

делируют достаточно сложные объекты. При этом большую часть времени в курсе можно использовать не для освоения технологии создания модели (как это требовалось при моделировании на аналоговых вычислительных машинах или на цифровых с использованием языков программирования), а для исследования моделируемого объекта, выявления особенностей его работы в различных режимах.

**Р.Т. Шрейнер, А.А. Ефимов,  
А.И. Калыгин**

### **КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АКТИВНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОПРИВОДА**

В электроприводах переменного тока (ЭППТ) силовой полупроводниковый преобразователь (СПП) в большинстве случаев выполняется по схеме двухзвенного преобразователя частоты с неуправляемым выпрямителем и АИН с ШИМ выходного напряжения. Однако при таком построении СПП остаются нерешенными вопросы реализации генераторного режима работы электрической машины с рекуперацией энергии в питающую сеть. Приходится дополнять схему СПП ведомым инвертором либо, отказавшись от возможности рекуперации, реализовать в ЭППТ инверторное торможение.

В докладе предлагается и анализируется другой подход к построению силовых схем реверсивных двухзвенных СПП. В качестве выпрямителей в них, на наш взгляд, целесообразно применять активные (ключевые) выпрямители, работающие в режиме ШИМ. Активные преобразователи подразделяются на преобразователи напряжения и преобразователи тока. Каждый из них может функционировать как в выпрямительном, так и в инверторном режимах работы. При этом силовые схемы двухзвенных СПП состоят из идентичных ключевых групп (сетевой и нагрузочной), объединенных звеном постоянного тока. Приводится математическое описание трехфазных мостовых схем активных преобразователей тока (АПТ) и напряжения (АПН), выполненных на силовых транзисторах (IGBT – модулях) и работающих в режиме ШИМ.

Математическое описание трехфазного АПТ, работающего в режиме выпрямителя (АВТ) или автономного инвертора тока (АИТ), базируется на понятии результирующего вектора переменного тока (питающей сети — для АВТ,

выходной цепи — для АИТ). В трехфазной мостовой схеме АПТ существует 6 состояний, в течение каждого из которых проводят ток только 2 ключа — один в анодной, другой в катодной группах. Результирующий вектор переменного тока при этом имеет неизменную амплитуду  $I$  и фазовый угол в неподвижной координатной системе, принимающий дискретные значения 30, 90, 150, 210, 270, 330°. Таким образом, в зависимости от комбинации проводящих ключей существует 6 образующих ненулевых результирующих векторов переменного тока неизменной амплитуды. Кроме того, в трехфазном АПТ существует 3 комбинации проводящих ключей каждого из трех плеч (стоек) преобразователя, обеспечивающих нулевое значение выпрямленного (входного) напряжения АПТ и нулевое значение соответствующего фазного переменного тока (3 нулевых вектора). Среднее значение результирующего вектора переменного тока за период ШИМ, равное заданному значению  $I^*$ , может быть получено за счет использования двух ненулевых и одного нулевого векторов, наиболее близких к требуемому среднему значению тока. Относительные доли времени периода ШИМ, в течение которого реализуется каждый из трех образующих векторов результирующего тока, удовлетворяют следующему условию:  $\tau_+ + \tau_- + \tau_0 = 1$ , где  $\tau_+$  и  $\tau_-$  — относительные продолжительности реализации образующих ненулевых векторов, углы поворота которых имеют ближайšie меньшее  $\Theta_i^<$  и большее  $\Theta_i^>$  (либо равное) значение в сравнении с углом поворота заданного вектора тока  $\Theta_i^*$ ,  $\tau_0$  — относительная продолжительность реализации состояния нулевого вектора тока. Значения  $\tau_-$  и  $\tau_+$  находятся из выражений:

$$\tau_- = \frac{I^* \sin(\Theta_i^> - \Theta_i^*)}{I \sin \pi/3}; \quad \tau_+ = \frac{I^* \sin(\Theta_i^* - \Theta_i^<)}{I \sin \pi/3},$$

которые определяют закон модуляции силовых ключей в АПТ. Закон переключения силовых ключей, т.е. последовательность переключения фаз на периоде модуляции, может совпадать с соответствующим законом для АПН. Для реализации возможности регулирования коэффициента мощности по входу АВТ (выходу АИТ) заданное значение фазы вектора заданного тока  $I$  должно удовлетворять условию  $\Theta_i^* = \Theta_u + \Delta\theta$ , где  $\Theta_u$  — фаза результирующего вектора входного (выходного) напряжения;  $\Delta\theta$  — требуемый фазовый сдвиг.

Основой построения математической модели АПН являются уравнения равновесия напряжений и токов, записанные в фазных переменных. При этом используется допущение об идеальности силовых ключей. В связи с периодическим изменением во времени анализируемых величин в цепи переменного тока уравнения АПН целесообразнее записать в преобразованных переменных

с использованием трехмерной ортогональной системы координат, оси которой ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ) вращаются в пространстве с произвольной скоростью  $\omega_k$ .

На основании разработанного математического описания составлена структурная схема АПН, который представляется дискретно-непрерывной, нелинейной, многосвязанной системой. Разработана компьютерная программа, моделирующая процессы в схеме АПН в переходных и установившихся режимах работы. Проведен синтез векторной системы управления для АПН, работающего в выпрямительном и инверторном режимах, которая обеспечивает в условиях колебания напряжения питающей сети и изменения нагрузки в звене постоянного тока стабилизацию выпрямленного напряжения АПН, двухсторонний обмен энергией с питающей сетью при регулировании входного коэффициента мощности и формирования практически синусоидальных токов, потребляемых из сети (рекуперлируемых в сеть — в режиме инвертирования). Проведенные исследования позволяют обоснованно подходить к построению ЭППТ с СПП, включающими активные преобразователи.

**Е.В. Шустрова,  
В.В. Пузырев**

### **НЕКОТОРЫЕ ПРИЕМЫ АКТИВИЗАЦИИ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ НА УРОКАХ УСТНОЙ РЕЧИ И ПРАКТИЧЕСКОЙ ГРАММАТИКИ**

Все преподаватели знают, как тяжело бывает иногда внести оживление и разнообразие в процесс обучения. Изучив опыт зарубежных коллег, активно использующих коммуникативную методiku преподавания иностранных языков, мы адаптировали некоторые приемы для эффективного применения в русскоязычной аудитории. Рассмотрим несколько заданий, которые помогут, с одной стороны, активизировать пройденный материал, а с другой — оживить совместную работу преподавателей и студентов.

Мы часто замечали, что студенты, добросовестно заучившие вокабуляр и предлагаемые речевые образцы, впоследствии сталкиваются с трудностями, пытаясь употребить заученное для выражения своих мыслей, особенно в случае выражения согласия с определенной точкой зрения. Для улучшения усвоения материала мы предлагаем построение так называемых огульных утверждений