

## СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ МОДУЛЬНЫМ КОМПЕНСАТОРОМ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ ПРОМЫШЛЕННОЙ ВЭС

**Введение.** Работа ветроэлектрической станции (ВЭС) параллельно с электросистемой должна удовлетворять нормам качества электроэнергии по ГОСТ 13109-97, правилам проектирования ВЭС (ГКД 341.003.001.002-2000) и техническим условиям на присоединение ВЭС к системе. Согласно последним двум документам необходимо обеспечивать непрерывную компенсацию реактивной мощности ВЭС в полном диапазоне изменения скорости ветра.

Промышленные ВЭС в Украине состоят из ветроэлектрических установок (ВЭУ) с асинхронными генераторами. Опыт эксплуатации данных станций свидетельствует о значительном потреблении ими реактивной энергии, среднегодовая величина которой составляет 50-90% от генерируемой активной энергии. Это объясняется недостаточной мощностью штатных компенсирующих конденсаторных батарей, входящих в комплектацию эксплуатируемых ВЭУ, а также отсутствием компенсирующих устройств реактивной мощности трансформаторов силовых подстанций ВЭС. В [1] разработано схемотехническое решение компенсатора реактивной мощности для базовых ветроэлектрических модулей (ВЭМ) мощностью 1000кВА и 1600кВА, составляющих основу введенных в эксплуатацию промышленных ВЭС. Модульный компенсатор реактивной мощности (МКРМ) состоит из регулируемого и нерегулируемого блоков и подключается к шинам 0,4кВ трансформаторной подстанции. Регулируемый блок содержит коммутируемые ступени конденсаторных батарей и функционирует в автоматическом режиме под управлением микропроцессорной системы. Измерительная часть системы управления может подключаться как на стороне 35/10кВ для компенсации реактивной мощности на высоковольтной стороне трансформаторной подстанции, так и на стороне 0,4кВ.

Сложность задачи полной компенсации реактивной мощности обусловлена нестабильностью процесса генерирования электроэнергии, зависящего от скорости ветра, величина которой может меняться в довольно широком диапазоне за очень короткий промежуток времени.

**Постановка задачи исследования.** Определение требований к системе управления процессом полной компенсации реактивной мощности промышленных ВЭС путем дискретного изменения емкости конденсаторных батарей ветроэлектрических модулей, выбор приемлемого типа серийного микропроцессорного регулятора.

**Материалы исследования.** Величина реактивной мощности ВЭМ имеет постоянную и переменную составляющие. Постоянная составляющая обусловлена потреблением холостого хода генераторов и силового трансформатора, а переменная – потреблением их контуров рассеивания [2]. Переменная составляющая пропорциональна кубу скорости ветра, которая является случайной функцией времени (t) и может быть описана следующим образом[3]:

$$V(t) = V_{10} + V_n(t) = \frac{1}{T} \int_0^T V(t) dt + V_n(t),$$

где  $V(t)$ ,  $V_{10}$  – мгновенное и среднее значения скорости ветра за 10-минутный интервал времени  $T$ ;

$V_n(t)$  – порыв скорости ветра относительно среднего значения.

Случайной величиной является переменная  $V_n(t)$ , которая определяется по стохастической модели, разработанной для задач ветроэнергетики [4]:

$$V_i = V_{10} \left[ 1 + \sigma_v (-2 \ln x_{1,i})^{1/2} \sin(2\pi x_{2,i}) / V_c \right] - \sigma_v \sum_{i=1}^L \left\{ t_{pi} \left[ \begin{array}{l} (-2 \ln x_{1,i-1})^{1/2} \sin(2\pi x_{2,i-1}) \\ (-2 \ln x_{1,i})^{1/2} \sin(2\pi x_{2,i}) \end{array} \right] \right\} \left( 2 \sum_{i=1}^L t_{pi} \right),$$

$$t_{pi} = (k_i)_{\min}, \sum_{k=0}^k (t_{пср}^k / k!) \exp(-t_{пср}) \geq x_{pi}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, L, \quad x_{1,0} = 1, \quad x_{2,0} = 0, \quad k = 1, 2, 3, \dots, K,$$

где  $V_i$ ,  $t_{pi}$  – амплитуда и длительность  $i$ -го порыва;  $\sigma_v$  – среднеквадратичное отклонение амплитуды пульсаций;  $x_1, x_2, x_{pi}$  – псевдослучайные числа;  $L$  – количество шагов моделирования усреднения.

В результате имитационного моделирования переменной составляющей реактивной мощности одной ВЭУ с использованием данной стохастической модели порывов скорости ветра было установлено, что на 10-ти минутном интервале времени средняя длительность пульсации составляет 4-5 секунд, а величина мощности изменяется в 8-12 раз. Для ВЭМ длительность пульсаций несколько увеличится, а диапазон изменения мощности уменьшится в результате пространственного размещения ВЭУ. Однако, так как расположение ВЭУ

зависит от ландшафта местности в каждом конкретном случае, то в настоящее время еще отсутствуют обобщающие результаты по этому вопросу. и при создании системы управления следует ориентироваться на полученные выше параметры.

