

ОПТИМАЛЬНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

Сырых М.А., студент; Хорхордин А.В., проф., к.т.н.

(ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, Украина)

Актуальность ветроэнергетики:

В настоящее время во всем мире наблюдается повышенный интерес к использованию в различных отраслях экономики нетрадиционных возобновляемых источников энергии. Ведется бурная дискуссия о выборе путей развития энергетики. Это связано, прежде всего, с растущей необходимостью охраны окружающей среды и истощением ископаемых природных ресурсов.

Крупные ветряные электростанции включаются в общую сеть, более мелкие используются для снабжения электричеством удалённых районов. В отличие от ископаемого топлива, энергия ветра практически неисчерпаема, повсеместно доступна и более экологична. Разработка проектов, связанных с возобновляемыми источниками электроэнергии, в частности ветроэнергетикой, является перспективным направлением в настоящее время.

Проблемы, связанные с ветроэнергетикой:

Ветроэнергетика является нерегулируемым источником энергии. Выработка ветроэнергии зависит от силы ветра, фактора, отличающегося большим непостоянством. Соответственно, выдача электроэнергии с ветрогенератора в энергосистему отличается большой неравномерностью, как в суточном, так и в недельном, месячном, годовом и многолетнем разрезе.

Современная ветроэнергетика имеет ряд проблем, которые негативным образом влияют на повышение эффективности энергосбережения. Наиболее актуальные из них следующие:

- обеспечение продолжительного функционирования ветроэлектрических агрегатов;
- обеспечение эффективного использования энергии ветра;
- стабилизация частоты электроэнергии, которую вырабатывают ветроустановки.

Также с ростом доли возобновляемых источников энергии приобретает качество энергии, которую они поставляют в сеть. Эта проблема особенно актуальна для ветровых генераторов, поскольку скорость ветрового потока является очень нестабильной величиной, а следовательно без качественного регулирования нестабильной оказывается и выходная мощность ветрогенератора. Труднореализуемой задачей является точная синхронизация ВЭУ с сетью, учитывая переменный характер ветра и большие массы ветроколеса

Поэтому целью моей работы является оптимальное управление группой ветроустановок работающих параллельно с ЭЭС.

Задача:

Основной задачей является получение максимально возможной равномерной мощности от ветроэлектростанции.

От системы управления требуется выполнение различных по своему характеру воздействий — от непрерывного управления с быстрой реакцией до дискретных аварийных защитных действий и процессов со строго последовательными операциями. Поскольку различные управляющие функции в разной степени влияют на обеспечение безопасности и надежности работы ВЭУ, система не может быть оптимальной во всех отношениях.

Основные технические требования, предъявляемые к системе управления ВЭУ при параллельной работе с сетью, представлены ниже:

- работоспособность при заданных эксплуатационных условиях;
- автоматический пуск и последующая синхронизация;
- регулирование мощности и частоты вращения ротора;

- контроль собственных подсистем и оборудования ВЭУ, периодический самоконтроль
- формирование и выдача команд для управления элементными системами ВЭУ.

Задачами системы управления является:

- поддержание частоты (активная мощность);
- поддержание напряжения (реактивная мощность);
- показатели качества электрической энергии;
- защита и автоматика ВЭС.

При рассмотрении вышеперечисленных требований необходимо учитывать, что ветер характеризуется непостоянством величины и направления, поэтому пульсации мощности единичной ВЭУ (рисунок 1) должны сглаживаться большим количеством агрегатов.

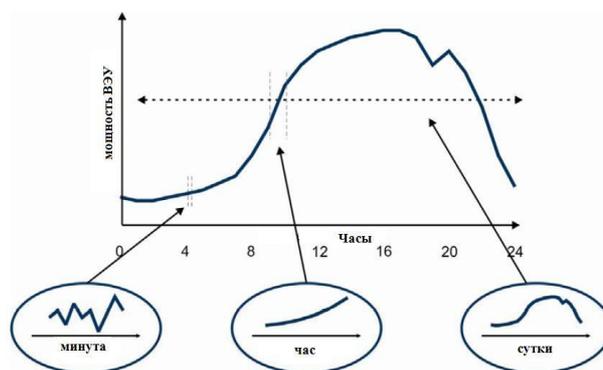


Рисунок 1 - Колебания мощности ВЭУ

Для регулирования выходной мощности ветрогенератора в настоящее время широко применяются два способа регулирования: pitch-регулирование и stahl-регулирование.

