

## Оценка параметров в системе управления ветряным генератором

*Пчельников Владислав Дмитриевич  
филиал «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске  
студент*

### Аннотация

Предложена структура системы управления ветряным генератором. В ее основе лежит статистическая фильтрация зашумленных сигналов измерений. Приведены результаты имитационного эксперимента в среде.

**Ключевые слова:** статистическая фильтрация, автоматические системы управления

## Estimation of parameters in the wind generator control system

*Pchelnikov Vladislav Dmitrievich  
National Research University «Moscow Power Engineering Institute» (Branch) in  
Smolensk  
Student*

### Abstract

The structure of the wind generator control system is proposed. It is based on statistical filtering of noisy measurement signals. The results of an imitation experiment in a medium are presented.

**Keywords:** statistical filtration, automatic control systems

Усиление заботы об экологической обстановке приводит развитые страны к необходимости применения инновационных технологий в сфере энергетики и ее переходу на альтернативные источники энергии: приливные и волновые электростанции, использование энергии Солнца, ветра, геотермальных источников. Низкие риски нанесения ими ущерба окружающей среде, возможность получения мобильных энергетических установок делает привлекательным их использование на самых разнообразных объектах (конечно там, где это позволяют природные условия и требования по эксплуатации того или иного источника). Одним из примеров такого использования на обособленном объекте можно считать ветряной генератор (ВГ), установленный в филиале МЭИ в городе Смоленске. Эта установка вырабатывает напряжение 48 В при номинальной мощности 2,5 кВт (максимальная 3 кВт).

Ввод в эксплуатацию ВГ в институте ставил своей целью, прежде всего, возможность приобретения студентами знаний в области использовании энергии ветра для получения электроэнергии, а также практических навыков по контролю параметров и управлению установкой ВГ. Наличие системы

регулирования, контроля и защиты механических и электрических параметров обеспечивает работу установки в условиях нестабильности метеорологической обстановки в нашем регионе, проявляющаяся в том числе в значительных колебаниях силы и направления ветра даже в течении нескольких часов. Эти обстоятельства делают особенно актуальным совершенствование систем управления ВГ, позволяя студентам приобретать ценный опыт при апробации своих решений на практике.

Автором была предложена усовершенствованная схема управления ВГ, в основе которой лежат методы теории оценивания [1]. Это предложение было основано на результатах анализа, который показал, что применяемая управляющая аппаратура не содержит блоков, осуществляющих алгоритмически сложную обработку поступающей информации, которая может быть использована для выработки управляющих воздействий.

Следует отметить, что оценивание параметров разбивается на три подзадачи: сглаживания, фильтрации и экстраполяции. В данном случае применяется фильтрация, предполагающая, что получение оценки происходит в реальном времени без задержки, как в случае сглаживания или вычисления прогнозных значений контролируемых параметров, как в случае оценивания с экстраполяцией.

Фильтрация на основе частотных фильтров в данном случае не применима, так как спектры низкочастотного полезного сигнала и низкочастотной помехи измерений накладываются на частотной оси, как показано на рисунке 1, а именно такие параметры у анализируемых сигналов.

