конец которой обозначен через Y' , начало - через B'' . Вторая группа полуобмоток трансформатора 7 состоит из двух полуобмоток, концы которых обозначены через X', Y' , начала - соответственно через A'', B'' . Третья группа полуобмоток трансформатора 7 состоит из одной полуобмотки, конец которой обозначен Y'' , начало - соответственно через B''' . Подбором числа витков этих полуобмоток обеспечивается равенство по модулю напряжений на выводах трансформаторов 6 и 7. Таким образом, трансформаторы 6 и 7 на приемном конце электропередачи восстанавливают трехфазную симметричную систему напряжений. Разность потенциалов между проводами цепей линии электропередачи при этом равна нулю, расстояния между проводами воздушной линии значительно сокращены.

Работу трансформаторов 4-7 поясняют векторные диаграммы напряжений. От источника 1 на трансформатор 4 подается симметричная трехфазная система напряжений $\vec{U}_A, \vec{U}_B, \vec{U}_C$ (фиг. 2). На полуобмотках трансформатора 4 в точках a', b', z будет трансформированная система напряжений соответственно $\vec{U}_a, \vec{U}_b, -\vec{U}_c$ (фиг. 3). Полуобмотка y' и b''

при соединении точек a' и y' создает добавку напряжения, равную \vec{U}_b . Вектор напряжения \vec{U}_{a1} на выводе b'' трансформатора 4 и на фазе a первой цепи линии электропередачи будет равен: $\vec{U}_{a1} = \vec{U}_a + \vec{U}_b = -\vec{U}_c$ (фиг. 4). Полуобмотка x' и a'' при соединении точек b' и x' создает добавку напряжения, равную \vec{U}_a . Вектор напряжения \vec{U}_{b1} на выводе a'' трансформатора 4 и на фазе b первой цепи линии электропередачи будет равен: $\vec{U}_{b1} = \vec{U}_b + \vec{U}_a = -\vec{U}_c$ (фиг. 5). На фазе c линии электропередачи будет напряжение $\vec{U}_{c1} = -\vec{U}_c$ (фиг. 6). Таким образом, напряжения на всех проводниках первой цепи линии одинаковы и равны $-\vec{U}_c$ (фиг. 7). От источника на трансформатор 5 подается симметричная трехфазная система напряжений $\vec{U}_A, \vec{U}_B, \vec{U}_C$ (фиг. 8). Рассуждая аналогично (фиг. 9, 10, 11, 12), приходим к выводу, что напряжения на всех проводниках второй цепи линии одинаковы: $\vec{U}_{a2} = \vec{U}_{b2} + \vec{U}_{c2} = \vec{U}_b$ (фиг. 13). Равенства напряжений по модулю на выводах трансформаторов 4 и 5 можно добиться корректировкой числа витков полуобмоток. На приемном конце электропередачи на выводы a, b, c трансформатора 6 подается система напряжений соответственно $\vec{U}_a = \vec{U}_{a1}, \vec{U}_b = \vec{U}_{a2}, \vec{U}_c = \vec{U}_{b1}$ (фиг. 14). В точках A', B', Z трансформатора 6 будет трансформированная система напряжений соответственно $n \cdot \vec{U}_a, n \cdot \vec{U}_b, -n \cdot \vec{U}_c$ (n - коэффициент трансформации) (фиг. 15). Полуобмотка Y' и B'' при соединении точек A' и B'' создает добавку напряжения $-n \cdot \vec{U}_b$. Вектор напряжения \vec{U}_A на выводе Y' трансформатора 6 будет равен: $\vec{U}_A = n \cdot \vec{U}_a - n \cdot \vec{U}_b$ (фиг. 16). На выводах B' и Z трансформатора 6 будут соответственно векторы напряжений $\vec{U}_B = n \cdot \vec{U}_b$ (фиг. 17) и $\vec{U}_C = -n \cdot \vec{U}_c$ (фиг. 18). Таким образом, векторы \vec{U}_A, \vec{U}_B и \vec{U}_C (фиг. 19) образуют симметричную систему напряжений. На выводы a, b, c трансформатора 7 подается система напряжений соответственно $\vec{U}_a = \vec{U}_{c1}, \vec{U}_b = \vec{U}_{b2}, \vec{U}_c = \vec{U}_{c2}$ (фиг. 20). В точках A', B', C' трансформатора 7 будет трансформированная система напряжений соответственно $n \cdot \vec{U}_a, n \cdot \vec{U}_b, n \cdot \vec{U}_c$ (фиг. 21). Рассуждая аналогично, приходим к выводу, что на выводах Y', B' и Y'' трансформатора 7 будет симметричная система напряжений соответственно $\vec{U}_A = n \cdot \vec{U}_a - n \cdot \vec{U}_b$ (фиг. 22), $\vec{U}_B = n \cdot \vec{U}_b$ (фиг. 23) и $\vec{U}_C = n \cdot \vec{U}_c - n \cdot \vec{U}_a - n \cdot \vec{U}_b$ (фиг. 24). Таким образом, векторы \vec{U}_A, \vec{U}_B и \vec{U}_C (фиг. 25) образуют симметричную систему напряжений. Равенства напряжений по модулю на выводах трансформаторов 6 и 7 можно добиться корректировкой числа витков полуобмоток.

