

ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ ВЕТРОГЕНЕРАТОРОВ

Черников В.Г.

Украина, Донецк

Донецкий национальный технический университет

Постановка проблемы. В условиях резкоизменяющейся скорости ветра ветрогенераторам, из-за несовершенства системы регулирования, зачастую приходится работать с пониженным к.п.д. и выдавать в сеть мощность с большими всплесками и колебаниями. Пониженный к.п.д. приводит к недоиспользованию энергии ветрового потока, а резкие изменения мощности ветрогенератора приводят к ухудшению качества напряжения питающей сети и в случае слабой сети могут привести к существенным колебаниям напряжения у потребителей.

Постановка задачи. Требуется создание системы регулирования, которая могла бы оптимизировать работу ветрогенератора по следующим критериям: а) обеспечение максимального к.п.д., б) стабилизация выходной мощности ветрогенератора в условиях резкоизменяющейся скорости ветра. Поскольку существует множество вариантов реализации силовой части ветроустановок, то система регулирования должна быть адаптирована к определенному избранному варианту.

Предлагаемые решения. Для решения задач обеспечения максимального к.п.д. и стабилизации выходной мощности ветрогенератора предлагается выбрать структуру ветроустановки, изображенную на рис. 1.

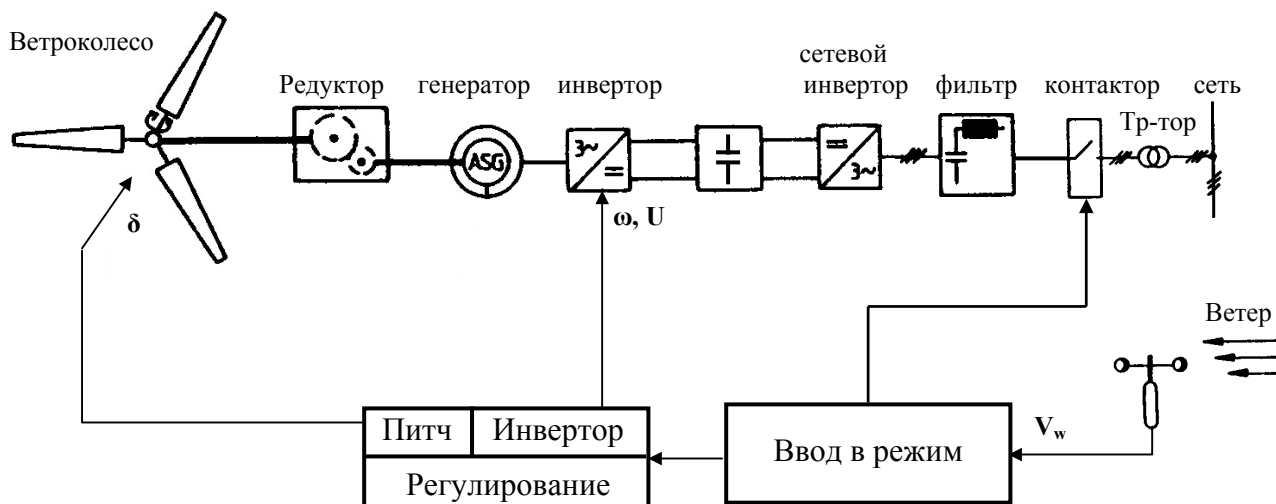


Рис. 1 Структурная схема ветроустановки

Силовая часть ветроустановки построена на основе асинхронного генератора с короткозамкнутым ротором, соединенного с сетью через преобразователь частоты. Преобразователь частоты в свою очередь состоит из тиристорного сетевого инвертора, обеспечивающего отдачу энергии в сеть, и транзисторного инвертора, задающего частоту вращения генератора. Оба инвертора соединены между собой контуром постоянного напряжения. Выбор асинхронного короткозамкнутого генератора объясняется его дешевизной, неприхотливостью в работе и низкими затратами на обслуживание, поскольку в этом генераторе исключены щеточные контакты. В качестве ветроколеса выбирается трехлопастное ветроколесо с горизонтальной осью и возможностью поворота лопасти по отношению к плоскости вращения ветроколеса. Из формулы мощности, которую ветер передает ветроколесу, вытекают возможности воздействия на к.п.д. ветрогенератора.