Для pitch-регулирования используются механизмы поворота лопасти с помощью электропривода. Для stahl-регулирования используется неповоротная лопасть, аэродинамические свойства которой обеспечивают стабилизацию мощности при скоростях ветра, выше номинальной. При этом масса лопасти и ее прочные свойства должны быть гораздо больше, чем для pitch-регулирования и так предпочтительней, с точки зрения соотношения масс и габаритных показателей ветроколеса, применение системы pitch-регулирования.

Для объяснения процесса регулирования приведем здесь формулу мощности, которую ветровой поток отдает ветроколесу:

$$P = 0.49 \cdot c_p(\lambda, \delta) \cdot D^2 \cdot V_w^3,$$

где c_p - коэффициент мощности ветроколеса, который зависит от быстроходности λ и установочного угла δ между плоскостью вращения ветроколеса и хордой крыла;
 D - диаметр ветроколеса;
 V_w - скорость ветра.

Быстроходность определяется, как отношение окружной скорости вращения конца лопасти к скорости ветра

$$\lambda = \frac{\omega \cdot R}{V_w}$$

Причем окружная скорость конца лопасти равна произведению угловой скорости вращения ω на радиус ветроколеса R .

Нужно сказать, что изменение скорости ветра на 10% приводит к 3%-ному увеличению мощности. В этом случае единственным фактором, при помощи которого можно стабилизировать мощность, остается коэффициент c_p , т.е. при увеличении скорости ветра этот коэффициент должен быть снижен, а при уменьшении скорости ветра повышен.

Изменение коэффициента c_p возможно за счет изменения установочного угла δ , который в конечном итоге влияет на соотношение между подъемной силой ΔA и силой сопротивления ΔW крыла (рисунок 2).

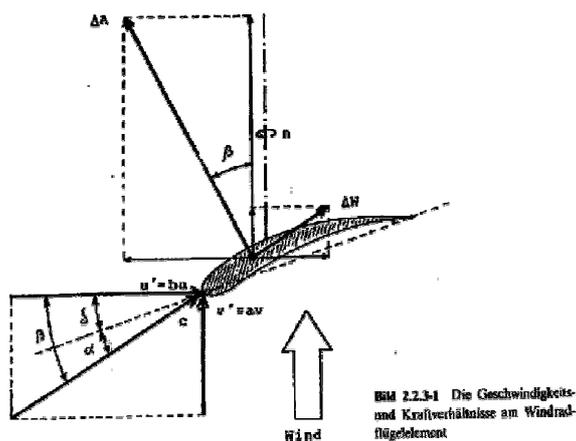


Рисунок 2 - Разрез лопасти ветроколеса (вид сверху) и силы, действующие на лопасть при обтекании ее ветровым потоком

Такой метод регулирования мощности носит название pitch-регулирование. Необходимо отметить, что зависимость коэффициента c_p от быстроходности λ и установочного угла δ носит нелинейный характер. Эта зависимость представлена на рис.3.

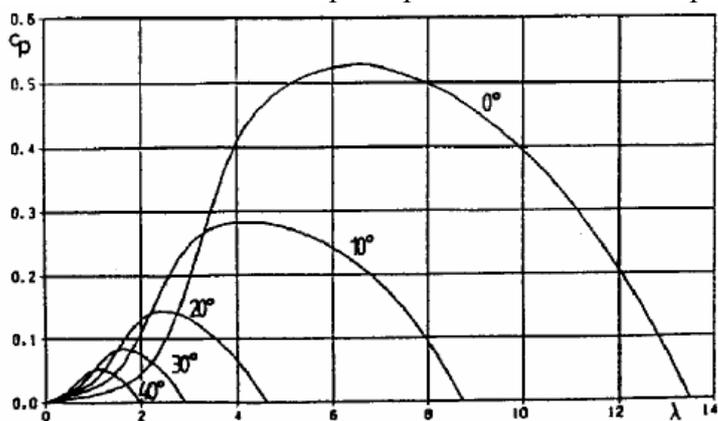


Рисунок 3 - Зависимость коэффициента c_p от быстроходности λ и установочного

Исходя из всего вышесказанного, можно сформировать контур регулирования мощности для ветрового генератора (Рисунок 4).

