



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**

(21)(22) Заявка: 2013148782/06, 23.03.2012

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
23.03.2012

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:  
01.04.2011 DE 10 2011 006 670.5

(43) Дата публикации заявки: 10.05.2015 Бюл. № 13

(45) Опубликовано: 20.11.2015 Бюл. № 32

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: US 2003/185665 A1 02.10.2003. WO 2005/025026 A1 17.03.2005. WO 2011/000531 A2 06.01.2011. DE 10022974 A1 22.11.2001. RU 2351795 C2 20.06.2008. RU 2113616 C1 20.06.1998.

(85) Дата начала рассмотрения заявки РСТ на национальной фазе: 01.11.2013

(86) Заявка РСТ:  
EP 2012/055226 (23.03.2012)

(87) Публикация заявки РСТ:  
WO 2012/130761 (04.10.2012)

Адрес для переписки:

129090, Москва, ул. Б. Спасская, 25, строение 3,  
ООО "Юридическая фирма Городисский и  
Партнеры"

(72) Автор(ы):

**БЕЕКМАНН Альфред (DE),  
Де БУР, Вольфганг (DE)**

(73) Патентообладатель(и):

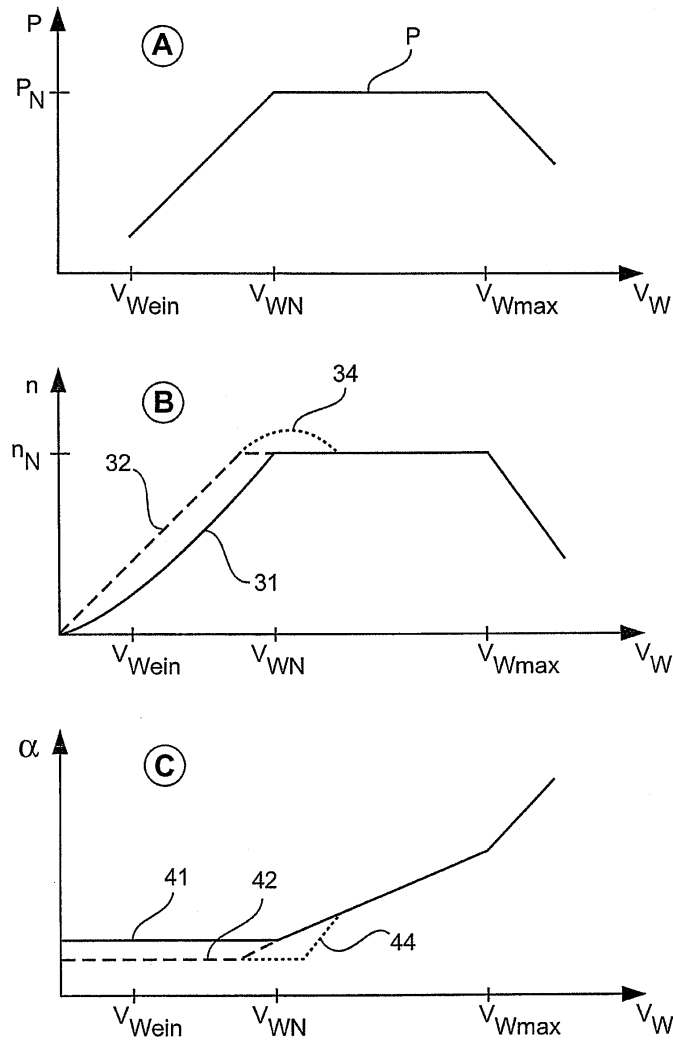
**ВОББЕН ПРОПЕРТИЗ ГМБХ (DE)**

**(54) ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА И СПОСОБ ЭКСПЛУАТАЦИИ  
ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ**

(57) Реферат:

Изобретение относится к способу управления ветроэнергетической установкой и к ветроэнергетической установке. Способ управления подключенной к электрической сети ветроэнергетической установкой с генератором с аэродинамическим ротором с регулируемой скоростью вращения включает этап эксплуатации ветроэнергетической установки в оптимальной относительно преобладающих условий ветра рабочей точке с оптимальной скоростью

вращения и этап эксплуатации ветроэнергетической установки в переходный период времени или длительно в неоптимальной рабочей точке с неоптимальной скоростью вращения. При этом неоптимальная скорость вращения больше оптимальной скорости вращения. Изобретение направлено на улучшение поддержания электрической сети. 3 н. и 9 з.п. ф-лы, 3 ил.



ФИГ.3



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.  
*F03D 1/00* (2006.01)  
*F03D 7/02* (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2013148782/06, 23.03.2012

(24) Effective date for property rights:  
23.03.2012

Priority:

(30) Convention priority:  
01.04.2011 DE 10 2011 006 670.5

(43) Application published: 10.05.2015 Bull. № 13

(45) Date of publication: 20.11.2015 Bull. № 32

(85) Commencement of national phase: 01.11.2013

(86) PCT application:  
EP 2012/055226 (23.03.2012)

(87) PCT publication:  
WO 2012/130761 (04.10.2012)

Mail address:

129090, Moskva, ul. B. Spasskaja, 25, stroenie 3,  
OOO "Juridicheskaja firma Gorodisskij i Partnery"

(72) Inventor(s):

**BEEKMANN Alfred (DE),  
De BUR, Wolfgang (DE)**

(73) Proprietor(s):

**VOBBEN PROPERTIZ GMBKh (DE)**

(54) **WIND-DRIVEN POWER PLANT AND OPERATING METHOD OF WIND-DRIVEN POWER PLANT**

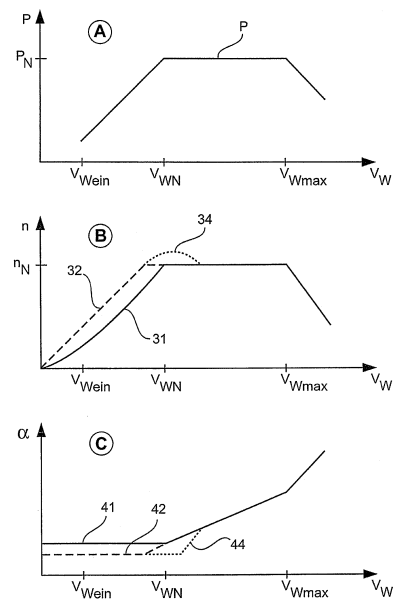
(57) Abstract:

FIELD: power industry.