Возможность осуществления данного изобретения связана с возможностью создания трансформаторов на передающем и приемном концах, которые позволяют получить систему сонаправленных векторов напряжений в начале электропередачи и преобразовывать ее в симметричную трехфазную систему напряжений в конце электропередачи. Такие трансформаторы можно изготовить в заводских условиях путем намотки на магнитопровод дополнительных вторичных полуобмоток.

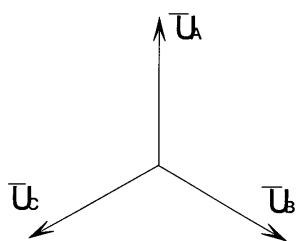
Таким образом, благодаря применению на передающем и приемном концах двухцепной электропередачи фазосдвигающих устройств, выполненных на основе трехфазных трансформаторов с дополнительными полуобмотками, а также благодаря оригинальному соединению начал и концов полуобмоток друг с другом и с фазами линии электропередачи удастся добиться нулевой разности потенциалов между проводами линии электропередачи, а на приемном конце линии получить симметричную трехфазную систему напряжений. Результатом является снижение материалоемкости сооружаемых двухцепных линий электропередачи за счет меньшего расхода материала опор для воздушных линий и уменьшения прочности междуфазной изоляции кабельных линий и, как следствие, снижение капиталовложений. Отрицательное воздействие воздушных линий на окружающую

среду значительно снижается: уменьшается площадь отчуждаемых земель, а значит, и ширина просеки в лесных массивах. Кроме того, нулевое значение разности потенциалов между фазами линии электропередачи не зависит от изменяющейся величины тока линии. Поэтому отсутствует необходимость в установке сложных устройств поддержания нулевой разности напряжений между проводами линии, уменьшающих надежность работы системы электропередачи и повышающих затраты на ее строительство и эксплуатацию. Важным результатом является возможность использования электропередачи для питания как однофазных, так и трехфазных потребителей.

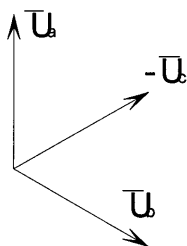
Изобретение может быть использовано для односторонней передачи электрической энергии переменного тока на расстояние по двухцепным линиям электропередачи на напряжении преимущественно 35 кВ и выше.

Источники информации:

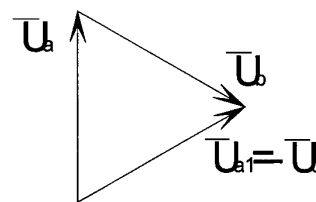
1. Идельчик В.И. Электрические системы и сети: Учебник для вузов. — М.: Энергоатомиздат, 1989. - С. 12-20.
2. Патент 2307438 RU, МПК Н 02J 3/00, 2007.
3. А.с. СССР 1350747, МПК Н 02J 3/00, 1987.



