

АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ СЕТЕВЫМ ИНВЕРТОРОМ НА ОСНОВЕ ВИРТУАЛЬНОГО СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА

А.Б. Аскарлов

Томский политехнический университет,
к.т.н., старший преподаватель ОЭЭ ИШЭ

В рамках парадигмы управления объектами на базе возобновляемых источников энергии и систем накопления электроэнергии, согласно которой сетевой инвертор (СИ) становится ведущим, разрабатываются алгоритмы для систем автоматического управления на основе виртуального синхронного генератора (ВСГ). Функциональная схема предлагаемой в данной работе системы управления СИ на основе ВСГ, управляемого по току (ВСГ-Т) представлена на рис. 1 и состоит из трех основных частей: внутренний контур управления; контур, воспроизведения динамики синхронной машины, и внешний контур управления.

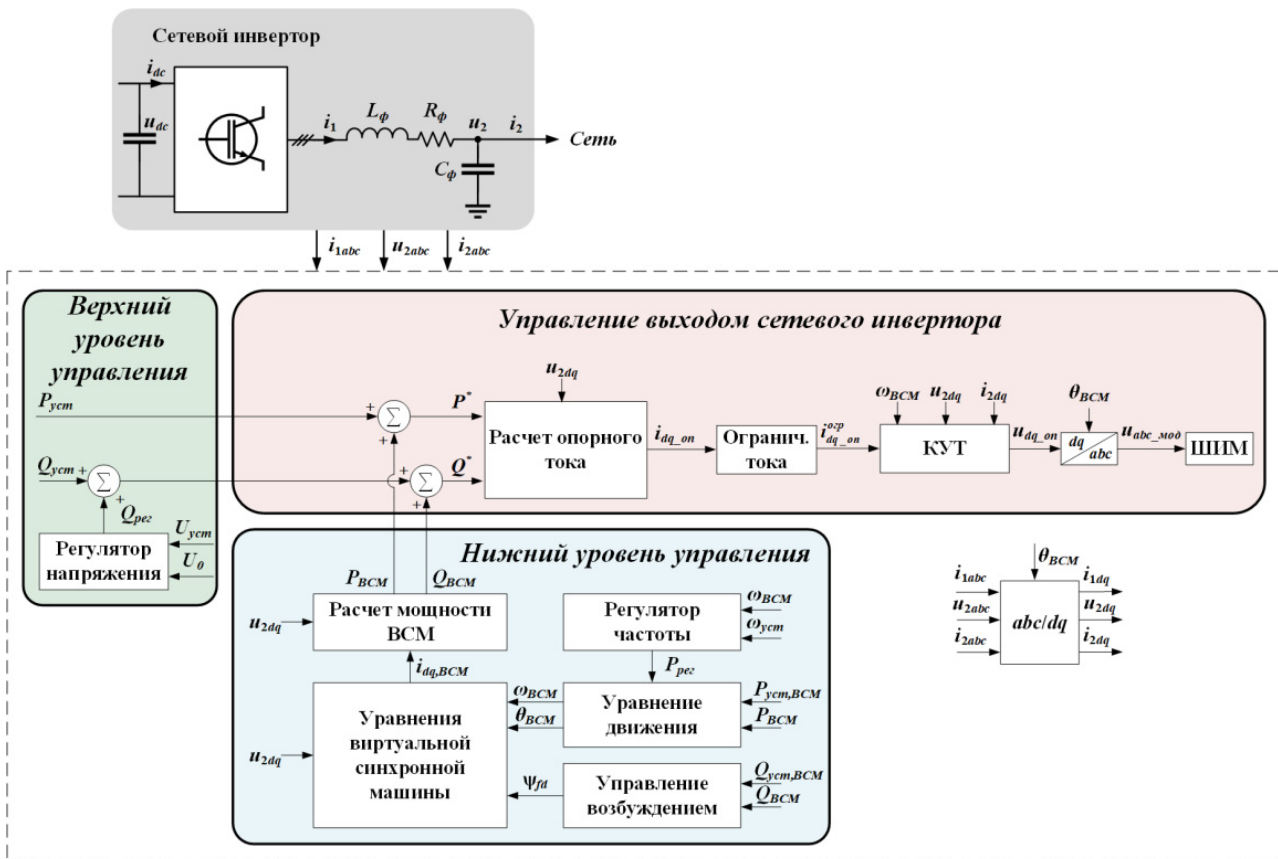


Рис. 1. Функциональная схема ВСГ-Т

Главной особенностью ВСМ-Т является появление двух уровней, которые условно можно разделить на верхний и нижний. Причем работают данные уровни параллельно. Основная функция верхнего уровня заключается в формировании уставок по активной и реактивной мощностям для СИ. Нижний уровень воспроизводит динамику синхронной машины и формируемые им выходные мощности $P_{ВСМ}$ и $Q_{ВСМ}$ прибавляются к значениям уставки. Из результирующих опорных значений мощностей P^* и Q^* вычисляются опорные значения токов $i_{dq_оп}$ для внутреннего контура управления током (КУТ) согласно (1). КУТ реализуется на