С учетом полученных результатов сформулируем следующие основные требования к системе автоматического управления (САУ) модульным компенсатором реактивной мощности промышленных ВЭС:

- управление коммутацией 8-12 ступеней конденсаторных батарей,
- реализация равномерного закона распределения количества коммутаций аппаратуры,
- самодиагностика ресурса конденсаторных батарей и коммутирующей аппаратуры,
- возможность дистанционного управления и программирования режимов работы,
- автоматическое создание баз данных параметров работы компенсатора,
- возможность использования в установках низкого и среднего напряжения,
- возможность использования в условиях когенерации активной и реактивной мощности,
- высокая надежность и безотказная работа.

Структурная схема САУ модульного компенсатора реактивной мощности показана на рис. 1.

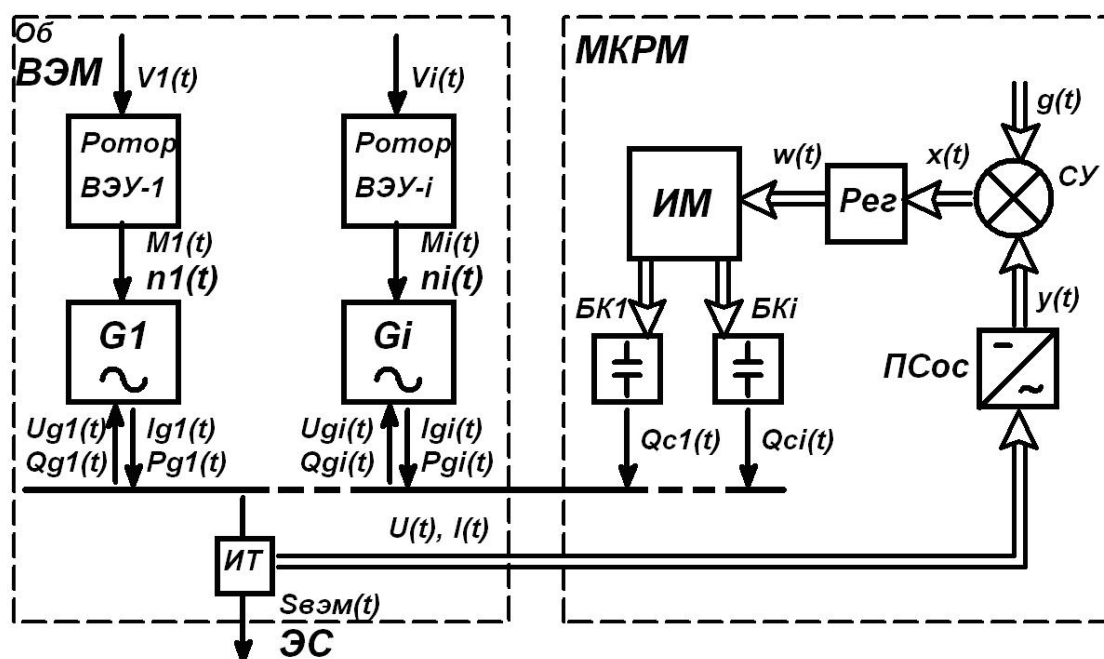


Рис. 1. Структурная схема САУ:

ЭС – электросистема; СУ – сравнивающее устройство; ПСос – преобразователь сигнала обратной связи; Рег – регулятор; ИМ - исполнительный механизм; БК1, БКи – батарея конденсаторов 1-я и i-я; ИТ – измерительные трансформаторы;  $y(t)$  – регулируемая величина ( $\cos\phi$ );  $g(t)$  - задаваемые значения регулируемой величины (значение коэффициента мощности в режиме когенерации от 0,8 инд. до 0,8 емк.);  $x(t)$  – отклонение заданной величины;  $w(t)$  – управляющий сигнал на выходе регулятора;  $U(t), I(t)$  – измеряемые величины напряжения и тока обратной связи ВЭМ;  $Q_{c1}(t), Q_{ci}(t)$  – компенсирующая мощность конденсаторных батарей от 1-й до i-й.

Опытный образец САУ модульного компенсатора был создан на основе микропроцессорного комплекта с реализацией передачи данных на центральный пункт управления ВЭС. В качестве регулятора реактивной мощности использовалось серийное изделие DCRJ-12 фирмы «Ловато электрик» (Италия).

**Выводы.** Образец разработанной САУ успешно прошел годичную опытную эксплуатацию и был сдан в промышленную эксплуатацию в составе модульного компенсатора реактивной мощности на Мирновской ВЭС.

#### Литература.

1. Даниленко А.И., Васько П.Ф. Модульный компенсатор реактивной мощности для промышленных ветроэлектрических станций с асинхронными генераторами // Энергетика та електрифікація. – 2006. - №10. - С. 14-17.
2. Васько П.Ф., Васько В.П., Даниленко О.І. Узгодження умов компенсації реактивної потужності та електромагнітної сумісності обладнання промислових вітроелектричних станцій з асинхронними генераторами // Відновлювана енергетика. – 2006. - №4. – С. 56-62.
3. Панчев С. Случайные функции и турбулентность. Л.: Гидрометеиздат, 1967. – 443 с.
4. Денисенко Г.И., Васько П.Ф., Пекур П.П. Стохастическое моделирование параметров ветра для задач ветроэнергетики // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт. – 1990. - №2. – С. 109-115.