

**ОПИСАНИЕ
ИЗОБРЕТЕНИЯ
К ПАТЕНТУ**
(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СОБСТВЕННОСТИ

(19) **ВУ** (11) **14597**

(13) **С1**

(46) **2011.08.30**

(51) МПК

H 02J 3/00 (2006.01)

H 02J 3/04 (2006.01)

(54)

ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧА ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

(21) Номер заявки: а 20090906

(22) 2009.06.19

(43) 2011.02.28

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

(72) Авторы: Федин Виктор Тимофеевич; Кудлай Андрей Иванович; Денисов Игорь Сергеевич (ВУ)

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

(56) SU 1350747 A1, 1987.

ВУ 4491 С1, 2002.

ВУ 4547 С1, 2002.

ВУ 5266 С1, 2003.

RU 2295816 С1, 2007.

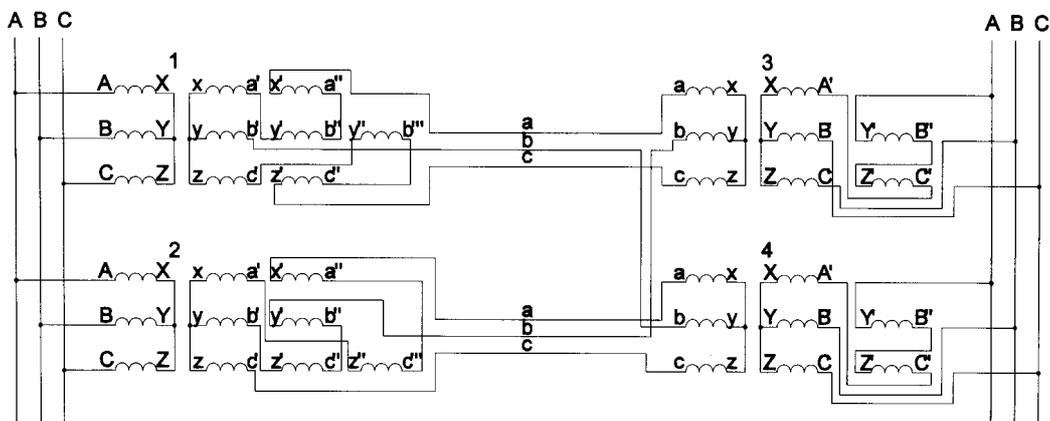
RU 2337451 С1, 2008.

SU 1257742 A1, 1986.

JP 3256531 A, 1991.

(57)

Электропередача переменного тока, содержащая источник симметричных трехфазных напряжений, потребителя, линию электропередачи, фазосдвигающее устройство в виде установленного на передающем конце линии трехфазного трансформатора, обмотки одного из напряжений которого, соединенные с линией электропередачи, выполнены в виде 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, отличающаяся тем, что линия электропередачи выполнена двухцепной, на передающем конце установлен второй трехфазный трансформатор, а на приемном конце установлено два трехфазных трансформатора, при этом на передающем конце у первого трансформатора начало полуобмотки второй фазы второй группы соединено с началом полуобмотки первой фазы второй группы, а конец полуобмотки первой фазы второй группы - с первой фазой линии электропередачи; начало