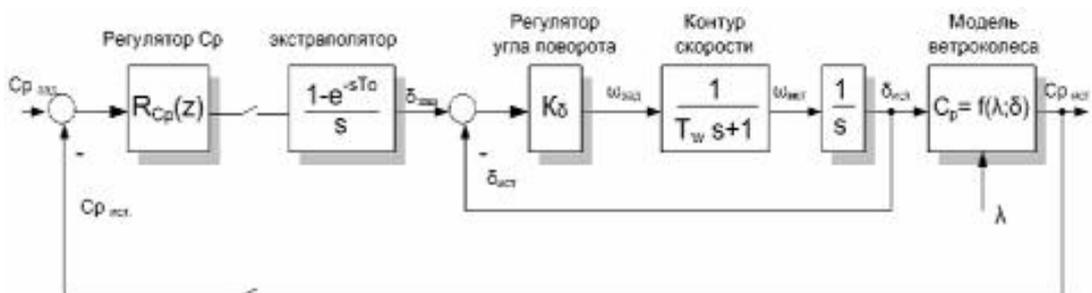


Рисунок 4 - Контур регулирования коэффициента мощности c_p

Для решения задач обеспечения максимального к.п.д. и стабилизации выходной мощности ветрогенератора предлагается выбрать структуру ветроустановки, изображенную на рисунке 5.

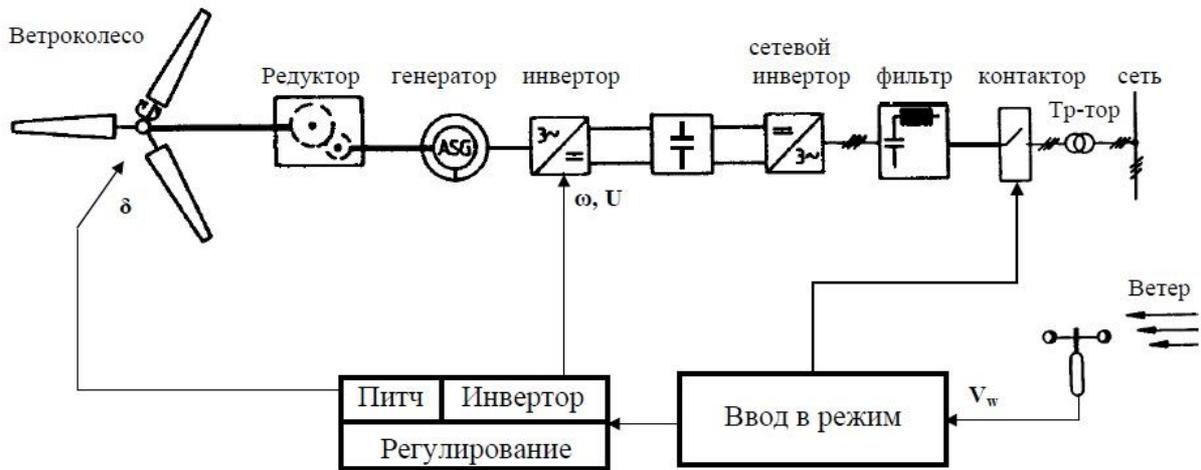


Рисунок 5 - Структурная схема ветроустановки

Задачей этой системы регулирования является сглаживание всплесков и колебаний мощности ветрогенератора, возникающих из-за нестабильности скорости ветра. В приведенной системе регулирования эта задача решается применением двух способов регулирования.