SUBSTANCE: invention relates to a control method of a wind-driven power plant and to a wind-driven power plant. The control method of the wind-driven power plant connected to electric mains, comprising a generator with an aerodynamic rotor with adjustable rotation speed involves an operation stage of the wind-driven power plant at an optimum operating point relative to predominant wind conditions with an optimum rotation speed and an operation stage of the wind-driven power plant at transient period of time or continuously at a non-optimum operating point with a non-optimum rotation speed. Non-optimum rotation speed is higher than optimum rotation speed.

EFFECT: invention is aimed at improvement of maintenance of electric mains.

12 cl, 3 dwg



ФИГ.3

RU 2 569 121 C2

RU 2 569 121 C2

Данное изобретение относится к способу управления ветроэнергетической установкой, а также к соответствующей ветроэнергетической установке.

Ветроэнергетические установки широко известны и служат для отбора из ветра кинетической энергии и преобразования ее в электрическую энергию, с целью подачи ее в электрическую сеть. При этом ветроэнергетические установки выполняют в настоящее время задачу поддержки электрической сети, в которую они включены.

Так, например, в немецкой патентной заявке DE 10022974 A1 2000 г (дата публикации 22.11.2001) приведено описание зависящего от частоты регулирования мощности. В соответствии с этим предлагается уменьшать при увеличении частоты сети мощность, которую подает ветроэнергетическая установка в сеть, как только частота сети превысит пороговое значение.

При этом учитывается состояние сети, в которой имеется избыточное предложение энергии, что на основе характеристик больших электростанций приводит к увеличению частоты, на которое направлено изобретение в соответствии с указанной выложенной заявкой DE 10022974 A1.

В случае недостаточного предложения энергии, соответственно, повышенного расхода энергии в сети, происходит уменьшение частоты, на которое можно в идеальном случае реагировать увеличением подаваемой мощности. Однако увеличение подаваемой мощности трудно реализуемо с помощью ветроэнергетической установки, поскольку ветроэнергетическая установка в оптимальном случае уже подает максимально извлекаемую из ветра энергию. Для обеспечения тем не менее по меньшей мере кратковременного повышения мощности, например, в DE 102009014012 A1 предлагается выполнять кратковременное повышение мощности с использованием накопленной в момент инерции системы ротор-генератор энергии вращения. Однако этот способ зависит от накопленной в системе ротор-генератор энергии вращения.

В качестве дальнейшего уровня техники можно здесь сослаться в целом на следующие публикации: DE 10341504 A1, WO 2011/000531 A2, а также WO 2005/025026 A1.

Таким образом, в основу данного изобретения положена задача устранения или уменьшения по меньшей мере одной из указанных выше проблем, в частности, должно быть предложено решение улучшенной возможности поддержки сети. Должно быть предложено по меньшей мере одно альтернативное решение.

Согласно изобретению, предлагается способ по п.1 формулы изобретения.

В соответствии с этим, предлагается способ управления подключенной к электрической сети ветроэнергетической установкой, которая имеет генератор и аэродинамический ротор с регулируемой скоростью вращения. Аэродинамический ротор следует отличать от электродинамического ротора, который является частью генератора. Генератор и тем самым ветроэнергетическая установка в целом относятся к типу, в котором предусмотрена возможность регулирования скорости вращения. Таким образом, скорость вращения не связана жестко с частотой электрической сети, а может быть установлена независимо от нее.

Такая ветроэнергетическая установка может и обычно эксплуатируется в оптимальной рабочей точке относительно преобладающих условий ветра. Преобладающие условия ветра относятся, в частности, к преобладающей скорости ветра, что в последующем для упрощения рассматривается в качестве единственного признака преобладающих условий ветра. В действительности необходимо учитывать другие условия, такие как, например, порывистость ветра, а также плотность воздуха, чем в данном случае для простоты пренебрегается. Таким образом, в принципе каждой скорости ветра соответствует оптимальная рабочая точка. При этом под оптимальной

рабочей точкой следует понимать точку, в которой ветроэнергетическая установка извлекает из ветра максимально много энергии и подает ее в электрическую сеть, однако при этом одновременно учитываются краевые условия, такие как, в частности, стабильность рабочей точки и нагрузка установки, такая как, в частности, износ  
5 установки. Такая оптимальная рабочая точка характеризуется, в частности, соответствующей оптимальной скоростью вращения и оптимальной отдачей мощности, что является достаточным для последующего описания. При этом отдача мощности относится к той мощности, которая подается в электрическую сеть. При этом та мощность, которую отдает генератор, может быть выше, поскольку из нее необходимо  
10 вычитать, например, потери.