Фиг. 1

ВУ 14597 С1 2011.08.30

полуобмотки второй фазы первой группы соединено со второй фазой 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 линии электропередачи; у второго трансформатора на передающем конце обмотки со стороны линии электропередачи выполнены в виде групп согласно намотанных полуобмоток, при этом концы первой группы полуобмоток соединены в "звезду", начало полуобмотки первой фазы первой группы соединено с концом полуобмотки третьей фазы третьей группы, начало полуобмотки третьей фазы третьей группы соединено с началом полуобмотки первой фазы второй группы, а конец полуобмотки первой фазы второй группы - с первой фазой линии электропередачи; начало полуобмотки второй фазы первой группы соединено с концом полуобмотки третьей фазы второй группы, начало полуобмотки третьей фазы второй группы соединено с началом полуобмотки второй фазы второй группы, а конец полуобмотки второй фазы второй группы - со второй фазой линии электропередачи, начало полуобмотки третьей фазы первой группы соединено с третьей фазой линии электропередачи; концы соединенных с линией электропередачи обмоток трансформаторов на приемном конце соединены в "звезду", начала двух фаз этих обмоток трансформаторов каждой цепи соединены с соответствующими фазами соответствующей цепи линии электропередачи, а начала третьей фазы обмоток трансформаторов каждой цепи соединены с одноименной фазой второй цепи линии электропередачи; обмотки трансформаторов на приемном конце, соединенные с потребителем, выполнены в виде согласно намотанных групп полуобмоток, причем концы первой группы полуобмоток соединены в "звезду", начала полуобмоток второй и третьей фазы первой группы трансформаторов обеих цепей соединены с шинами третьей и второй фазы потребителя, а начала полуобмоток первой фазы первой группы соединены с началами полуобмоток третьей фазы второй группы, концы полуобмоток третьей фазы второй группы соединены с началами полуобмоток второй фазы второй группы, а концы полуобмоток второй фазы второй группы подключены к первой фазе потребителя.

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 междуфазные 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 с 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, однофазные потребители, 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 междуфазной изоляции линии электропередачи.

Поставленная задача решается тем, что электропередача переменного тока содержит источник симметричных трехфазных напряжений, потребителя, линию электропередачи, фазосдвигающее устройство в виде установленного на передающем конце линии трехфазного трансформатора, обмотки одного из напряжений которого, соединенные с линией электропередачи, выполнены в виде 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, линия электропередачи выполнена двухцепной, на передающем конце установлен второй трехфазный трансформатор, а на приемном конце установлено два трехфазных трансформатора, при этом на передающем конце у первого трансформатора начало полуобмотки второй фазы второй группы соединено с началом полуобмотки первой фазы второй группы, а конец полуобмотки первой фазы второй группы - с первой фазой линии электропередачи; начало полуобмотки второй фазы первой группы соединено со второй фазой линии электропередачи, начало полуобмотки третьей фазы первой группы соединено с концом полу-

обмотки 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 линии электропередачи; у второго трансформатора на передающем конце обмотки со стороны линии электропередачи выполнены в виде групп согласно намотанных полуобмоток, при этом концы первой группы полуобмоток соединены в "звезду", начало полуобмотки первой фазы первой группы соединено с концом полуобмотки третьей фазы третьей группы, начало полуобмотки третьей фазы третьей группы соединено с началом полуобмотки первой фазы второй группы, а конец полуобмотки первой фазы второй группы - с первой фазой линии электропередачи; начало полуобмотки второй фазы первой группы соединено с концом полуобмотки третьей фазы второй группы, начало полуобмотки третьей фазы второй группы соединено с началом полуобмотки второй фазы второй группы, а конец полуобмотки второй фазы второй группы - со второй фазой линии электропередачи, начало полуобмотки третьей фазы первой группы соединено с третьей фазой линии электропередачи, концы соединенных с линией электропередачи обмоток трансформаторов на приемном конце соединены в "звезду", начала двух фаз этих обмоток трансформаторов каждой цепи соединены с соответствующими фазами соответствующей цепи линии электропередачи, а начала третьей фазы обмоток трансформаторов каждой цепи соединена с одноименной фазой второй цепи линии электропередачи, обмотки трансформаторов на приемном конце, соединенные с потребителем, выполнены в виде согласно намотанных групп полуобмоток, причем концы первой группы полуобмоток соединены в "звезду", начала полуобмоток второй и третьей фазы первой группы трансформаторов обеих цепей соединены с шинами третьей и второй фазы потребителя, а начала полуобмоток первой фазы первой группы соединены с началами полуобмоток третьей фазы второй группы, концы полуобмоток третьей фазы второй группы соединены с началами полуобмоток второй фазы второй группы, а концы полуобмоток второй фазы второй группы подключены к первой фазе потребителя.

На фиг. 1 представлена схема электропередачи переменного тока, на фиг. 2 и фиг. 3 - векторные диаграммы напряжений.