$$P = \frac{1}{2} c_{pw}(\lambda, \delta) \cdot \rho \cdot F \cdot V_w^3 \quad (1)$$

Где ρ -плотность воздуха, F -площадь, ометаемая ветроколесом, V_w -скорость ветра, c_{pw} -коэффициент мощности ветроколеса, который зависит от быстроходности λ и угла δ между плоскостью вращения ветроколеса и хордой крыла. Быстроходность определяется, как отношение окружной скорости вращения конца лопасти к скорости ветра. Причем окружная скорость конца лопасти может быть определена как произведение угловой скорости вращения ω на радиус ветроколеса R .

$$\lambda = \frac{\omega \cdot R}{V_w} \quad (2)$$

Если рассмотреть зависимость коэффициента мощности c_{pw} от быстроходности λ при фиксированном угле δ для определенного профиля лопасти, то получим зависимость изображенную на рис.2. Приведенный рисунок показывает, что существует некоторая быстроходность ветроколеса λ_d , при которой коэффициент мощности c_{pw} достигает своего наибольшего значения, т.е. эта быстроходность является оптимальной с точки зрения поддержания максимального коэффициента мощности. Необходимо отметить, что согласно теории идеального ветроколеса, максимально возможный коэффициент мощности для ветроколеса с горизонтальной осью равен $c_{pwmax}=0,5926$. В связи с этим правая вертикальная ось на рисунке 2 показывает значение к.п.д. ветроколеса η_w . Величина к.п.д. η_w демонстрирует, насколько коэффициент мощности реального ветроколеса c_{pw} приближается к максимально возможному коэффициенту мощности $c_{pw max}$.

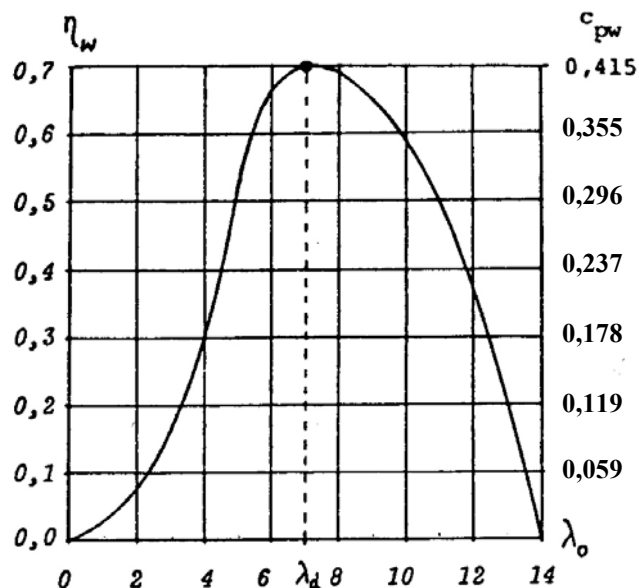


Рис. 2 Зависимость коэффициента мощности c_{pw} от быстроходности λ .

Однако, скорость ветра – величина очень нестабильная и существенно меняется в течении суток. Таким образом, из формулы 2 становится очевидным, что из-за постоянного изменения скорости ветра величина быстроходности ветроколеса так же будет меняться и отклоняться от оптимального значения, если угловая скорость вращения ветроколеса будет оставаться неизменной. Т.е. существенную часть времени ветроколесо будет работать с заниженным к.п.д. Следовательно, для поддержания оптимальной быстроходности λ_d необходимо изменять скорость вращения ветроколеса пропорционально скорости ветра, другими словами подстраивать под ветер. Таковую задачу по изменению скорости вращения ветроколеса способен выполнить инвертор, изображенный на рис. 1. Поскольку мощные асинхронные генераторы имеют скольжения в пределах 1-2%, то скорость вращения поля, заданная инвертором, практически будет определять скорость вращения ветроколеса, конечно с учетом передаточного числа редуктора.