Хотя такая оптимальная рабочая точка с оптимальной скоростью вращения в принципе существует в соответствующей установке для каждой скорости ветра, в соответствии с изобретением предлагается эксплуатировать ветроэнергетическую установку в переходный период времени не в оптимальной рабочей точке, при этом  
15 скорость вращения в этой неоптимальной рабочей точке, т.е. неоптимальная скорость вращения больше оптимальной скорости вращения оптимальной рабочей точки преобладающей скорости ветра.

Такая работа с повышенной скоростью вращения предлагается, в частности, тогда, когда следует ожидать или высока вероятность того, что ветроэнергетическая установка  
20 должна отдавать в сеть дополнительную активную мощность, а именно, дополнительную активную мощность, которая превышает активную мощность, которая в данный момент может быть отдана в сеть на основании преобладающих условий ветра, а именно, в частности скорости ветра. А именно, для этого случая, в частности, в переходной период времени ветроэнергетическая установка эксплуатируется с  
25 повышенной скоростью вращения, за счет чего больше кинетической энергии накапливается как в аэродинамическом роторе, так и в электродинамическом роторе генератора. Переходный период времени может составлять в принципе, например, 10-30 секунд, 2-10 минут или 1-5 часов или 1-5 дней. В данном случае в зависимости от ситуации следует принимать решение, насколько оправдана эксплуатация в  
30 неоптимальной рабочей точке для соответствующей длительности переходного периода времени. В принципе ветроэнергетическая установка может эксплуатироваться также длительно в неоптимальной рабочей точке с повышенной скоростью вращения. Однако это может оказывать на ветроэнергетическую установку настолько отрицательное влияние, что такая длительная эксплуатация в неоптимальной точке становится  
35 неоправданной. Однако технически это возможно.

В принципе возможна эксплуатация ветроэнергетической установки с более высокой скоростью вращения, чем оптимальная скорость вращения, без уменьшения отдаваемой в сеть мощности по сравнению с оптимальной рабочей точкой. Эта неоптимальная рабочая точка может иметь также недостатки, поскольку повышенная скорость  
40 вращения приводит, например, к повышенному износу. Кроме того, повышенная скорость вращения может быть аэродинамически неблагоприятной так, что рабочая точка менее стабильна, чем оптимальная рабочая точка. Возможно, что это приводит к повышенным затратам на регулирование и тем самым к использованию большего количества исполнительных элементов, чем для установки крутящего момента или  
45 угла ротора, что может также увеличивать, например, износ.

Предпочтительно, применяется ветроэнергетическая установка, которая не имеет редуктора. Такая безредукторная ветроэнергетическая установка имеет очень большой момент инерции ротора генератора, который можно предпочтительно использовать

для накопления кинетической энергии. Таким образом, за счет увеличения скорости вращения можно накапливать больше кинетической энергии. При этом следует учитывать то, что кинетическая энергия, которая накапливается в такой вращающейся части, пропорциональна квадрату скорости вращения. Момент инерции, которому пропорциональна накопленная энергия, увеличивается в гомогенном сплошном цилиндре пропорционально четвертой степени радиуса. Таким образом, сплошной цилиндр с диаметром два метра имеет по сравнению со сплошным цилиндром из того же материала и той же длины с диаметром один метр в 16 раз больший момент инерции. Это означает, что безредукторная ветроэнергетическая установка может накапливать много кинетической энергии, и эта накопленная кинетическая энергия может быть еще раз сверхпропорционально увеличена за счет увеличения скорости вращения.

Согласно одному варианту выполнения предлагается, что в диапазоне частичной нагрузки для установки соответствующей оптимальной рабочей точки в ветроэнергетической установке вносится в память первая рабочая характеристика. На основании этой рабочей характеристики в ветроэнергетической установке может устанавливаться соответствующая оптимальная рабочая точка. Для этого рабочая характеристика может быть занесена в память в виде характеристики зависимости мощности от скорости вращения. Преобразование можно выполнять так, что измеряется скорость вращения и для нее устанавливается соответствующая мощность в соответствии с рабочей характеристикой. Если, например, из ветра можно извлекать больше энергии, то скорость вращения увеличивается, и, соответственно, устанавливается новое значение мощности в соответствии с рабочей характеристикой. Мощность можно устанавливать посредством установки крутящего момента генератора. Установка крутящего момента зависит от типа установки. Если, например, применяется синхронный генератор с возбуждаемым постоянным током ротором, то крутящий момент устанавливается с помощью соответствующего постоянного тока для регулирования возбуждения.

Такая оптимальная рабочая характеристика является в принципе последовательностью из множества оптимальных рабочих точек, которые являются каждая оптимальной для преобладающего условия ветра, в частности, преобладающей скорости ветра. В соответствии с этим, согласно данному изобретению под оптимальной рабочей точкой следует понимать рабочую точку для соответствующего условия ветра, соответственно, скорости ветра, что справедливо также по смыслу для неоптимальной рабочей точки. Таким образом, оптимальная рабочая точка не является единственной абсолютной рабочей точкой для ветроэнергетической установки при любых условиях, а лишь одной из многих для соответствующего фактического условия ветра.

Такая рабочая характеристика вводится в память, в частности, для эксплуатации с частичной нагрузкой. В режиме частичной нагрузки ветроэнергетической установки с изменяемой скоростью вращения, которая рассматривается в данном случае, обычно удерживается постоянным угол лопасти ротора, если предусмотрена возможность его регулирования, независимо от условий ветра, а именно, скорости ветра, в этом режиме частичной нагрузки. Как указывалось выше, осуществляется лишь установка соответствующей правильной рабочей точки, а именно, мощности и скорости вращения. Для установки режима частичной нагрузки лишь для переходного периода времени предлагается использовать в качестве основы вместо первой, оптимальной рабочей характеристики, вторую, неоптимальную рабочую характеристику. На основании этой неоптимальной рабочей характеристики устанавливается затем более высокая скорость вращения, предпочтительно при той же мощности, что и в соответствующей оптимальной рабочей точке. Таким образом, эта вторая рабочая характеристика

является последовательностью множества неоптимальных рабочих точек, которые имеют каждая более высокую скорость вращения, чем соответствующие оптимальные рабочие точки. Таким образом, перевод эксплуатации ветроэнергетической установки с повышенной скоростью вращения можно осуществлять простым образом в диапазоне частичной нагрузки тем, что в память заносится соответствующая вторая рабочая характеристика.

