



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 22963

(13) C2

(51) 6 F03D7/04

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД(54) СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ ВІТРОДВИГУНОМ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТА-
НОВКИ

1

(21) 97062708

(22) 09 06 1997

(24) 15 03 2002

(46) 15 03 2002, Бюл. № 3, 2002 р

(72) Голубенко Микола Степанович, Кириченко
Анатолій Семенович, Козак Леонід Романович,
Кочерга Григорій Федорович, Латайко Олександр
Петрович, Тютрина Тамара Павлівна(73) Державне конструкторське бюро "Південне"
ім. М. К. Янгеля

(56) Патент США № 4 426 192, МПК F 03D 7/04

(57) 1 Система автоматического управления вет-
родвигателем ветроэнергетической установки,
содержащая ветродвигатель, связанный кинема-
тически с генератором, исполнительный орган
ветродвигателя с приводом-регулятором, соеди-
ненным входом с выходом сумматора, подклю-
ченного первым входом к датчику положения
привода-регулятора, вторым входом через усили-
тель с широкой зоной нечувствительности - к дат-

2

чику мощности генератора, а третьим входом че-
рез последовательно соединенные усилитель с
узкой зоной нечувствительности и усреднитель - к
этому же датчику, отличающаяся тем, что в нее
дополнительно введен датчик скорости изменения
вращающего момента в цепи "ветродвигатель-
генератор", подключенный выходом через поло-
совый фильтр к дополнительному входу известно-
го сумматора, при этом нижняя частота среза по-
лосового фильтра выбрана меньше собственной
частоты крутильных колебаний ротора ветродви-
гателя, а верхняя частота среза - больше собст-
венной частоты крутильных колебаний ротора
возбужденного генератора

2 Система по п. 1, отличающаяся тем, что соб-
ственная частота крутильных колебаний ротора
ветродвигателя выбрана меньше собственной
частоты крутильных колебаний ротора возбуж-
денного генератора

Предлагаемое изобретение относится к вет-
роэнергетике и может применяться для управле-
ния ветродвигателями (ВД), с различными испол-
нительными органами без использования
отдельных демпфирующих устройств в ветроэнер-
гетических установках (ВЭУ) преимущественно
средней и большой мощностей (более 100кВА),
оснащенных генераторами произвольного типа,
которые работают как на автономную нагрузку, так
и параллельно с промышленной или локальной
электрическими сетями

Известны ВД, в которых управление основны-
ми параметрами (вращающим моментом, частотой
вращения, мощностью и др.) осуществляется
перемещением исполнительного органа с приво-
дом-регулятором по командам от системы управ-
ления. Например, устройства, описанные в охран-
ных документах различных стран мира [1-3]

Обычно в ВЭУ ветродвигатель связан с гене-
ратором через кинематическую цепь, содержащую
мультипликатор, так как рабочие скорости враще-
ния типовых генераторов превышают энергетиче-

ски оптимальные скорости вращения ветродвига-
телей

Наиболее широко в ветроэнергетике приме-
няются синхронные и асинхронные генераторы [4]
Синхронные генераторы имеют высокие удельные
характеристики, простые устройства для регули-
рования электрических параметров изменением
потока возбуждения, могут работать как на авто-
номную нагрузку, так и параллельно с электриче-
ской сетью. В настоящее время синхронный гене-
ратор является основным типом электрической
машины для работы на автономную нагрузку и
основным производителем электроэнергии в про-
мышленных электросетях. Однако при работе па-
раллельно с электросетью данный генератор
имеет высокую крутильную колебательность, так
как в этом случае вращающий момент определя-
ется угловым положением инерционного ротора,
синхронно вращающегося относительно электро-
магнитного поля статора (электросети) [5]

В отличие от наземных энергетических уста-
новок, где генераторы обычно крепятся на жест-

(13) C2

(11) 22963

(19) UA

ком (массивном) основании, а их приводы (турбины, дизель-моторы) имеют стабильные, плавно регулируемые механические характеристики, в составе ВЭУ жесткость узлов крепления и передачи вращающего момента ограничена допустимыми габаритами и весом высотной конструкции, момент инерции ротора ВД весьма большой ($1000 - 10000 \text{ кгс} \cdot \text{м}^2$), а из-за резких порывов ветра момент на валу генератора имеет быстроменяющийся характер