Электропередача переменного тока содержит источник симметричных трехфазных напряжений, потребителя, двухцепную линию электропередачи, фазосдвигающие устройства в виде установленных на передающем и приемном конце каждой цепи трехфазных трансформаторов 1-4, 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 1 и 2 обозначены через x, y, z , начала - соответственно через a', b', c' . Концы второй группы полуобмоток обозначены через x', y', z' , начала - соответственно через a'', b'', c'' . Третья группа полуобмоток состоит из одной полуобмотки, в трансформаторе 1 конец ее обозначен через y'' , начало - через b''' , а в трансформаторе 2 - соответственно z'' и c''' . Обмотки, соединенные с источником, трансформаторов 1 и 2 обозначены: A, B, C - начала, X, Y, Z - соответственно концы. Провода фаз a, b и c первой цепи линии электропередачи соединены с выводами трансформатора 1 x', b', z' соответственно, а провода фаз a, b и c второй цепи линии электропередачи - соответственно с выводами трансформатора 2 x', y', c' . Таким образом, при передаче мощности от источника к приемнику трансформаторы 1 и 2 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 120° . Число витков групп полуобмоток выбирается таким образом, чтобы фазные напряжения на выводах трансформаторов были одинаковыми по модулю. Начала соединенных с линией электропередачи обмоток трансформаторов 3 и 4 приемного конца обозначены через a, b и c , а их концы - соответственно через x, y и z . Провода фаз a и c обеих цепей линии электропередачи со-

единены с соответствующими началами этих обмоток трансформаторов тех же цепей, а провода фаз *b* первой и второй цепи линии электропередачи соединены с началами *b* соответственно трансформаторов 4 и 3. Обмотки трансформаторов 3 и 4, соединенные с потребителем, выполнены в виде групп полуобмоток. Концы первой группы полуобмоток обозначены через *X, Y, Z*, начала - соответственно через *A', B', C'*. Концы второй группы полуобмоток обозначены через *Y', Z'*, начала - соответственно через *B'', C''*. Полуобмотки *C'' - Z'* содержат в два раза больше витков, чем полуобмотки *A' - X, B' - Y, C' - Z, B'' - Y'*. Подбором числа витков этих полуобмоток обеспечивается равенство по модулю напряжений на выводах трансформаторов 3 и 4. Таким образом, трансформаторы 3 и 4 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 1-4 поясняют векторные диаграммы напряжений. От источника на трансформатор 1 подается симметричная трехфазная система напряжений $\vec{U}_A, \vec{U}_B, \vec{U}_C$. На полуобмотках трансформатора 1 в точках *a', b', c'* будет трансформированная симметричная система напряжений соответственно $\vec{U}_a, \vec{U}_b, \vec{U}_c$. Полуобмотка *y'-b''* при соединении точек *a'* и *y'* создает добавку напряжения, равную \vec{U}_b , а полуобмотка *a''-x'* при соединении точек *a''* и *b''* создает добавку напряжения, равную $-\vec{U}_a$. Вектор напряжения \vec{U}_{a1} на выводе *x'* трансформатора 1 и на фазе *a* первой цепи линии электропередачи будет равен: $\vec{U}_{a1} = \vec{U}_a + \vec{U}_b - \vec{U}_a = \vec{U}_b$. Полуобмотка *y''-b'''* при соединении точек *c'* и *y''* создает добавку напряжения, равную \vec{U}_b , а полуобмотка *c''-z'* при соединении точек *b'''* и *c''* создает добавку напряжения, равную $-\vec{U}_c$. Вектор напряжения \vec{U}_{c1} на выводе *z'* трансформатора 1 и на фазе *c* первой цепи линии электропередачи будет равен: $\vec{U}_{c1} = \vec{U}_c + \vec{U}_b - \vec{U}_c = \vec{U}_b$. На фазе *b* линии электропередачи будет напряжение $\vec{U}_{b1} = \vec{U}_b$. Таким образом, напряжения на всех проводниках первой цепи линии одинаковы и равны \vec{U}_b . От источника на трансформатор 2 подается симметричная трехфазная система напряжений $\vec{U}_A, \vec{U}_B, \vec{U}_C$. Рассуждая аналогично, приходим к выводу, что напряжения на всех проводниках второй цепи линии одинаковы: $\vec{U}_{a2} = \vec{U}_{b2} = \vec{U}_{c2} = \vec{U}_c$. Равенства напряжений по модулю на выводах трансформаторов 1 и 2 можно добиться корректировкой числа витков полуобмоток. На приемном конце электропередачи на выводы *a, b, c* трансформатора 3 подается система напряжений соответственно $\vec{U}_a = \vec{U}_{a1}, \vec{U}_b = \vec{U}_{b2} = \vec{U}_c = \vec{U}_{c1}$. В точках *A', B', C'* трансформатора 3 будет трансформированная система напряжений соответственно $n \cdot \vec{U}_a, n \cdot \vec{U}_b, n \cdot \vec{U}_c$ (*n* - коэффициент трансформации). Полу обмотка *C''-Z'* при соединении точек *A'* и *C''* создает добавку напряжения, равную $-2 \cdot n \cdot \vec{U}_c$, а полуобмотка *B''-Y'* при соединении точек *Z'* и *B''* создает добавку напряжения, равную $-n \cdot \vec{U}_b$. Вектор напряжения \vec{U}_A на выводе *Y'* трансформатора 3 будет равен: $\vec{U}_A = n \cdot \vec{U}_a - 2 \cdot n \cdot \vec{U}_c - n \cdot \vec{U}_b$. На выводах *B'* и *C'* трансформатора 3 будут соответственно векторы напряжений $\vec{U}_C = n \cdot \vec{U}_b$ и $\vec{U}_B = n \cdot \vec{U}_c$. Таким образом, векторы \vec{U}_A, \vec{U}_B и \vec{U}_C образуют симметричную систему напряжений. На выводы *a, b, c* трансформатора 4 подается система напряжений соответственно $\vec{U}_a = \vec{U}_{a2}, \vec{U}_b = \vec{U}_{b1}, \vec{U}_c = \vec{U}_c = \vec{U}_{c2}$. Рассуждая аналогично, приходим к выводу, что на выводах *Y', B'* и *C'* трансформатора 4 будет симметричная система напряжений соответственно