Кроме того, согласно другому варианту выполнения предлагается, что при уменьшающейся скорости ветра в переходе из режима полной нагрузки в режим частичной нагрузки сначала, в частности, для заданного диапазона скорости ветра, уменьшают мощность, в то время как скорость вращения удерживается постоянной. Режим полной нагрузки является режимом, в котором скорость ветра достигает значения номинальной скорости ветра, и ветроэнергетическая установка в оптимальном случае работает с номинальной мощностью и номинальной скоростью вращения. При далее увеличивающейся скорости вращения выполняют изменение угла лопасти ротора, так называемое изменение угла тангажа, с целью ухудшения аэродинамики ротора, чтобы извлекать из ветра меньше энергии, с целью противодействия за счет этого дальнейшему нарастанию скорости вращения. Если скорость ветра снова уменьшается, так что ветроэнергетическая установка переходит из режима полной нагрузки снова в режим частичной нагрузки, то в этом случае предлагается сначала уменьшать мощность, однако еще не уменьшать или уменьшать в меньшей степени, чем обычно, скорость вращения. Не уменьшение сначала скорости вращения означает, что она уменьшается лишь тогда, когда скорость ветра падает на заданное значение ниже номинальной скорости ветра. Не уменьшение сначала скорости вращения не следует понимать в отношении времени.

Согласно одному варианту выполнения, дополнительно предлагается эксплуатация ветроэнергетической установки в режиме полной нагрузки в переходной период времени со скоростью вращения, которая выше номинальной скорости вращения. Такая работа с повышенной скоростью вращения может отрицательно влиять на срок службы ветроэнергетической установки и поэтому должна быть возможно более короткой. Таким образом, переходный период времени необходимо удерживать возможно более коротким, таким как, например, лишь 10 минут или лишь 1 минута.

Целесообразно, когда ветроэнергетическая установка имеет одну роторную лопасть или несколько роторных лопастей с регулируемым углом роторной лопасти, и угол роторной лопасти неоптимальной рабочей точки изменяется относительно угла роторной лопасти оптимальной рабочей точки. Применение ветроэнергетической установки с одной или несколькими роторными лопастями с регулируемым углом роторной лопасти определяет также тип установки. Под регулированием угла роторной лопасти следует понимать активную, детерминированную установку угла роторной лопасти. Другими словами, это относится к установке угла роторной лопасти с помощью двигателя или другого исполнительного механизма. Предпочтительно, ветроэнергетическая установка имеет горизонтальную, соответственно, по существу горизонтальную ось ротора. Эта горизонтальная ось ротора также определяет тип установки, а именно, так называемую ветроэнергетическую установку с горизонтальной осью. Сюда входит также небольшой угол наклона оси ротора относительно горизонтали на несколько градусов, такой как, например, примерно  $5^\circ$  или  $10^\circ$ .

Таким образом, установка более высокой скорости вращения по сравнению с оптимальной скоростью вращения осуществляется посредством или с помощью соответствующей установки угла роторной лопасти. Тем самым неоптимальная рабочая

характеристика в режиме частичной нагрузки может иметь другой угол роторной лопасти, чем оптимальная рабочая характеристика. Также можно с отклонением от известной и также внесенной в память оптимальной рабочей характеристики в режиме частичной нагрузки для неоптимальной рабочей характеристики выбирать

5 регулирование, в котором угол роторной лопасти предполагается не постоянным.

Предпочтительно, осуществляется смена из режима в оптимальной рабочей точке в режим в неоптимальной рабочей точке. Это предусмотрено, в частности, для случая, когда ожидается потребность в повышенной кинетической энергии. Смена может предпочтительно инициироваться посредством приема сигнала уведомления или сигнала

10 смены. Такой сигнал уведомления или смены может передаваться внешним оператором сети. Оператор сети может передавать, например, такой сигнал, когда он видит приближающуюся потребность в поддержке электрической сети. Так, например, известны особые ситуации, которые могут приводить к критическим состояниям сети, или могут указывать на критическое состояние сети. Например, прерывание силовой

15 линии электрической сети, которое может временно осуществляться с целью ремонта или с другими целями, может переводить электрическую сеть в критическое состояние. Для этого случая оператор сети может передавать такой сигнал уведомления или смены в ветроэнергетическую установку или в ветровой парк с несколькими ветроэнергетическими установками.

Предпочтительно предлагается, что когда ветроэнергетическая установка работает в неоптимальной рабочей точке, то из ветроэнергетической установки отбирается кинетическая энергия и эта энергия применяется для кратковременной подачи в электрическую сеть больше активной мощности, чем ветроэнергетическая установка может извлекать в данный момент из ветра на основании преобладающих условий

20 ветра. Таким образом, накопленная за счет работы ветроэнергетической установки с повышенной скоростью вращения кинетическая энергия используется для поддержки электрической сети.