Но если взглянуть на поведение скорости ветра в течении достаточно короткого интервала времени, то можно увидеть, что скорость ветра очень нестабильна и существенно может измениться за 1-2 секунды (см. рис.3). В этом случае для поддержания оптимальной быстроходности можно ориентироваться только на некоторое среднее значение скорости ветра внутри определенного интервала времени.

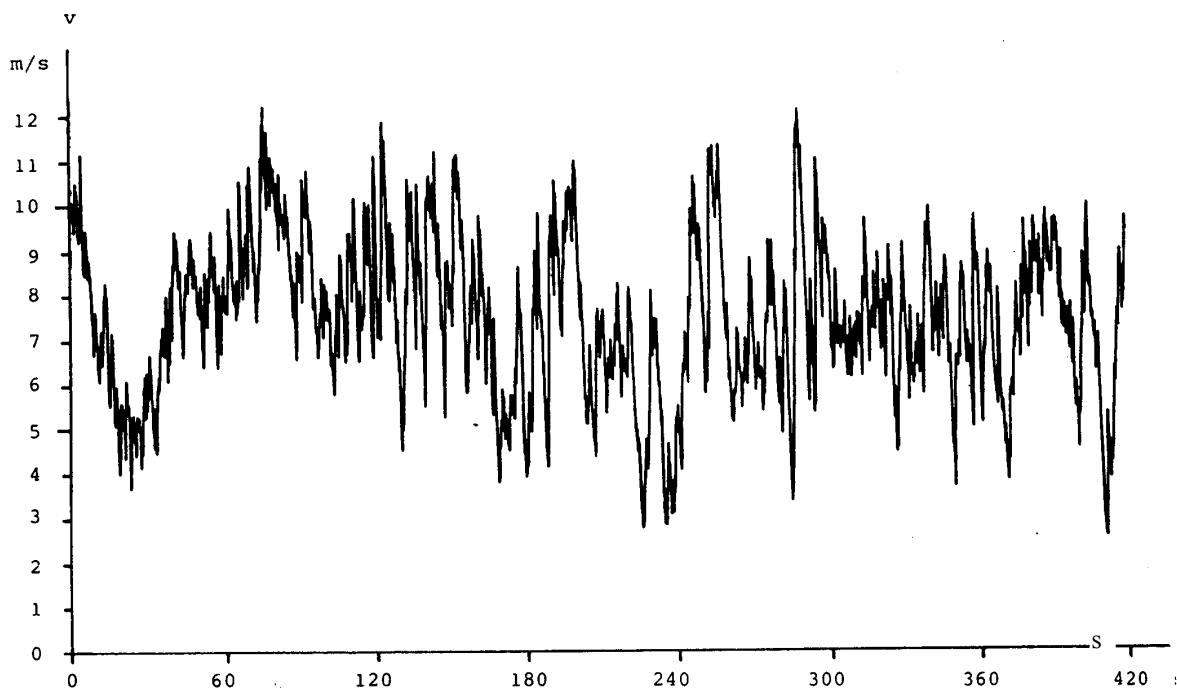


Рис. 3 Поведение скорости ветра внутри временного интервала.

