

УПРАВЛЕНИЕ МОЩНОСТЬЮ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

А.С. Мартьянов

При проектировании ветроэнергетических установок (ВЭУ) возникает задача автоматического регулирования мощности, вырабатываемой ВЭУ для обеспечения эффективной работы в широком диапазоне скоростей ветра. Как известно, в условиях переменной скорости ветра роторы ВЭУ характеризуются неустойчивостью по скорости вращения [1]. При нарушении баланса между аэродинамической мощностью ротора и электрической мощностью электрогенератора, скорость вращения либо увеличивается, либо уменьшается, отклоняясь от своего оптимального значения и снижая производительность ВЭУ. Нарушение баланса мощности вызывается неравномерностью нагрузки потребителя и случайными изменениями скорости ветра.

Для обеспечения эффективного регулирования ВЭУ может быть оснащена цифровой системой управления. Одной из основных задач системы управления является регулирование скорости вращения ротора с целью обеспечения максимальной производительности ВЭУ в условиях переменного ветра путём изменения отбираемой от электрогенератора мощности. Для поддержания баланса мощностей, требуемого в целях управления,

необходимо правильно определять аэродинамическую мощность ротора, в зависимости от скорости ветра и скорости вращения. Этому способствует то обстоятельство, что аэродинамические характеристики ротора ВЭУ достаточно хорошо изучены и располагаемая аэродинамическая мощность ротора может быть с необходимой точностью определена по табличным зависимостям, хранящимся в памяти системы управления.

Зависимость аэродинамической мощности P_A ротора ВЭУ от скорости вращения ω для различных скоростей ветра известна [1]. Вращение ротора можно описать уравнением

$$dE/dt = P_A - P_{\text{Э}}, \quad (1)$$

где E – кинетическая энергия ротора; t – время; $P_{\text{Э}}$ – мощность электрогенератора.

Из (1) ясно, что для устойчивого вращения ротора в районе максимальной мощности, то есть в районе скорости вращения ω_0 , необходимо выполнять условия:

$$P_A > P_{\text{Э}}, \text{ при } \omega < \omega_0; \quad (2)$$

$$P_A < P_{\text{Э}}, \text{ при } \omega > \omega_0. \quad (3)$$

Условия (2), (3) может обеспечить цифровая система управления. Используя измеряемые значения скорости ветра, скорости вращения ротора, токов и напряжений в цепях электрогенератора система управления вырабатывает команды, поступающие к регулятору мощности, который изменяет полную мощность электрогенератора.

Таким образом, в диапазоне $\omega < \omega_0$, где выполняется условие (2), устраняется возможность самопроизвольной остановки ротора. Это делается за счет ограничения нагрузки электрогенератора. В диапазоне скоростей вращения $\omega > \omega_0$, где выполняется условие (3), мощность $P_{\text{Э}}$ может превышать мощность ротора P_A . При этом недостаток аэродинамической мощности ротора восполняется за счет кинетической энергии вращения ротора E , ротор тормозится и аэродинамическая мощность увеличивается.

В предположении медленного изменения скорости ветра может быть предложен очевидный и достаточно простой алгоритм вычисления требуемой текущей мощности генератора. Он реализуется следующей цепочкой вычислений:

$$P = \begin{cases} P_A(V, \omega), & \text{при } \omega < \omega_0(V); \\ P_A(V, \omega_0(V)), & \text{при } \omega > \omega_0(V), \end{cases} \quad (4)$$

где $P_A(V, \omega)$ – располагаемая мощность ротора ВЭУ, вычисляемая по табличной зависимости, хранящейся в памяти СУ; V – скорость ветра, измеряемая анемометром непосредственно перед вычислением P_A ; $\omega_0(V)$ – оптимальная скорость вращения ротора ВЭУ, вычисляемая по формуле

$$\omega_0(V) = \begin{cases} K_0 \cdot V, & \text{при } V < V_M; \\ \omega_{\text{МАХ}} = K_0 \cdot V_M, & \text{при } V > V_M, \end{cases} \quad (5)$$

где K_0 – числовой коэффициент; V_M – значение скорости, в котором зависимость $\omega_0(V)$ терпит излом; ω_{MAX} – максимально допустимое значение угловой скорости.