Предпочтительно для этого предлагается, что этот отбор кинетической энергии происходит так, что скорость вращения ветроэнергетической установки за счет отбора кинетической энергии для подачи дополнительной активной мощности в электрическую

30 сеть уменьшается с неоптимальной скорости вращения по меньшей мере до оптимальной скорости вращения. Предпочтительно, скорость вращения уменьшается еще дальше, чем до оптимальной скорости вращения. Таким образом, сначала можно отдавать с помощью дополнительно накопленной кинетической энергии в сеть для поддержки дополнительную активную мощность и Предпочтительно, неоптимальная скорость

35 вращения лежит примерно на 0,5-1,5 об/мин выше оптимальной скорости вращения. Более предпочтительно она лежит примерно на 1 об/мин выше оптимальной скорости вращения. Таким образом, может быть предложено значительное увеличение скорости вращения и тем самым, соответственно, значительное повышение кинетической энергии,

40 без эксплуатации ветроэнергетической установки в слишком неблагоприятной рабочей точке, в частности, без очень большого износа и без слишком большого риска относительно стабильности ветроэнергетической установки.

Таким образом, данное изобретение относится к способу управления ветроэнергетической установкой. При этом под таким способом управления следует

45 понимать управление в обычном смысле, а именно, которое может иметь обратную связь для создания тем самым регулирования, или же может обходиться без обратной связи. Другими словами, регулирование является управлением с обратной связью и содержит тем самым управление. Понятие управление применяется в качестве



обобщающего понятия.

Дополнительно к этому, в соответствии с изобретением предлагается ветроэнергетическая установка, содержащая генератор и аэродинамический ротор с регулируемой скоростью вращения, которая эксплуатируется с помощью способа согласно изобретению. При этом предпочтительно применяется безредукторная ветроэнергетическая установка.

Согласно одному варианту выполнения предлагается, что ветроэнергетическая установка пригодна для работы в режиме FACTS. Сокращение FACTS означает "Flexible-AC-Transmission-System" (гибкая система передачи переменного тока) и известно для немецких специалистов в данной области техники. Под этим в электрической энерготехнике понимается система управления, которая используется в сетях электроснабжения для целенаправленного влияния на потоки мощности. В частности, такая система предназначена для целенаправленной подачи в сеть активной мощности и/или реактивной мощности. Кроме того, такая подача может осуществляться в зависимости от измерений в сети, с целью реагирования непосредственно, например, на изменения частоты. Таким образом, предлагается ветроэнергетическая установка, которую можно предпочтительно использовать для поддержки сети. За счет возможности предусмотрения повышенной скорости вращения для переходного периода времени, создается возможность обеспечения увеличенной энергии в виде кинетической энергии для поддержки сети. Таким образом, такая поддерживающая сеть система может предоставлять дополнительную активную мощность для поддержки сети и подавать ее в электрическую сеть при потребности.

Предпочтительно, ветроэнергетическая установка имеет по меньшей мере один инвертор, который выпрямляет создаваемую генератором электрическую энергию и инвертирует ее с согласованием с частотой, напряжением и фазой электрической сети для передачи в электрическую сеть. Ветроэнергетическая установка с одним или несколькими такими инверторами, в которой вся создаваемая электрическая энергия, за исключением потерь, направляется через один, соответственно, несколько инверторов, называется также системой с полным преобразованием.

Дополнительно к этому, в соответствии с изобретением предлагается ветровой парк, содержащий по меньшей мере две ветроэнергетические установки со способом управления, согласно изобретению. Таким образом, ветровой парк является совокупностью нескольких ветроэнергетических установок, которые связаны друг с другом, в частности, имеют общую точку ввода или несколько точек ввода для подачи электрической энергии в электрическую сеть. Указанные применительно к способу, согласно изобретению, и к ветроэнергетической установке, согласно изобретению, преимущества могут концентрироваться с помощью этого ветрового парка, с целью обеспечения значительной высокой резервной мощности.

Ниже приводится в качестве примера пояснение изобретения на основе примеров выполнения со ссылками на прилагаемые чертежи, на которых изображено:

фиг.1 - ветроэнергетическая установка с горизонтальными осями;

фиг.2 - график с двумя характеристиками зависимости мощности от скорости вращения;

фиг.3 - три графика зависимости от скорости ветра.

На фиг.1 показана ветроэнергетическая установка с горизонтальными осями, которая в принципе известна из уровня техники. Согласно изобретению, эта показанная на фиг.1 ветроэнергетическая установка с горизонтальными осями снабжена способом, а именно, способом выполнения эксплуатации, согласно данному изобретению.

На фиг.2 показаны в виде графика две рабочие характеристики, а именно, характеристики зависимости мощности от скорости вращения. На этом графике оптимальная рабочая характеристика 1 изображена сплошной линией, а неоптимальная рабочая характеристика 2 штриховой линией. Обе рабочие характеристики 1 и 2 представляют схематично ход изменения, который может отклоняться от реального хода изменения. В частности, реальный ход изменения может отклоняться от упрощенного изображения с помощью прямых линий. Это изображение должно по существу иллюстрировать соотношение между оптимальной рабочей характеристикой 1 и неоптимальной рабочей характеристикой 2. Это относится также к графикам на фиг.3, которые относительно реального хода изменения также сильно упрощены.

Из графика на фиг.2 следует, что неоптимальная рабочая характеристика 2 имеет по сравнению с оптимальной рабочей характеристикой 1 при одинаковой мощности  $P$  более высокую скорость  $n$  вращения. В соответствии с этим, повышение скорости вращения относительно соответствующей оптимальной скорости вращения может быть достигнуто за счет применения неоптимальной рабочей характеристики 2 вместо оптимальной рабочей характеристики 1.

