

Первая секция. ЦИФРОВАЯ ЭНЕРГЕТИКА И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

ОБЗОР ПОДХОДОВ К УПРАВЛЕНИЮ СЕТЕВЫМИ ИНВЕРТОРАМИ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Н.А. Лепихин

Томский политехнический университет
ИШЭ, ОЭЭ, группа А0-42

За последние десять лет отмечается рост генерирующих установок на базе возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Осуществления подключения данного оборудования к электроэнергетической системе происходит при помощи силовых преобразователей, а именно через сетевые инверторы. Исходя из этой особенности, свойства и возможности генерирующих установок преимущественно зависят от динамики силового преобразователя.

В свою очередь, это вызывает ряд проблем. Например, наиболее немаловажным фактором является зависимость существенного увеличения скорости и глубины снижения частоты от снижения механической инерции электроэнергетической системы. Также можно отметить, работа ВИЭ осуществляется в режиме максимальной мощности, что не способствует регулированию режима сети.

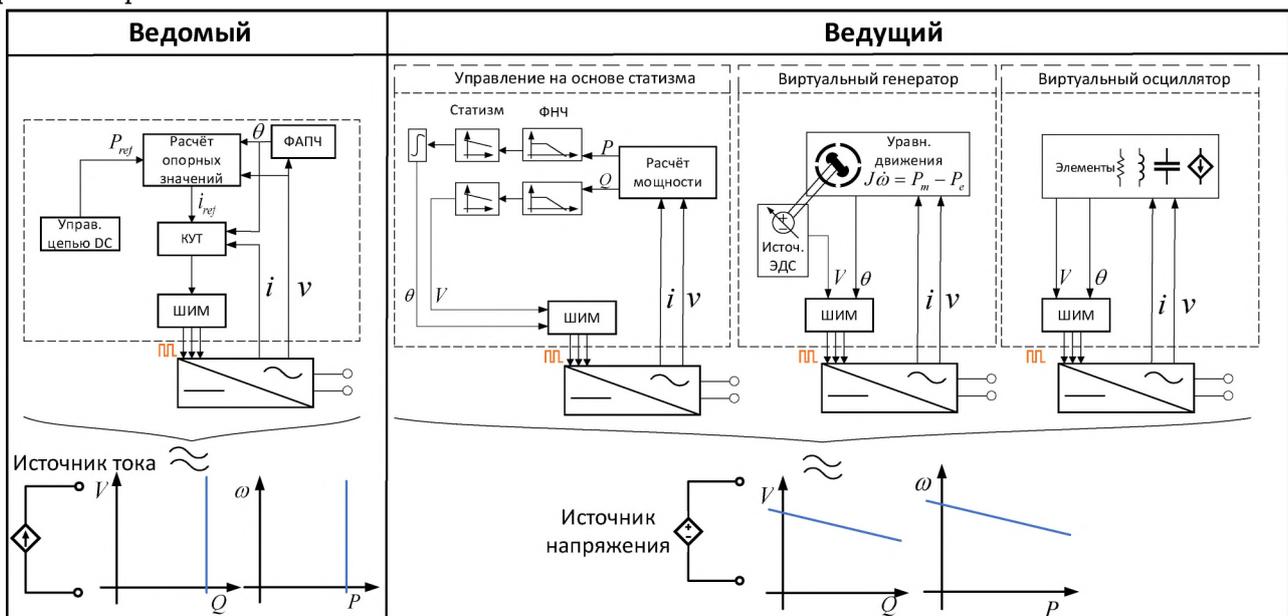


Рис. 1. Функциональные схемы инверторов, работающих в режиме «ведомого» и «ведущего»

Определяющей поведение преобразователей является система управления (рисунок 1). В настоящее время «классической» является система, при которой силовой преобразователь работает в режиме ведомого. При таком варианте, инвертор представляет источник тока, а синхронизацию с сетью осуществляет блок фазовой автоподстройки частоты. ФАПЧ осуществляет функцию оценки мгновенного угла измеряемого напряжения на клеммах преобразователя.

Однако, с увеличением сопротивления сети, трудно гарантировать устойчивость работы преобразователя. Связано это с высокими коэффициентами усиления во внутреннем контуре управления током и в ФАПЧ, а также неспособностью последнего быстро синхронизироваться с напряжением сети.

Решением данной проблемы является переход к управлению сетевыми инверторами в режиме ведущего. В свою очередь это позволит формировать опорные напряжения и угол для

широтно-импульсной модуляции. За счет этого появится возможность регулировать частоту, напряжение сети и вносить вклад в инерциальный отклик. В режиме ведущего силовой преобразователь будет представлять источник напряжения.

Таблица 1. Сравнение систем в режиме «ведомой» и «ведущей»

Система в режиме «ведомой»	Система в режиме «ведущей»
<ul style="list-style-type: none"> • Предполагается, что сеть уже сформирована при нормальной работе • Прямоугольное (dq) векторное управление током, подаваемым в сеть • Раздельное управление P и Q • Требуется ФАПЧ • Требуется напряжение в точке общего соединения для доставки P и Q • Не может работать при 100% внедрении силовой электроники; существуют пороги нестабильности (переломные моменты) 	<ul style="list-style-type: none"> • Предполагается, что формирует сеть и поддерживает устойчивость энергосистемы • Контроль величины напряжения и частоты/фазы • Небольшая связь между P и Q • Использует управление ФАПЧ для переключения между режимами. • Может запустить энергосистему из обесточенного состояния • Теоретически может работать при 100% внедрении силовой электроники; может сосуществовать с сформированной сетью • Нестандартизированный, из-за нехватки опыта эксплуатации с системной точки зрения

Системы управления инверторов, работающих в режиме ведущего, подразделяется на несколько категорий (рисунок 1): управление на основе статизма, виртуальный генератор и виртуальный осциллятор.

В настоящее время наиболее перспективным является концепция виртуального синхронного генератора, которые в свою очередь отличаются внутренними и внешними контурами управления, уровнем детализации модели генератора и т. д.

Исследование и анализ существующих вариаций позволит выявить сильные и слабые стороны данного подхода виртуального синхронного генератора. А также в случае положительных результатов разработать систему управления сетевых инверторов в режиме ведущего.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Research Roadmap on Grid-Forming Inverters / Lin, Yashen, Joseph H. Eto, Brian B. Johnson, Jack D. Flicker, Robert H. Lasseter, Hugo N. Villegas Pico, Gab-Su Seo, Brian J. Pierre, and Abraham Ellis. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory. NREL/TP-5D00-73476. – 2020. – P. 49.
2. Система автоматического управления силовым преобразователем на основе свободно конфигурируемой структуры виртуального синхронного генератора / А.А. Суворов, А.Б. Аскараров, М.В. Андреев, Ю.Д. Бай, В.Е.Рудник // Электричество, 2022. – № 4, с. 15–26.
3. Синтез и тестирование типовых структур систем автоматического управления на основе виртуального синхронного генератора для генерирующих установок силовым преобразователем / А.А. Суворов, А.Б. Аскараров, В.Е.Рудник, М.В. Андреев, Ю.Д. Бай // Электрические станции. Энергопрогресс, Автоматизированные системы управления, 2022. – № 3. – С. 43-57.

Научный руководитель: к.т.н. А.А. Суворов, доцент ОЭЭ ИШЭ ТПУ.