

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СЕТЕВЫМИ ИНВЕРТОРАМИ ПО ПРИНЦИПУ «ВЕДУЩИЙ»

Уманский И.В.

Научный руководитель ассистент А.Б. Аскаров

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

На текущий момент одним из актуальных направлений развития энергетического сектора как в России, так и в различных странах мира является применение гибридных электрических сетей, совмещающих в себе технологии переменного и постоянного токов, как показано на рисунке 1 [1]. Для возможности объединения двух токов широко используются силовые преобразователи электрической энергии различных топологий и модификаций [2]. За счет этого активными темпами происходит внедрение в электрические сети современных объектов генерации и накопления электрической энергии [3]: ветроэнергетических установок, фотоэлектрических установок, аккумуляторных накопителей, топливных элементов (ТЭ) и др. С целью согласования уровня напряжений в сети постоянного тока используются повышающие преобразователи постоянного тока (DC-DC преобразователи), после чего устанавливается сетевой инвертор (DC-AC преобразователь) для подключения совокупной установки в сеть переменного тока.

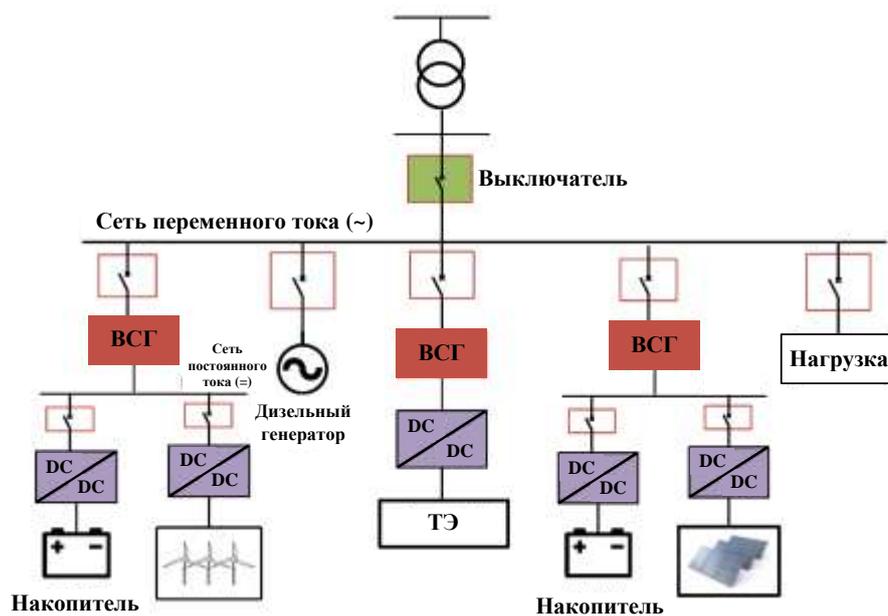


Рис. 1. Структура современных гибридных электрических сетей

Одной из ключевых проблем в гибридных электрических сетях является значительное увеличение количества объектов, подключаемых к сети не напрямую, а с помощью силовой полупроводниковой техники. В результате этого динамика функционирования таких сетей, как и их динамические свойства и характеристики разительно отличаются от традиционных сетей переменного тока [4]. Последнее в первую очередь определяется быстродействующей системой управления сетевыми инверторами и заложенными в нее алгоритмами. При классическом подходе к управлению DC-AC преобразователем последний можно представить как управляемый источник тока, основной задачей которого является выдача максимально доступной активной мощности в соответствии с используемым алгоритмом системы слежения за максимальной точкой мощности [5]. В то же время такой подход к управлению не подразумевает участие объекта генерации в регулировании напряжения или частоты сети, а синхронизация установки с сетью осуществляется с использованием блока фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ), который использует в качестве входного сигнала трехфазное напряжение в точке подключения установки к сети. Таким образом сетевой инвертор является «ведомым» сетью, поскольку качество и возможность синхронизации объекта генерации напрямую зависят от условий работы внешней сети. Например, при коротких замыканиях в сети может произойти потеря устойчивости ФАПЧ и генерирующей установки в целом, а обеспечение устойчивого функционирования ФАПЧ в условиях слабой сети, когда величина отношения короткого замыкания в точке подключения установки к сети является достаточно низкой, является труднореализуемым и в настоящий момент рассматривается как один из вызовов в управлении силовыми преобразователями [6].

Из вышесказанного закономерно следует, что в настоящий момент предлагается альтернативный подход к управлению сетевыми инверторами генерирующих установок, при котором преобразователь работает в режиме «ведущего», т.е. задающего частоту и напряжение в электрической сети [7]. В рамках данного подхода предлагаются различные алгоритмы управления, которые систематизированы на рисунке 2. Первым принципом управления по типу «ведущего» являлось управление на основе статизма. Однако недостатками такой системы управления является отсутствие возможности введения виртуальной инерции для имитации с помощью сетевого инвертора инерционного отклика, а также использование блока ФАПЧ для синхронизации. Наибольшее распространение на данный момент

получила система управления на основе алгоритма виртуального синхронного генератора (ВСГ) [8], в рамках которой осуществляется имитация свойств и характеристик традиционной синхронной машины, становится возможным отказ от блока ФАПЧ для синхронизации установки с сетью, а также обеспечивается устойчивость функционирования сетевого инвертора в изменяющихся условиях работы сети и при различных возмущениях.