$\vec{U}_A = n \cdot \vec{U}_a - 2 \cdot n \cdot \vec{U}_c - n \cdot \vec{U}_b$, $\vec{U}_B = n \cdot \vec{U}_b$ и $\vec{U}_C = n \cdot \vec{U}_c$. Равенства напряжений по модулю на выводах трансформаторов 3 и 4 можно добиться корректировкой числа витков полуобмоток.

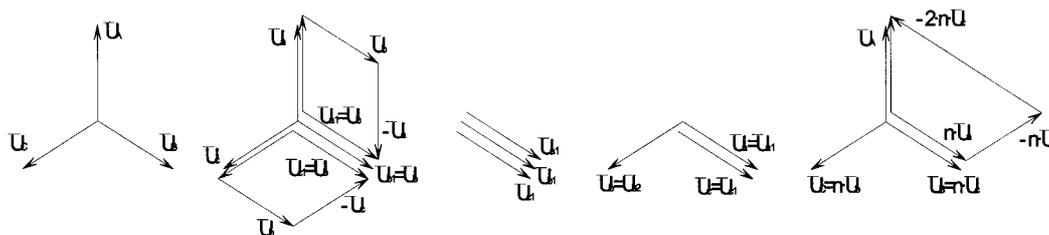
Возможность осуществления данного изобретения связана с возможностью создания трансформаторов на передающем и приемном конце, которые позволяют получить систему сонаправленных векторов напряжений в начале электропередачи и преобразовывать ее в симметричную трехфазную систему напряжений в конце электропередачи. 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 междупазной 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. - Москва: Энергоатомиздат, 1989. - 592 с.: ил., С. 12-20.
2. Патент RU 2307438, МПК Н 02J 3/00, опубли. 27.09.2007.
3. А.с. СССР 1350747, МПК Н 02J 3/00 // Бюл. № 41. - 07.11.1987.



Фиг. 2