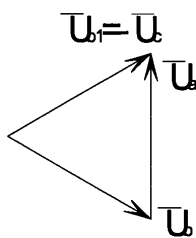
Фиг. 2



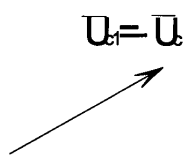
Фиг. 3



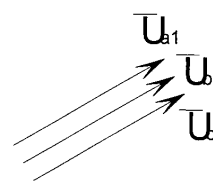
Фиг. 4



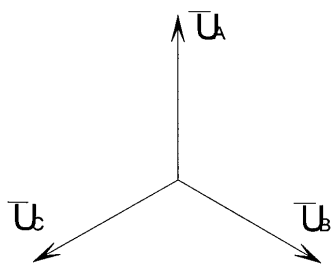
Фиг. 5



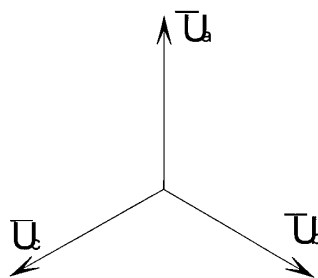
Фиг. 6



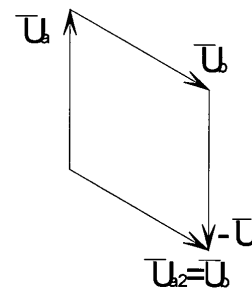
Фиг. 7



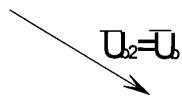
Фиг. 8



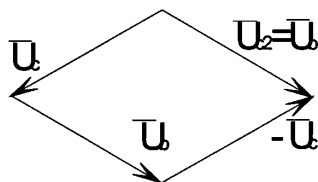
Фиг. 9



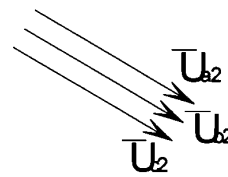
Фиг. 10



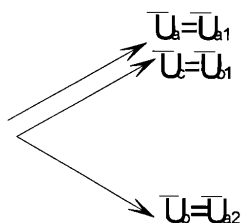
Фиг. 11



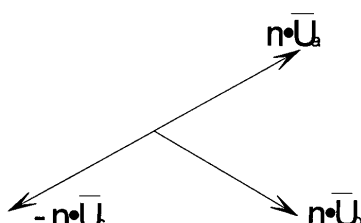
Фиг. 12



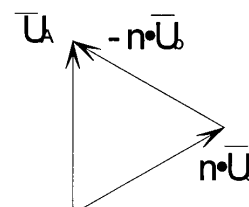
Фиг. 13



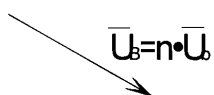
Фиг. 14



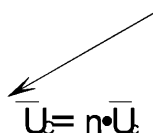
Фиг. 15



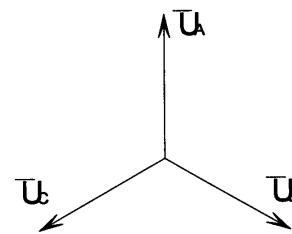
Фиг. 16



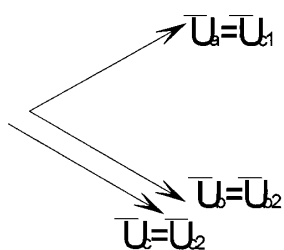
Фиг. 17



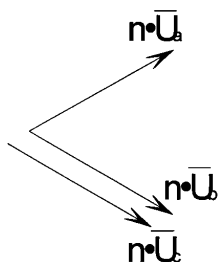
Фиг. 18



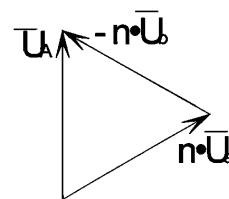
Фиг. 19



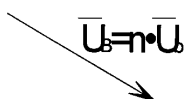
Фиг. 20



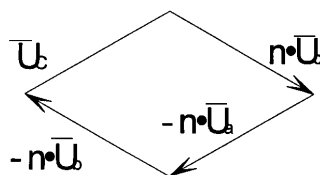
Фиг. 21



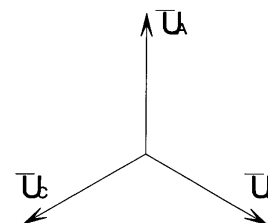
Фиг. 22



Фиг. 23



Фиг. 24



Фиг. 25