Данные обстоятельства способствуют возникновению низкочастотных крутильных колебаний в цепи "ВД-генератор", усугубляющих электромеханическую колебательность самих генераторов, что приводит к ускоренному износу конструкции, а также существенно снижает возможность регулирования основных параметров ВЭУ

Известны различные устройства для демпфирования (гашения) крутильных колебаний, устанавливаемые в цепи передачи вращающего момента от ВД к генератору [6,7]

В [6] описан электромагнитный демпфер, расположенный в полости трубчатого вала и выполненный из чередующихся магнитных колец и шайб, закрепленных на тросе, связанном с подвижными частями ротора ВД

В [7] описан механический демпфер, выполненный в виде резиновой втулки с размещенным в ней крестовиком, закрепленным на тросе

Известны также другие конструкции демпфирующих устройств

Данные пассивные демпферы увеличивают габариты, вес, усложняют конструкцию и технологию сборки, имеют низкий ресурс работы из-за наличия взаимно-подвижных элементов, на которых непрерывно рассеивается часть энергии ВД. Поэтому использование таких демпферов в составе систем управления ВД ветроэнергетических установок повышенной мощности не оправдано

Наиболее совершенным из устройств аналогов и близким по технической сути к предлагаемой системе является патент США, класс НКИ 418-1 (МПК F03D 7/04), N 4 426 192, "Способ и устройство для регулирования хода лопастей ветряной мельницы", выбранный авторами в качестве прототипа. Данный патент защищает способ двухзонного регулирования, реализованный в двухконтурной системе управления ВД. Система-прототип содержит ветродвигатель, связанный кинематически с генератором, исполнительный орган ВД с приводом-регулятором, соединенным входом с выходом сумматора, подключенного первым входом к задатчику положения привода-регулятора, вторым входом через усилитель с широкой зоной нечувствительности - к датчику мощности генератора, а третьим входом через последовательно соединенные усилитель с узкой зоной нечувствительности и усреднитель - к этому же датчику

Благодаря такой структуре, система-прототип по сигналам датчика мощности автоматически ограничивает мощность, подводимую к валу генератора от ВД, путем формирования команд на соответствующее перемещение привода-регулятора. При этом команда на перемещение

исполнительного органа формируется только при длительных превышениях сигналами датчика мощности узкой зоны нечувствительности (из-за наличия в цепи управления, усреднителя) и/или при значительных кратковременных превышениях широкой зоны нечувствительности. Величины задаваемых зон нечувствительности определяются допустимыми статическими и динамическими перегрузками генератора по мощности и задаются разработчиком ВЭУ, исходя из реальных характеристик БД и генератора

Таким образом, известная система обеспечивает при повышенных скоростях ветра, автоматическую защиту генератора ВЭУ от малых, но длительно действующих, перегрузок по мощности и/или кратковременных (импульсных) перегрузок большей величины путем перемещения с помощью привода-регулятора исполнительного органа в направлении уменьшения мощности (вращающего момента) ВД. При этом минимизируются интегральное перемещение штока (вала) привода-регулятора и суммарный расход энергии, на управление

Однако, моделирование системы-прототипа применительно к ВЭУ повышенных мощностей с учетом характеристик ВД, синхронного генератора и кинематической передачи ограниченной жесткости показало, что известная система не имеет достаточных запасов устойчивости без применения демпфирующих устройств, что приводит к возникновению крутильных колебаний в цепи "ВД-генератор", резко снижающих качество управления, надежность и ресурс работы ВЭУ

Задачей настоящего изобретения является усовершенствование системы управления ветродвигателем ВЭУ с целью обеспечения качественных процессов управления без применения пассивных демпферов в ветроустановках, работающих как параллельно с электрической сетью, так и на автономную нагрузку

В предлагаемой системе, содержащей исполнительный орган ВД с приводом-регулятором, подключенным входом к выходу сумматора, связанного первым входом с задатчиком положения привода-регулятора, а вторым и третьим входами через указанные нелинейные усилители и усреднитель - с датчиком мощности генератора, поставленная задача решена путем совместного применения новых отличительных признаков