Обе рабочие характеристики 1 и 2 сходятся в номинальной точке 4, в которой ветроэнергетическая установка работает с номинальной скоростью  $n_N$  вращения и номинальной мощностью  $P_N$ . Эта номинальная точка или номинальная рабочая точка 4 может использоваться после достижения номинальной скорости ветра. Ни мощность  $P$ , ни скорость  $N$  вращения не должны превышать эти значения, с целью предотвращения перегрузки установки. Хотя по меньшей мере для короткого периода времени возможно повышение скорости  $n$  вращения. Это иллюстрировано с помощью альтернативного отрезка 6 характеристики, который изображен точечной линией.

На фиг.3 показаны три графика для пояснения эксплуатации ветроэнергетической установки. Все три графика представляют соответствующий рабочий параметр в зависимости от скорости  $V_W$  ветра, а именно, отдаваемой мощности  $P$  на графике А, скорости  $n$  вращения ветроэнергетической установки, а именно, аэродинамического ротора на графике В и угла  $\alpha$  роторной лопасти на графике С. Все графики имеют общую абсциссу, на которой нанесена скорость ветра.

На графике А показан характеристический ход изменения мощности  $P$  в зависимости от скорости  $V_W$  ветра. При скорости  $V_{W_{ein}}$  ветра включения начинается генерирование мощности. Мощность  $P$  увеличивается до номинальной мощности  $P_N$  при номинальной скорости  $V_{W_N}$  ветра. Этот диапазон называется также диапазоном частичной нагрузки.

От номинальной скорости  $V_{W_N}$  ветра до максимальной скорости  $V_{W_{max}}$  ветра отдаваемая мощность остается постоянной, и ветроэнергетическая установка отдает номинальную мощность  $P_N$ . Начиная с максимальной скорости  $V_{W_{max}}$  ветра мощность  $P$  для защиты установки при далее увеличивающейся скорости  $V_W$  ветра уменьшается.

При повышении скорости вращения, согласно изобретению, мощность остается по меньшей мере согласно одному варианту выполнения в идеальном случае неизменной, и поэтому на графике А показана лишь одна характеристика для мощности  $P$ , которая справедлива для применения как оптимальных рабочих точек, так и неоптимальных рабочих точек. Однако, согласно одному варианту выполнения, мощность соответствующей оптимальной рабочей точки может отличаться от мощности соответствующей неоптимальной рабочей точки, в частности, может быть несколько больше.

На графике В показан ход изменения скорости  $N$  вращения в виде оптимальной характеристики 31 скорости вращения, которая изображена сплошной линией, и ход изменения неоптимальной характеристики 32 скорости вращения, которая изображена штриховой линией. Обе характеристики 31 и 32 скорости вращения соответствуют характеристике мощности  $P$  графика А, при этом также в этой связи следует отметить, что изображение является схематичным и идеализировано, с целью лучшего пояснения идеи изобретения.

Таким образом, как показано на графике В фиг.3, скорость вращения, согласно неоптимальной характеристике 32 скорости вращения, лежит до достижения номинальной скорости  $V_{WN}$  ветра, т.е. в диапазоне частичной нагрузки, выше скорости вращения, согласно оптимальной характеристике 31 скорости вращения. При достижении номинальной скорости  $V_{WN}$  ветра, установка достигает своей рабочей точки и тем самым скорость  $n$  вращения достигает номинальной скорости  $n_N$  вращения, как согласно оптимальной характеристике 31 скорости вращения, так и неоптимальной характеристике 32 скорости вращения, которая изображена штриховой линией. В качестве альтернативного решения, может быть предусмотрено повышение скорости  $n$  вращения свыше номинальной скорости  $n_N$  вращения, что показано с помощью альтернативной ветви 34 характеристики, которая изображена точечной линией. При этом по меньшей мере в определенный период времени приходится мириться с перегрузкой ветроэнергетической установки за счет соответствующей высокой скорости вращения.

В остальном скорости  $n$  вращения оптимальной работы и неоптимальной работы в диапазоне полной нагрузки, соответственно, при работе с полной нагрузкой, т.е. начиная со скорости  $V_{WN}$  ветра до максимальной скорости  $V_{Wmax}$  ветра, совпадают, а именно, имеют номинальную скорость  $n_N$  вращения. Они одинаковы также в так называемом штормовом диапазоне, а именно, для скоростей ветра выше максимальной скорости  $V_{Wmax}$  ветра.

В основе показанного в принципе хода изменения мощности, согласно графику А, и хода изменения скорости вращения, согласно графику В, может лежать ход изменения угла  $\alpha$  роторной лопасти, согласно графику С. На графике С показанные характеристики изображены также схематично. Оптимальная характеристика 41 угла роторной лопасти изображена на графике С сплошной линией. Она проходит в диапазоне частичной нагрузки, соответственно, при работе с частичной нагрузкой, т.е. до номинальной скорости  $V_{WN}$  ветра, горизонтально, т.е. угол роторной лопасти остается здесь неизменным. В диапазоне полной нагрузки, соответственно, при работе с полной нагрузкой, т.е. от номинальной скорости  $V_{WN}$  ветра, угол роторной лопасти увеличивается, с целью поворота роторных лопастей из ветра для их защиты. После достижения максимальной скорости  $V_{Wmax}$  ветра осуществляется дальнейшее, в частности, более сильное регулирование угла роторной лопасти, с целью дальнейшей защиты установки. Вместо увеличения угла роторной лопасти известны также изображения уменьшения угла роторной лопасти для работы с полной нагрузкой, при этом представляется не другой эффект, а лишь в основе лежит другая номенклатура. Регулирование угла роторной лопасти в режиме полной нагрузки, называемое обычно изменением угла тангажа, в принципе известно для специалистов в данной области техники.

