

адгезива, повышающая контактные деформации композита и усталостное изнашивание и снижающая адгезионное изнашивание, оказывает слабое и неоднозначное влияние на суммарное значение  $I_n$ .

Учитывая, что адгезив способствует стабилизации коэффициента трения и росту сопротивления композита изнашиванию, можно в качестве фрикционного материала на основе ФФС рекомендовать композиты, содержащие 1–3 масс. % адгезива.

УДК 621.331

## УПРАВЛЕНИЕ РЕЖИМАМИ СИСТЕМ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ

Д. А. БОСЫЙ

*Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта  
им. акад. В. Лазаряна, Украина*

Учитывая разветвленность и протяженность систем тягового электроснабжения электрифицированных железных дорог, которые на Украине представлены шестью субъектами хозяйствования, обладают разветвленной инфраструктурой, распределены по территориальному принципу, актуальным является внедрение интеллектуальных технологий управления режимами их работы. Конечный потребитель в системе тягового электроснабжения постоянно меняет свои параметры во времени и пространстве, и нередко на границах железных дорог возникают спорные вопросы, связанные с особенностью потребления электрической энергии электроподвижным составом, несовершенством системы учета электрической энергии и режимами напряжения в системе электроснабжения. По состоянию на 2015 год все шесть железных дорог Украины получают электрическую энергию с оптового рынка, пользуясь при ее передаче сетями смежных лицензиатов, которые распределены по административно-территориальному принципу, что дополнительно вносит сложности при решении или поиска причин в спорных вопросах.

Под режимом работы системы тягового электроснабжения подразумевается непрерывный технологический процесс передачи, распределения и потребления электроэнергии, который характеризуется величинами напряжения, токов, углов сдвига фаз, коэффициентов мощности и потерь электроэнергии на всем пути ее передачи и преобразования. Любое преобразование электрической энергии в системах тягового электроснабжения обусловлено процессами выпрямления или трансформации электроэнергии на тяговых подстанциях и непосредственно на электроподвижном составе. Для большинства подстанций, системы постоянного тока характерной является двухступенчатая трансформация. Известны также отдельные случаи питания трехфазных выпрямителей по принципу глубокого ввода. Именно для системы постоянного тока выполняется более эффективное преобразование электроэнергии, чем для системы переменного тока. На переменном токе тяговые подстанции выполняют одинарную трансформацию полученной из первичной сети электроэнергии, а дальнейшее ее преобразование к напряжению, пригодному для питания электропривода, выполняется из энергии однофазного переменного тока преобразователями электроподвижного состава.

Выполнение оптимизационных расчетов системы тягового электроснабжения невозможно без составления аналитических моделей в пространственно-временных координатах. Именно пространственно-временное представление всех электрических величин, которые необходимы для расчетов систем тягового электроснабжения, позволяет построить интеллектуальные системы управления режимами систем тягового электроснабжения.

Пространственно-временная модель системы тягового электроснабжения основывается на аналитическом описании основных электрических процессов функциями двух переменных, взаимосвязь между которыми определяется графиком движения поездов, что определяет местонахождение каждого поезда с номером  $n$  в любой момент времени  $t$ . Используя другие исходные данные, определяют кусочно-заданные функции двух переменных, которые представляют собой зависимость распределения токов и падения напряжения в контактной сети во времени и пространстве. Произ-

ведение пространственно-временных функций распределения падений напряжения и токов в контактной сети определяет распределение потерь мощности.

Регулирование напряжения на шинах тяговых подстанций в полной мере не решает существующую проблему из-за увеличения потерь мощности на межподстанционной зоне и соответствующих эксплуатационных расходов. Таким образом, возникает необходимость в контроле уровней напряжения в заданном диапазоне на токоприемниках электроподвижного состава при движении в межподстанционной зоне при любом количестве поездов. Для решения этой задачи учеными был предложен способ, который заключается в измерении уровня напряжения на шинах 3,3 кВ двух смежных тяговых подстанций и последующего вычисления средней потери напряжения до токоприемника электроподвижного состава.

Для устранения недостатков с использованием современной измерительной техники предлагается стабилизировать напряжение в контактной сети электрифицированной железной дороги постоянного тока непосредственно на токоприемнике каждого электроподвижного состава. Это возможно осуществить с помощью разработанных устройств измерения напряжения с беспроводной передачей данных, которые будут определять необходимую мощность генерации усилительных пунктов. Таким образом, регулирование мощности генерации усиливающего пункта тяговой сети позволит обеспечить номинальный уровень напряжения каждому электроподвижному составу на межподстанционной зоне и, в зависимости от поездной ситуации, уменьшит потери электроэнергии в контактной сети на 20–30 %.

Для ускорения обработки информации в разработанной системе целесообразным является применение нейронных сетей к расчету управляющего воздействия источниками рассредоточенной генерации. Непосредственное обучение нейронной сети можно выполнить на аналитических зависимостях пространственно-временной модели.

Для тяги переменного тока при нормальном режиме работы не характерны проблемы с уровнем напряжения в контактной сети. Этому способствует почти на порядок выше уровень напряжения и значительный резерв мощности на тяговых подстанциях. Несмотря на это, система переменного тока характеризуется значительными перетоками реактивной мощности, значительным уровнем токов обратной последовательности и электромагнитным воздействием на окружающую среду. Для обеспечения бесперебойности технологического процесса перевозок для большинства участков установлены нормальные схемы параллельной работы тяговых подстанций.

В случаях нарушения нормальной схемы питания в системе внешнего электроснабжения между векторами одноименных первичных напряжений возникает угол сдвига фаз, который вызывает соответствующую векторную разность напряжений на шинах тяговой нагрузки подстанций. Под действием разности напряжений, обусловленной углом сдвига фаз, по тяговой сети протекает практически активный уравнивающий ток.

Управление режимом работы системы переменного тока должно руководствоваться углом сдвига фаз векторов напряжений смежных тяговых подстанций. Измерения этого параметра режима в условиях эксплуатации несколько усложняется, поскольку необходимо иметь источник опорного напряжения или вынужденно применять ненормальные схемы питания.

Активный характер уравнивающих токов усложняет техническую реализацию мер по их предотвращению. Применение поперечной компенсации реактивной мощности влияет только на реактивную составляющую уравнивающего тока. Переключение положений анцапф трансформатора внесет определенные коррективы, но без окончательного их устранения. Решение возможно при помощи применения фазосдвигающих силовых трансформаторов с интеллектуальной системой управления. Измерительными органами системы должны быть устройства комплексных измерений электрических параметров сети, а исполнительными – устройства переключения обмоток трансформаторов, которые собраны по схеме зигзага. С целью удешевления технической реализации возможно применение продольной компенсации реактивной мощности, которая позволяет перевести проблему активных уравнивающих токов в реактивную плоскость с последующей их компенсацией устройствами плавной компенсации реактивной мощности.