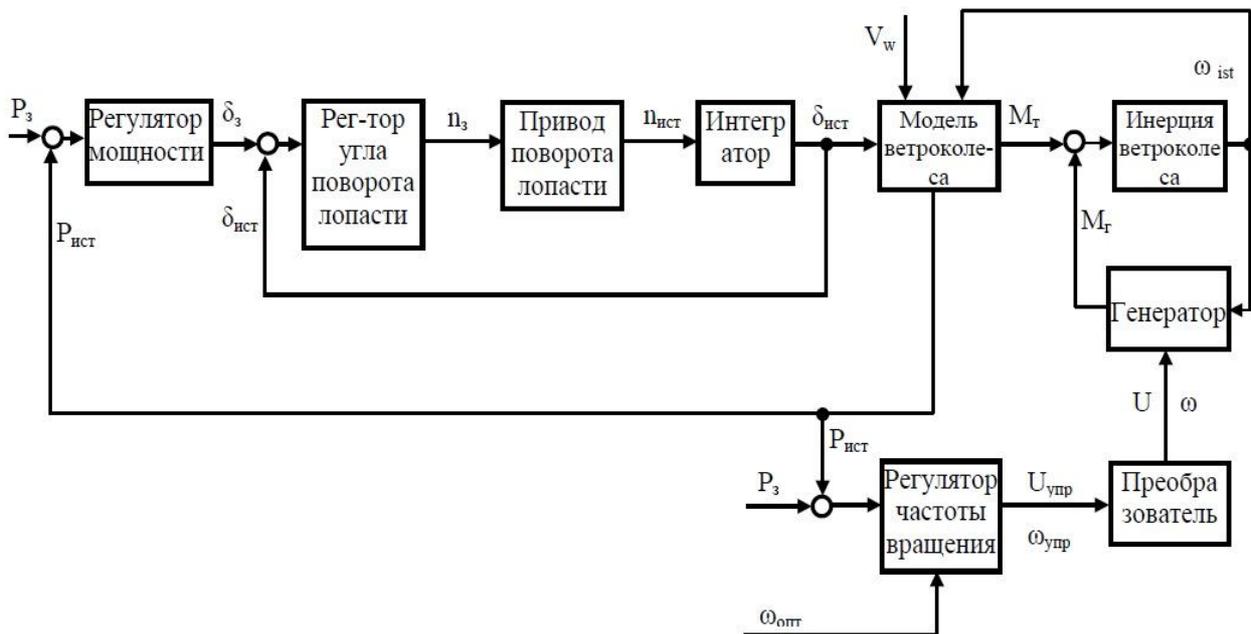


Рисунок 6 - Структурная схема системы стабилизации мощности

Первый способ - это так называемое питч-регулирование, которое предусматривает управление углом поворота лопасти с целью стабилизации момента, создаваемого ветровым потоком на валу ветрогенератора. Это управление осуществляет регулятор мощности. Однако мощность ветроколеса находится в нелинейной зависимости от угла поворота лопасти, поэтому в контуре регулирования мощности регулятору приходится работать с нелинейным объектом регулирования. Следовательно, регулятор мощности должен быть адаптивным. Для адаптации регулятора к нелинейным свойствам ветроколеса можно использовать нейро- или фазы-алгоритмы. Если же за счет механизма питч - регулирования

не удастся в достаточной степени сгладить колебания мощности ветроколеса, то можно дополнительно применить второй способ регулирования, смысл которого заключается в следующем. Т. к. ветроколесо имеет достаточно большой момент инерции, то оно является большим накопителем кинетической энергии. Кинетическую энергию ветроколеса можно использовать для сглаживания провалов и всплесков мощности ветрового потока. С физической точки зрения это выглядит так. При резном провале мощности ветрового потока ветроколесо должно снижать свою скорость вращения и тем самым отдавать свою кинетическую энергию в сеть, чтобы восполнить провал мощности. При всплеске мощности ветрового потока будет происходить обратный процесс, т.е. скорость вращения ветроколеса должна увеличиваться, таким образом, излишняя энергия ветрового потока не будет передаваться в сеть, а будет накапливаться в виде кинетической энергии ветроколеса. В этом случае ветроколесо будет играть роль буфера, сглаживающего колебания мощности ветрового потока, и скорость его вращения будет колебаться в некоторых пределах. Эту задачу по управлению скоростью вращения ветроколеса выполняет регулятор частоты вращения ветроколеса, изображенный в нижней части рисунка 6.

Таким образом, указанный регулятор имеет двоякое назначение, во-первых, он должен обеспечить вращение ветроколеса на оптимальной частоте, с точки зрения поддержания максимального к.п.д., во-вторых, он должен обеспечивать изменения частоты вращения в некоторых пределах для того, чтобы скомпенсировать колебания мощности ветрового потока.

Необходимо отметить, что режим стабилизации мощности необходим не только с точки зрения щадящего режима для сети, но также он важен для самого ветрогенератора в тех случаях, когда скорость ветра становится больше номинальной, а мощность генератора нужно держать на уровне номинальной.

Вывод:

Для получения максимально возможной равномерной мощности от ветроэлектростанции необходимо применять Pitch-регулирование, которое является наиболее оптимальным методом для регулирования мощности, выдаваемой в сеть, через стабилизацию момента посредством поворота лопасти.

Предложенная модель регулятора обеспечивает вращение ветроколеса на оптимальной частоте, с точки зрения поддержания максимального к.п.д., а также обеспечивает изменения частоты вращения в некоторых пределах для того, чтобы скомпенсировать колебания мощности ветрового потока.

Перечень ссылок

1. Андрианов В.Н., Быстрицкий Д.Н., Ветроэлектрические станции-М.: Ленинград, 1960.-320с.
2. <http://elib.sfu-kras.ru/handle/2311/6906>
3. Стабилизация мощности ветрогенератора посредством механизма поворота лопасти / В. Г. Черников // Электромашинобуд. та електрообладн . - 2006. - Вип. 67. - С. 21-26. - Библиогр.: 5 назв. - рус.
4. Черников, В. Г. Оптимизация работы ветрогенераторов по критерию максимальной мощности / В.Г. Черников. - С.115-123. ББК 34я54