Неоптимальная характеристика 42 угла роторной лопасти изображена штриховой

линией и показывает в диапазоне частичной нагрузки немного меньший угол роторной лопасти, чем показывает в том же диапазоне оптимальная характеристика 41 угла роторной лопасти. Этот меньший угол роторной лопасти можно сначала рассматривать как «неблагоприятный». Более высокая скорость вращения может быть достигнута в этом случае за счет меньшего крутящего момента, а именно, противодействующего крутящего момента. За счет меньшего момента генератора, который представляет, соответственно, противодействующий момент, может получаться более высокая скорость вращения, как показано на графике В, что может приводить, в свою очередь, к измененному углу атаки. А именно, угол атаки зависит не только от скорости  $V_W$  ветра, но также от скорости ротора и получается за счет векторного суммирования этих обеих скоростей. В остальном можно сослаться на известную взаимосвязь между мощностью  $P$ , скоростью  $n$  вращения крутящим моментом  $N$  в соответствии с формулой:

$$P=2\pi nM.$$

При достижении номинальной скорости  $V_{WN}$  ветра угол роторной лопасти равен, согласно неоптимальной характеристике 42 угла роторной лопасти, углу роторной лопасти оптимальной характеристики 41 угла роторной лопасти. Когда в диапазоне номинальной скорости  $V_{WN}$  ветра применяется более высокая скорость вращения, чем номинальная скорость вращения, то угол роторной лопасти при достижении номинальной скорости  $V_{WN}$  ветра сначала не увеличивается, т.е. не изменяется угол тангажа, что показано с помощью альтернативной ветви 44 характеристики, которая изображена точечной линией. Как указывалось выше, в этом случае в определенный период времени также приходится мириться с перегрузкой установки.

Таким образом, согласно изобретению, предлагается в течение переходного периода времени эксплуатировать ветроэнергетическую установку по меньшей мере с немного повышенной скоростью вращения, с целью обеспечения определенного резерва энергии в виде кинетической энергии.

#### Формула изобретения

1. Способ управления подключенной к электрической сети ветроэнергетической установкой с генератором с аэродинамическим ротором с регулируемой скоростью вращения, в котором предусмотрена возможность эксплуатации ветроэнергетической установки в оптимальной относительно преобладающих условий ветра рабочей точке с оптимальной скоростью вращения, при этом ветроэнергетическую установку эксплуатируют в переходный период времени или длительно в неоптимальной рабочей точке с неоптимальной скоростью вращения, при этом неоптимальная скорость вращения больше оптимальной скорости вращения.

2. Способ по п. 1, отличающийся тем, что в диапазоне частичной нагрузки для установки соответствующей оптимальной рабочей точки вносят в память первую рабочую характеристику, а для управления ветроэнергетической установкой с неоптимальной скоростью вращения применяют вторую рабочую характеристику, при этом неоптимальную скорость вращения устанавливают на основании второй рабочей характеристики.

3. Способ по любому из пп. 1 или 2, отличающийся тем, что при уменьшающейся скорости ветра в переходе из режима полной нагрузки в режим частичной нагрузки сначала, в частности, для заданного диапазона скорости ветра, уменьшают мощность, в то время как скорость вращения удерживают постоянной.

4. Способ по п. 1, отличающийся тем, что ветроэнергетическая установка имеет одну роторную лопасть или несколько роторных лопастей с регулируемым углом роторной

лопасти, при этом угол роторной лопасти неоптимальной рабочей точки изменяется относительно угла роторной лопасти оптимальной рабочей точки.

5 5. Способ по п. 1, отличающийся тем, что осуществляют смену из режима в оптимальной рабочей точке в режим в неоптимальной рабочей точке, в частности, инициируют посредством приема сигнала уведомления, в частности, внешнего сигнала уведомления, передаваемого оператором сети.

10 6. Способ по п. 1, отличающийся тем, что когда ветроэнергетическая установка работает в неоптимальной рабочей точке, то из ветроэнергетической установки отбирают кинетическую энергию, причем эту энергию применяют для кратковременной подачи в электрическую сеть больше активной мощности, чем ветроэнергетическая установка может извлекать в данный момент из ветра за счет преобладающих условий ветра.

15 7. Способ по п. 6, отличающийся тем, что скорость вращения ветроэнергетической установки за счет отбора кинетической энергии для подачи больше активной мощности в электрическую сеть уменьшают с неоптимальной скорости вращения по меньшей мере до оптимальной скорости вращения.

8. Способ по 1, отличающийся тем, что неоптимальная скорость вращения лежит примерно на 0,5-1,5 об/мин, в частности, примерно на 1 об/мин выше оптимальной скорости вращения.

20 9. Ветроэнергетическая установка с генератором с аэродинамическим ротором с регулируемой скоростью вращения, отличающаяся тем, что ветроэнергетическую установку эксплуатируют с помощью способа по любому из пп. 1-8.

10. Ветроэнергетическая установка по п. 9, отличающаяся тем, что между аэродинамическим ротором и электрическим генератором не предусмотрен редуктор.