Нестабильное поведение скорости ветра, кроме воздействия на к.п.д., приводит к резким изменениям мощности ветроколеса. Т.к. в формуле 1 мощность ветроколеса зависит от скорости ветра в кубе. Это означает, что даже при небольшом изменении скорости ветра мощность будет меняться существенно. И если ничего не предпринимать в этом отношении, то ветрогенератор будет передавать в сеть мощность с большими колебаниями и всплесками, что негативно отражается на состоянии сети и качестве питающего напряжения. Для решения этой проблемы предлагается применить систему регулирования, изображенную на рис 4. Здесь применены следующие сокращения: P_z и $P_{ист}$ – заданное и истинное значение мощности ветроколеса, δ_z и $\delta_{ист}$ – заданное и истинное значение угла поворота лопасти по отношению к плоскости вращения ветроколеса, n_z и $n_{ист}$ – заданное и истинное значение скорости вращения лопасти вокруг своей оси, M_T и M_G – момент ветроколеса и момент генератора, $\omega_{опт}$ – задание на оптимальную скорость вращения ветроколеса с целью поддержания максимального к.п.д., $\omega_{ист}$ – реальная скорость вращения ветроколеса, V_w – скорость ветра, $U_{упр}$ и $\omega_{упр}$ – сигналы управления частотой и напряжением преобразователя.

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.

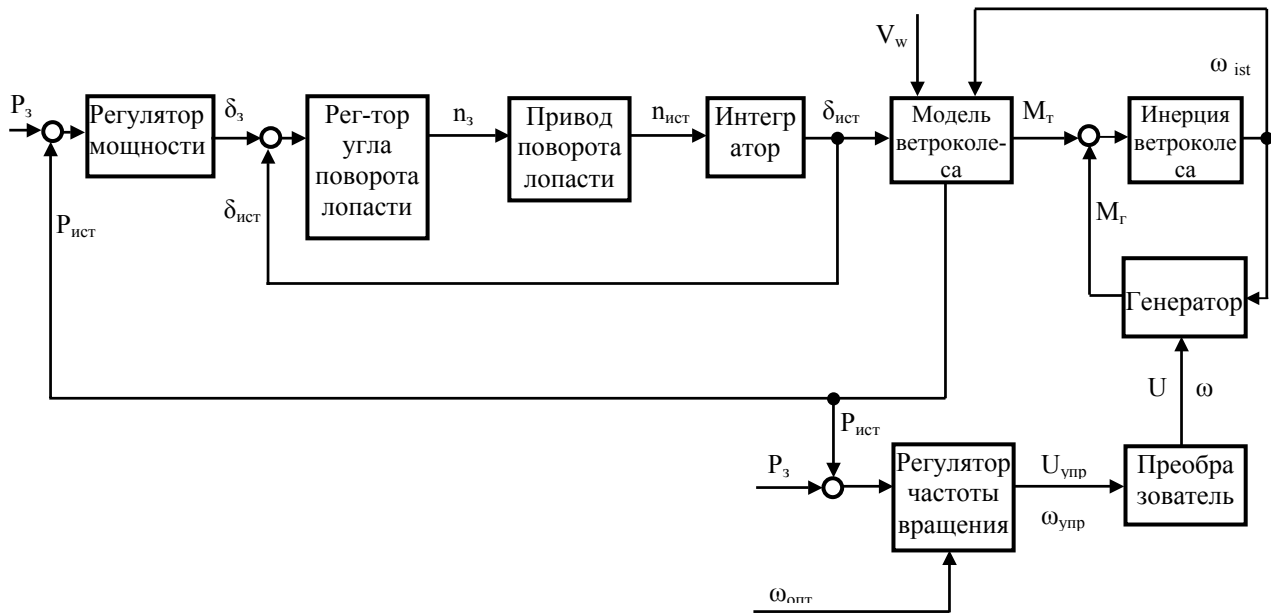


Рис. 4 Структурная схема системы стабилизации мощности ветрогенератора.

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 в 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 4. Таким образом, указанный регулятор имеет двойное 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.

Проведенные исследования на математической модели показали эффективность предложенного подхода к оптимизации режимов работы ветроустановки, что является предпосылкой для проведения исследований на экспериментальной установке.

Поступила в редакцию 11 января 2004 года