ПИ-законе регулирования во вращающейся системе координат dq , что обеспечивает ряд преимуществ, среди которых наиболее существенное это возможность ограничения максимального значения выходного тока. Алгоритм ограничения выходного тока основан на ограничении амплитуды вектора полного опорного тока i_{dq_on} . На выходе КУТ формируются опорные сигналы напряжения для синусоидальной широтно-импульсной модуляции (ШИМ).

$$i_{dq_on} = i_{d_on} + ji_{q_on} = \frac{P^* + jQ^*}{u_{2d} - ju_{2q}} \quad (1)$$

В итоге на основе известных измерений сигналов управления и реакции системы можно построить модель в форме пространства состояний, которая в некотором приближении соответствует текущему состоянию исследуемого объекта. В общем виде полученную модель в пространстве состояний можно представить с помощью уравнения (2):

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{B}\mathbf{u}, \quad (2)$$

где $\dot{\mathbf{x}}$ – вектор-столбец производных переменных состояния; \mathbf{x} – вектор-столбец переменных состояния; \mathbf{u} – вектор-столбец входных величин; \mathbf{A} – матрица состояния; \mathbf{B} – матрица коэффициентов входных величин.

В настоящее время доминирующим методом для оценки робастности системы при изменении плотности сети (изменении отношения короткого замыкания (ОКЗ) в точке подключения сетевого инвертора к сети) считают метод малых колебаний. В рамках данного метода, как правило, наибольший интерес представляют собственные числа матрицы состояния системы \mathbf{A} , составленной для линеаризованной модели ВСГ-Т в пространстве состояний, которые отражают динамические свойства исследуемой системы, в том числе при изменении различных параметров. Полученные с использованием инструментов MATLAB траектории изменения собственных чисел для линеаризованной модели ВСГ-Т при изменении ОКЗ от 1 до 100 о.е. представлены на рис. 2.