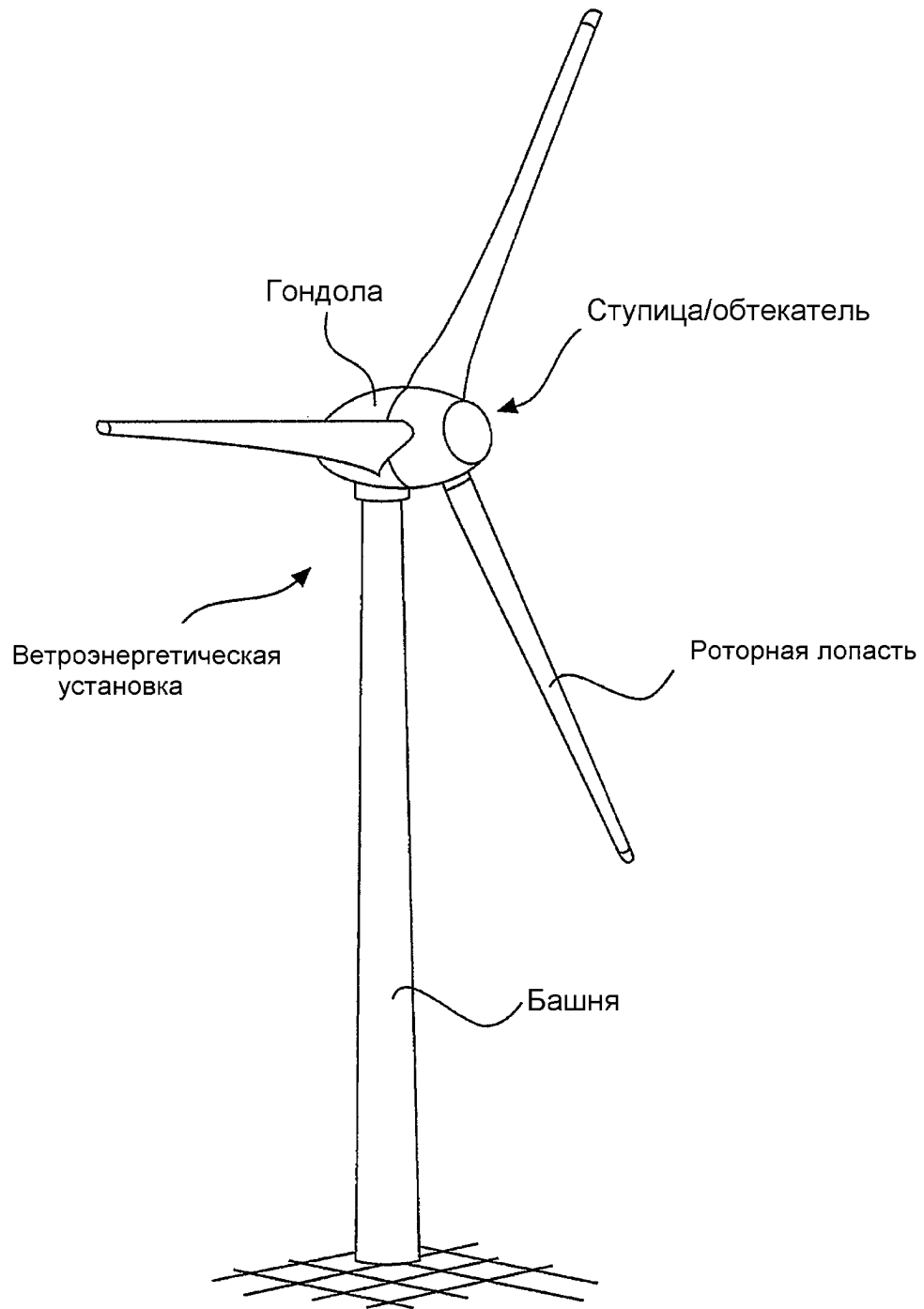
25 11. Ветроэнергетическая установка по любому из пп. 9 или 10, отличающаяся тем, что ветроэнергетическая установка пригодна для работы в режиме гибкой системы передачи переменного тока (FACTS) и/или имеет один или несколько инверторов, для выпрямления создаваемой электрической энергии генератора и ее инвертирования с согласованием с частотой, напряжением и фазой электрической сети для подачи в  
30 электрическую сеть.

12. Ветровой парк, содержащий по меньшей мере две ветроэнергетические установки по любому из пп. 9-11 и по меньшей мере одну общую точку ввода для подачи электрической мощности по меньшей мере двух или, соответственно, двух ветроэнергетических установок.

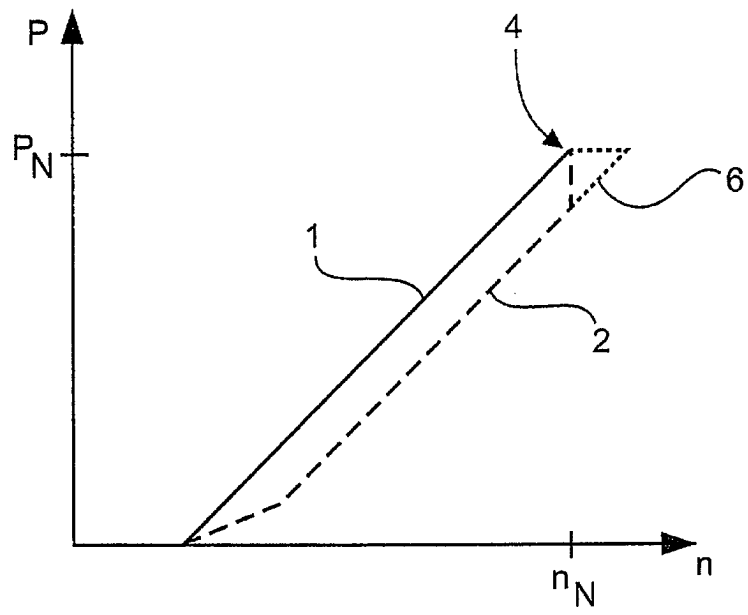
35

40

45



ФИГ.1



ФИГ.2