1) введение датчика скорости изменения (производной) вращающего момента в цепи "ВД-генератор" (при этом могут быть применены различные датчики: датчик производной вращающего момента на валу ЧВД или генератора, датчик производной скрутки кинематической передачи, датчик производной статорного тока генератора, датчик производной скорости ветра - в общем случае важно наличие в сигнале датчика прямой или косвенной информации о скорости изменения вращающего момента в цепи "ВД-генератор"),

2) введение полосового фильтра, связанного входом с указанным датчиком производной вращающего момента, а выходом - с дополнительным входом известного сумматора,

3) выбор соотношения между нижней и верхней частотами среза полосового фильтра таким,

что нижняя частота среза меньше собственной частоты крутильных колебаний ротора ВД, а верхняя частота среза больше собственной частоты крутильных колебаний ротора возбужденного генератора,

4) выбор соотношения между параметрами ВД и генератора таким, что собственная частота крутильных колебаний ротора ВД меньше собственной частоты крутильных колебаний ротора возбужденного генератора

Наличие признаков 1, 2 позволяет сформировать в заданной полосе частот дополнительную полезную составляющую командного сигнала на привод-регулятор, обеспечивающую активное демпфирование крутильных колебаний путем соответствующих перемещений исполнительного органа ВД. При этом исполнительный орган с приводом-регулятором одновременно выполняют роль активного демпфера, работающего без рассеяния энергии

Наличие признаков 3, 4 обеспечивает качество процессов управления и активного демпфирования в системе с реализацией плавных, незначительных дополнительных перемещений привода-регулятора, практически не снижающих ресурс работы ВД, а кинематическая передача, работающая в области малых крутильных деформаций, выполняет роль амортизатора ударных скручивающих нагрузок на валу генератора

Для раскрытия сути изобретения и пояснения принципа работы системы прилагаются чертежи на двух листах, где на фиг. 1 приведена структурная схема заявляемой системы, а на фиг. 2 - амплитудно-частотная характеристика полосового фильтра

Система содержит исполнительный орган 1 ВД с приводом-регулятором 2, связанным с выходом сумматора 3, подключенного первым входом к задатчику 4 программного положения исполнительного органа 1, вторым входом через усилитель 5 с широкой зоной нечувствительности, а третьим входом через последовательно соединенные усилитель 6 с узкой зоной нечувствительности и усреднитель 7 - к датчику 8 мощности ВЭУ

Дополнительно в систему введен датчик 9 производной вращающего момента в цепи "ВД-генератор", связанный выходом через полосовой фильтр 10 с дополнительным (четвертым) входом известного сумматора 3

Система работает следующим образом. В исходном состоянии (при отсутствии возмущений и изменений вращающего момента) выходной сигнал датчика 9 равен нулю. При появлении скорости изменения вращающего момента на выходе датчика 9 формируется соответствующий сигнал, поступающий через полосовой фильтр 10 в потребной фазе на дополнительный вход сумматора 3, управляющего работой привода-регулятора 2. В этом случае происходит перемещение исполнительного органа 1 в сторону компенсации возникшего изменения вращающего момента. Например, при резком порыве ветра на выходе датчика 9 формируется положительный сигнал, соответствующий перемещению исполнительного органа 1 на уменьшение производной вращающего момен-

та

Таким образом, путем дополнительных перемещений в потребной фазе исполнительного органа ВД осуществляется активное демпфирование крутильных колебаний в цепи "ВД-генератор" практически без рассеяния (диссипации) энергии ветрового потока

Полосовой фильтр 10 служит, с одной стороны, для обеспечения качественных процессов демпфирования, управления и достаточных запасов устойчивости в системе, а с другой стороны, для реализации плавных, незначительных "демпфирующих" перемещений привода-регулятора 2 с исполнительным органом 1. С этой целью электрические параметры полосового фильтра 10 (нижняя и верхняя частоты среза) через общие соотношения увязаны с электромеханическими параметрами ВЭУ (собственными частотами крутильных колебаний роторов ВД и возбужденного генератора)

Нормированная амплитудно-частотная характеристика полосового фильтра приведена на фиг. 2, где приняты следующие обозначения

f_n, f_v , Гц - нижняя и верхняя частоты среза соответственно,

$f_{вд}, f_{ген}$, Гц - собственные частоты, крутильных колебаний роторов ВД и возбужденного генератора соответственно,