Недостатком описываемого способа является необходимость наличия датчика скорости ветра (анемометра) для определения располагаемой мощности P_A , что создает определенные сложности при конструировании ВЭУ, а также приводит к удорожанию всей системы. Для устранения этих недостатков и упрощения алгоритмов управления предлагается следующий способ регулирования, заключающийся в том, что дополнительно в систему управления заносится зависимость максимально возможной мощности P_{Σ} от частоты вращения ротора ω , которая выбирается исходя из условия (2). Это приводит к ограничению области работы ротора в координатах скорость ветра – частота вращения ротора областью, где обеспечивается устойчивая работа ВЭУ.

Для исследования поведения ротора в условиях изменяющегося ветра была построена программно-математическая модель ВЭУ. Модель реализована в программной среде визуального программирования VisSim[2] и имеет блочную структуру, показанную на рис. 1.

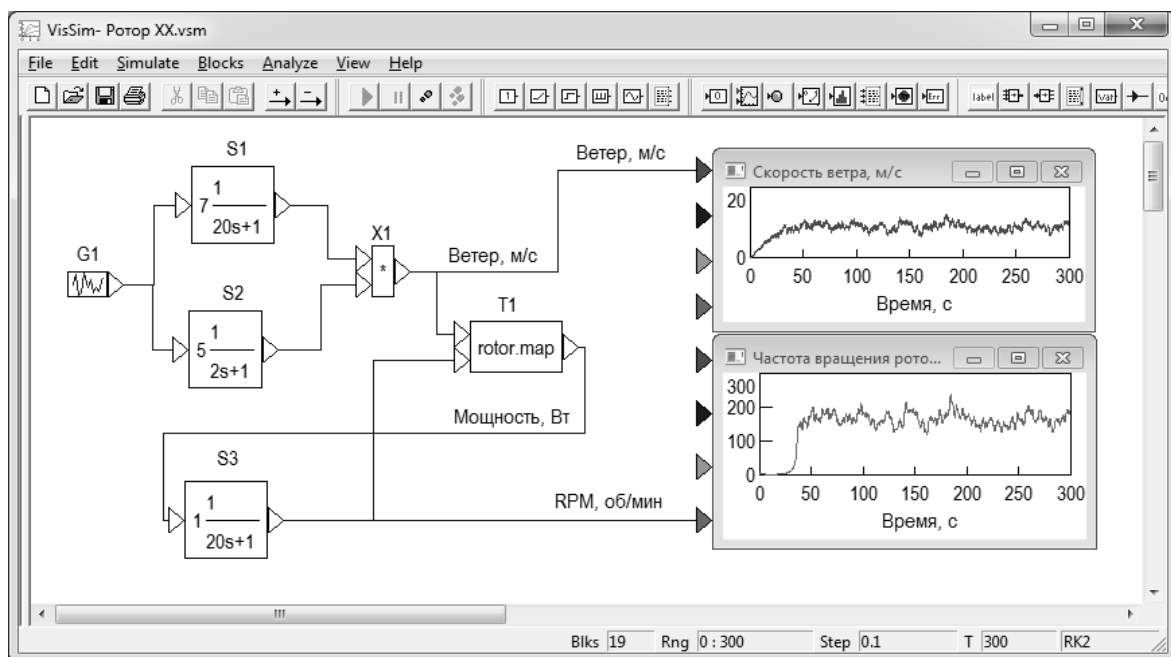


Рис. 1. Математическая модель ветра и ротора ВЭУ, работающего на холостом ходу

Программно-математическая модель ветра построена на генераторе случайных чисел G1, передаточных функциях S1, S2, умножителе X1, и представляет собой упрощенную модель, описанную в [3]. Зависимости мощности ротора в зависимости от скорости ветра и текущей частоты вращения [1], представлены табличным описанием, хранящимся в блоке T1,

а передаточная функция $S3$ учитывает влияние механических характеристик, таких как момент инерции ротора, трение. На рис. 1 видно, что предложенная математическая модель ветра достаточно близко описывает реальное поведение ветра, а поведение ротора на холостом ходу соответствует характеристикам ротора.

Для моделирования системы управления в программно-математическую модель были добавлены регулятор $T2$, который с помощью блоков $X2$ и $X3$ (рис. 2) имитирует отбор мощности от ротора ВЭУ в зависимости от частоты вращения ротора, при этом закон ограничения мощности задан табличным способом в блоке $T2$.