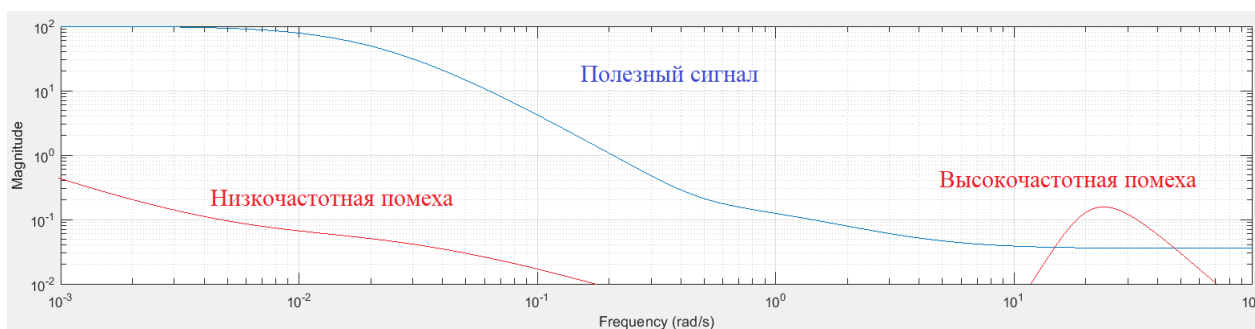


Рисунок 2 – Соотношение частотных спектров сигналов

Одной из основных задач управления ВГ (в данном случае мы не затрагиваем механические системы предотвращения деформации при сильной ветровой нагрузке) заключается в стабилизации или ограничении мощности при увеличении скорости ветра. Эта задача решается в диапазоне скоростей от расчетной до максимальной. Влияющие на мощность ВГ параметры можно разделить на две группы — неуправляемые или внешние возмущения (скорость ветра) и управляемые (скорость ротора, угол поворота лопастей). Возможность использования указанных воздействий как управляемых стала доступна благодаря тому, что лопасти ВГ закреплены на поворотных кольцах, приводимых в движение с помощью двигателей,

которыми можно управлять. Кроме этого, ВГ подключается к сети через частотные преобразователи, что обеспечивает изменение скорости ротора.

Получение оценки вектора состояний объекта управления для дискретных моментов времени  $i\Delta t$ , где  $\Delta t$  – шаг дискретизации, описывается векторно-матричным уравнением:

$$\widehat{X}_{i+1} = A_i \widehat{X}_i + K_i (U_i - C_i \widehat{X}_i),$$

где циркумфлекс означает оценку вектора состояний  $X_i$ , точка – производную вектора состояний по времени,  $A$  – квадратная матрица, определяющая модель формирующего фильтра,  $K_i$  – коэффициент усиления оценивателя (фильтра),  $U_i$  – сигнал измерений,  $C_i$  – матрица измерений, моделирующая ситуацию, что не все компоненты вектора состояний измеряются.

Усовершенствованная структура схемы управления показана на рисунке 2.

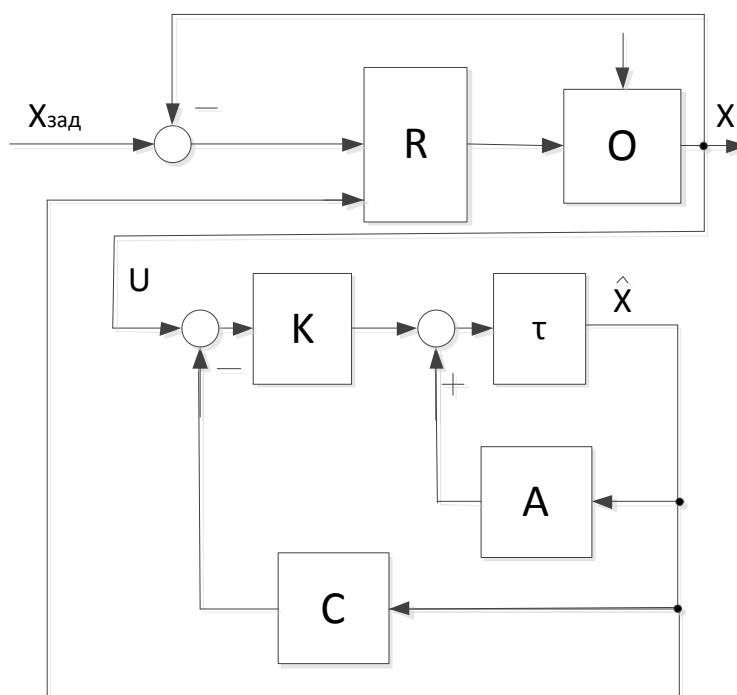


Рисунок 2 – Структурная схема системы управления

На рисунке 1 обозначено:  $X_{зад}$  – задание на управление,  $R$  – регулятор,  $O$  – объект управления,  $\tau$  – блок задержки на  $\Delta t$ .

Как видно из рисунка 1 схема содержит имеющуюся систему управления, состоящую из объекта и регулятора, но дополненную блоками, реализующими оценку параметров объекта управления. Такой подход позволяет регулятору вырабатывать управляющее воздействие на основе не только непосредственно измеряемых параметров ВГ, но и использовать дополнительные параметры, восстанавливаемые оценивателем, например скорость и ускорение изменения выходного сигнала объекта.

Использование дискретной модели процесса оценивания (1) объясняется удобством его реализации на цифровой вычислительной машине. Расчет шага дискретизации  $\Delta t$  специально не проводился и было использовано то его значение, которое уже предусмотрено в имеющейся системе управления.