$K(f)$ - коэффициент передачи полосового фильтра

Для исключения резонансных явлений и обеспечения амортизации ударных вращающих нагрузок на валу генератора собственная частота крутильных колебаний ротора ВД выбрана меньше собственной частоты крутильных колебаний ротора возбужденного генератора

Следует отметить, что приведенная совокупность признаков была изначально установлена при анализе многочисленных экспериментальных исследований крутильных колебаний в ВЭУ мощностью 100кВА и 250кВА и в дальнейшем сформулирована в общем виде по результатам моделирования системы с учетом характеристик ВД, кинематической передачи ограниченной жесткости, а также моделей синхронного и асинхронного генераторов. Данная взаимно увязанная совокупность отличительных признаков не является очевидной для специалистов

Заявляемая система создана для ВЭУ, оснащенных синхронными генераторами, однако, ее работоспособность и качество управления сохраняются при использовании генераторов других типов, имеющих меньшую колебательность за счет скольжения ротора относительно магнитного поля статора

Положительные качества и возможность промышленного использования предлагаемой системы экспериментально подтверждены на ветроустановке, оснащенной трехлопастным ВД и синхронным генератором мощностью 250кВА

Система обеспечивает качественные процессы управления и активного демпфирования крутильных колебаний при плавных перемещениях исполнительного органа (лопастей ВД) с амплитудой не более 20 угл мин в диапазоне рабочих скоростей ветра от 4,5 до 30м/с

1 США, патент № 4 257 736, МПК F03D 7/04, НКИ 416-51, "Регулируемый ветродвигатель"

2 Франция, заявка № 2 311 196, МПК F03D 7/04, "Устройство для регулирования скорости вращения ВД"

3 ФРГ, заявка № 3 150 824, МПК F03D 7/04, "Устройство для регулирования поворотом лопастей ВЭУ"

4 Обзорный отчет НИИТП, УДК 629.7.064.5.621.548, "Поиск и систематизация материалов по ВЭУ и их основным агрегатам на базе зарубежных и отечественных патентов и опубли-

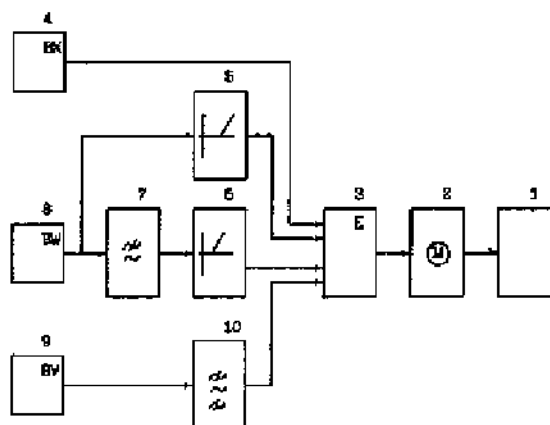
кованных в открытой печати источников" 11, М, 1989 г., с 119-260,

5 Кацман М.М. "Электрические машины", "Высшая школа", М., 1990 г., с 237-281

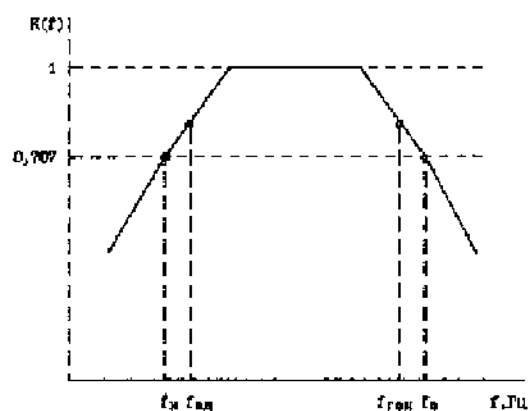
6 А с № 1 726 843, КИПК F03D 7/04, "Электромагнитный демпфер"

7 А с № 1 793 097, МЛЖ F03D 7/04, "Механический демпфер"

8 США, патент N 4 426 192, класс НКИ 416-1, (МПК F03D 7/04), "Способ и устройство для регулирования хода лопастей ветряной мельницы" - прототип



Фиг. 1



Фиг. 2