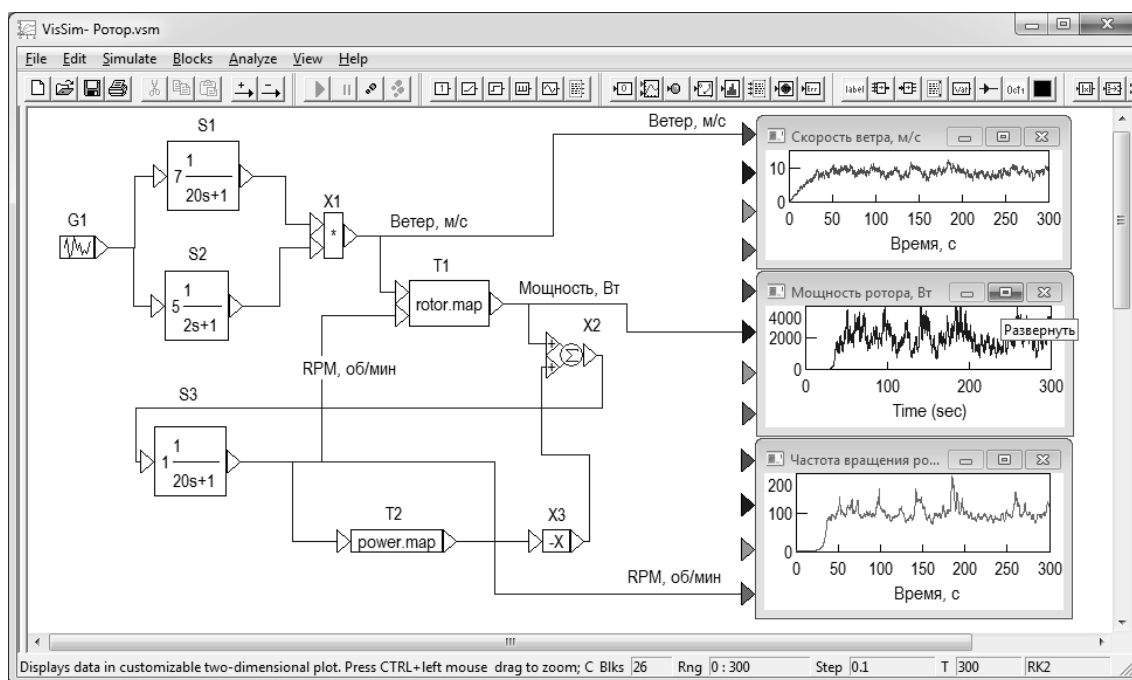


Рис. 2. Математическая модель ветра и ротора ВЭУ, работающего под нагрузкой

Из результатов моделирования видно, что предложенный способ регулирования обеспечивает достаточно эффективное управление мощностью ВЭУ, обеспечивая как раскрутку ротора ВЭУ в начале работы, так и следование изменениям скорости ветра, что должно обеспечить эффективную работу ВЭУ в условиях переменной скорости ветра.

Таким образом, результаты численного моделирования подтверждают работоспособность и эффективность предложенного алгоритма управления вращением ВЭУ. Данный алгоритм может применяться, если в качестве нагрузки используется постоянно подключенный накопитель энергии, способный воспринимать всю производимую мощность ВЭУ. В этом случае исключается работа вхолостую, когда ресурс установки вырабатывается без пользы, и исключаются простои ВЭУ при наличии ветра, уменьшая сроки окупаемости изделия.

Библиографический список

1. Мартьянов, А. С. О преобразовании энергии в ветроэнергетических установках малой мощности / А.С. Мартьянов, И.М. Кирпичникова // Наука ЮУрГУ: материалы 61-й науч. конф. Секции технических наук. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2009. – Т. 2 – 304 с.
2. Дьяконов, В.П. VisSim + Mathcad + MATLAB. Визуальное математическое моделирование / В.П. Дьяконов. – М.: СОЛОН-Пресс, 2004. – 384 с.
3. Кирпичникова, И.М. Моделирование на ЭВМ динамической составляющей скорости ветра в зависимости от времени / И.М. Кирпичникова, О.В. Матвеевко // Альтернативная энергетика и экология. – 2010. – № 1(81). – С. 54–59.