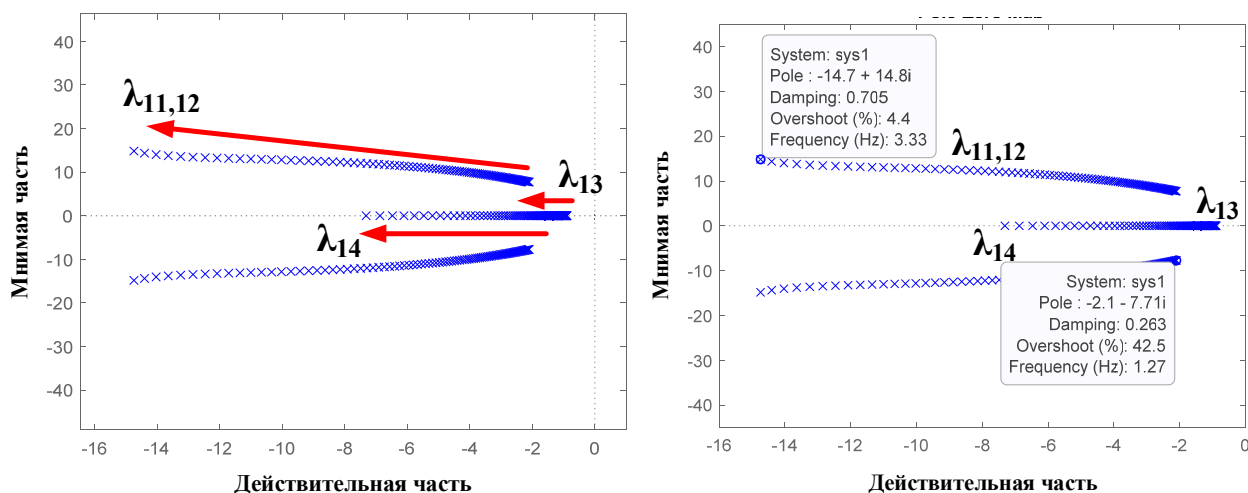


Рис. 2. Корневой годограф для модели ВСГ-Т при изменении ОКЗ от 1 до 100

Из корневого годографа на рис. 2 видно, что при увеличении ОКЗ все корни для модели ВСГ-Т равномерно двигаются влево, свидетельствуя об улучшении демпфирующих свойств с увеличением плотности сети. При детальном рассмотрении низкочастотных корней модели ВСГ-Т видно, что низким величинам ОКЗ соответствуют наименьшие значения коэффициента демпфирования. В частности, при анализе граничных случаев с ОКЗ = 1 коэффициент демпфирования составляет $\zeta = 0,263$, в то время как при ОКЗ = 100 – $\zeta = 0,705$. Несмотря на это, модель ВСГ-Т на всем интервале изменения ОКЗ обеспечивает устойчивую работу сете-

вого инвертора – все собственные числа рассматриваемой системы имеют отрицательную действительную часть, а также приемлемый уровень демпфирования.

Проведённые экспериментальные исследования с помощью созданной модели в пространстве состояний ВСГ-Т демонстрируют высокую эффективность функционирования разработанной предлагаемой системы управления для СИ для обеспечения надёжности и устойчивости современных энергосистем.

РАЗРАБОТКА ФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СИЛОВЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Ю.Д. Бай, П.П. Радько, Б.Д. Малюта

*Томский политехнический университет,
ИШЭ, ОЭЭ*

Введение

В данной статье описано управление двухуровневым силовым преобразователем, основными и комплементарными каналами таймера микроконтроллера с целью формирования широтно-импульсной модуляции и может применяться в проектных и научно-исследовательских организациях электроэнергетической отрасли. Данная система будет на физическом уровне осуществлять:

- управление прецизионным источником опорного напряжения;
- формирование положительной и отрицательной полуволн трехфазного напряжения на выходе двухуровневого преобразователя.

Используемый метод моделирования

Ввиду недопустимости натуральных экспериментов в ЭЭС, особенно аварийных, и невозможности, из-за сложности, полноценного физического моделирования ЭЭС основным способом получения этой информации служит преимущественно математическое моделирование, полнота и достоверность которого определяются, прежде всего, адекватностью применяемых математических моделей оборудования и ЭЭС в целом.

Радикальным решением данной проблемы является создание средств моделирования ЭЭС, обладающих свойствами бездекомпозиционного достаточно достоверного воспроизведения на неограниченном интервале, в том числе в реальном времени, непрерывного значимого спектра нормальных и аномальных квазиустановившихся и переходных процессов в оборудовании и ЭЭС в целом [1].

В рамках данного подхода, для дальнейшего изучения и оценки влияния внедрения возобновляемых источников энергии (ВИЭ), в работе обозначены основные моменты создания управляемого источника ВИЭ и силового преобразователя (СП) [2].

Реализация физической модели

Общая схема требуемой физической модели представлена на рис. 1. Выделенным цветом (красный) определены первоочередные элементы, реализация которых несет в себе основные функции и точность моделирования СП.