Для расчета коэффициента усиления фильтра  $K_i$  необходимо получить модель формирующий фильтр, представляющий собой модель процесса на выходе объекта. Существуют различные методы нахождения данной модели, например, на основе знания аналитических зависимостей, описывающих сигналы [2]. В данном случае был применен метод, основанный на аппроксимации кривой разгона объекта управления и получения, на ее основе, передаточной функции [3]. Далее, осуществлялся переход от изображений по Лапласу к временной области и представление передаточной функции в форме пространства состояний, которая и являлась записью уравнения формирующего фильтра.

Апробация предложенной структуры системы управления была выполнена в среде моделирования динамических систем Simulink. Первоначально реализуемый в регуляторе пропорционально-интегральный закон регулирования был заменен на пропорционально-интегрально-дифференциальный. Это стало возможным благодаря добавлению сигнала со схемы оценщика. В результате внесения описанных изменений в закон регулирования в модельном эксперименте фиксировалось уменьшение величины перерегулирования на 6 – 10%. Переходные процессы в системе показаны на рисунке 3.

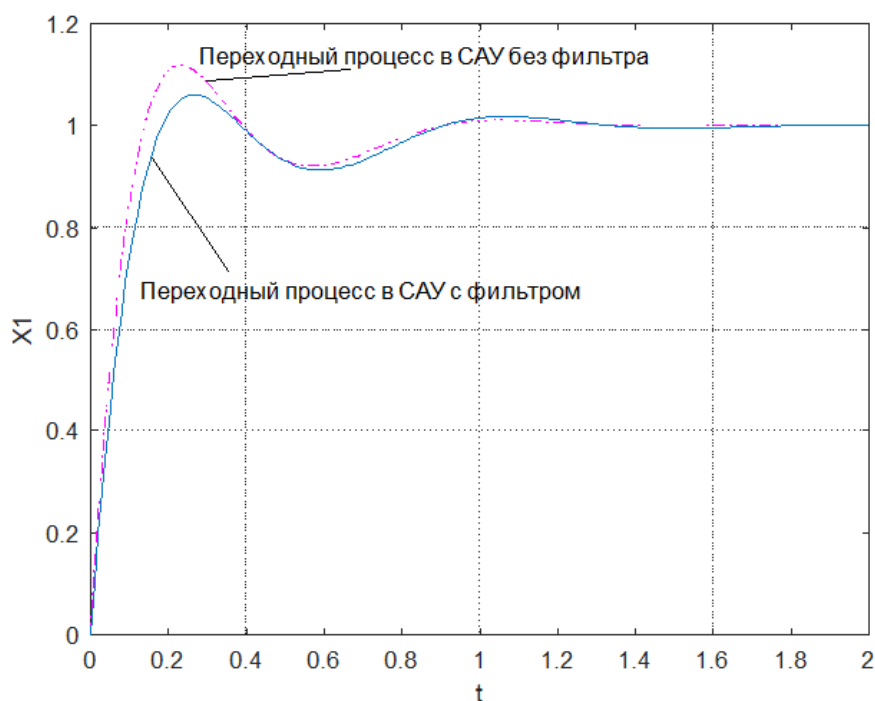


Рисунок 3 – Переходные процессы в системе управления

Не постоянство снижения перерегулирования объясняется тем, что в модель был введен случайный сигнал, моделирующий неуправляемое внешнее воздействие скорости ветра. Диапазон изменения скорости ветра задавался в соответствии с допустимыми значениями из условий эксплуатации, при этом полагалось, что защита от критических ветровых

нагрузок будет обеспечиваться механическими средствами, упоминаемыми выше.

Предложенная усовершенствованная структура управления, после переноса программного обеспечения на микроконтроллеры, может быть опробована на натурном эксперименте и после возможных доработок использована не только в системе управления ВГ, но и в аналогичных установках.

### **Библиографический список**

1. Воевода А. А., Трошина Г. В. Оценивание параметров линейных статических объектов с использованием рекуррентного метода наименьших квадратов в среде Simulink // Сборник научных трудов НГТУ. Новосибирск: Издательство НГТУ. 2016. № 3(85). С 33–48.
2. Панченко С. В., Пучков А. Ю. Формирующий фильтр в задаче управления электротермическим реактором // Сборник научных трудов по материалам X Междун. научно-практической конференции «Логистика и экономика ресурсоэнергосбережения в промышленности». 2016. С. 245 – 251.
3. Игнатъев А.А. Основы теории идентификации объектов управления: учеб. пособие. Саратов: Саратовский государственный технический университет, 2008. 44 с