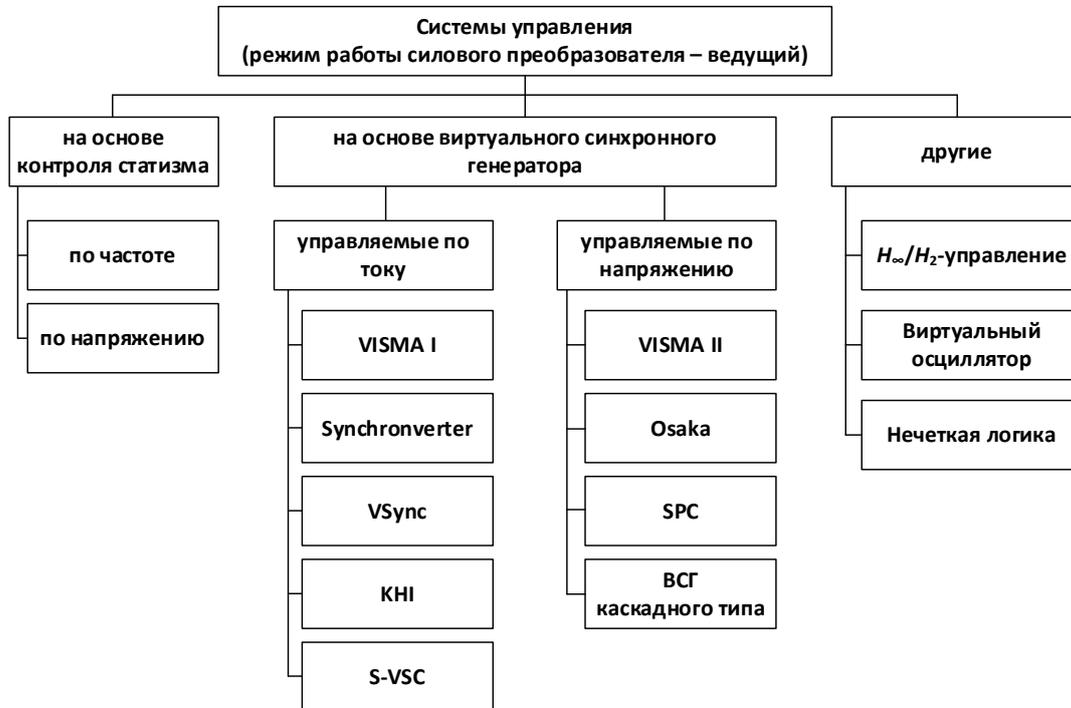


Рис. 2. Классификация систем управления сетевыми инверторами по принципу «ведущий»

В то же время, как видно из рисунка 2, для систем управления на основе ВСГ предлагается множество структур и схемно-алгоритмических решений, обладающих своими преимуществами и недостатками [9]. В связи с этим дальнейшая работа будет направлена на анализ и формирование структуры ВСГ, позволяющей обеспечить устойчивость работы генерирующей установки с инверторным включением в широком многообразии схемно-режимных условий сети, а также иметь необходимые величины запаса без необходимости установки дополнительного оборудования.

Литература

- Илюшин П. В. Интеграция электростанций на основе возобновляемых источников энергии в Единую энергетическую систему России: обзор проблемных вопросов и подходов к их решению // Вестник МЭИ. – 2022. – № 4. – С. 98-107.
- Горбунов А. С., Алибаев Ф. Н. Применение полупроводниковых преобразователей электрической энергии в электроэнергетике // Вестник современных исследований. – 2018. – № 8.3. – С. 231-233.
- Дворкин, Д.В. и др. Применение систем векторного управления режимами электропередачи переменного тока в условиях широкого развития ВИЭ // Известия НТЦ Единой энергетической системы. – 2022. – № 2 (87). – С. 21–27.
- Симонов А.В. и др. Способы обеспечения устойчивой работы ветроэнергетических установок ветровых электростанций в составе отечественных распределительных электрических сетей // Электроэнергия. Передача и распределение. – 2022. – № 3 (72). – С. 60–70.
- Соснина Е.Н. и др. Повышение эффективности использования возобновляемых источников энергии в составе виртуальной электростанции на основе мультиагентного управления // Вестник Чувашского университета. – 2022. – № 3. – С. 103–113.
- Булатов Ю.Н. и др. Исследование режимов работы изолированной системы электроснабжения с управляемыми установками распределенной генерации, накопителями электроэнергии и двигательной нагрузкой // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2021. – Т. 23, № 5. – С. 184–194.
- Rosso, R. Grid-Forming Converters: Control Approaches, Grid-Synchronization, and Future Trends—A Review // IEEE Open Journal of Industry Applications. – 2021. – Vol. 2. – P. 93–109.
- Аскарлов А.Б. и др. К вопросу о современных принципах управления возобновляемыми источниками энергии на основе виртуального синхронного генератора // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2022. – № 41. – С. 5–30.
- Суворов, А.А. Синтез и тестирование типовых структур систем автоматического управления на основе виртуального синхронного генератора для генерирующих установок с силовым преобразователем // Электрические станции. – 2022. – № 3 (1088). – С. 43–57.