

С. В. ВЛАСЬЕВСКИЙ, О. А. КЛИНКОВА (Дальневосточный государственный университет путей сообщения, Россия)

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА ПОТЕРИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В ТЯГОВОЙ СЕТИ ПРИ РАБОТЕ ЭЛЕКТРОВОЗОВ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Розглянуто вплив недоліків тягової системи електропостачання змінного струму на втрати електричної енергії в тяговій мережі, а також недосконалість системи обліку електричної енергії.

Рассмотрено влияние недостатков тяговой системы электроснабжения переменного тока на потери электрической энергии в тяговой сети, а также несовершенство системы учета электрической энергии.

The article is devoted to the impact of the drawbacks of the existing a.c. power supply system on the energy losses in catenary, and to the imperfections of electric energy accounting system.

В связи с обострением проблемы экономии топливно-энергетических ресурсов из-за постоянного роста цен на них, особую значимость приобретают вопросы энергосбережения и эффективного использования электроэнергии. В частности, на железнодорожном транспорте одной из основных является проблема снижения потерь электрической энергии в системе тягового электроснабжения электрифицированных железных дорог, являющихся крупнейшими в отрасли потребителями электроэнергии.

Известно, что расчетные значения потерь электрической энергии на участках тяговой сети переменного тока составляют 3...5 % [1].

Формирование показателя «потери электроэнергии» начинается с учета расхода электроэнергии на тягу поездов, поступившей в сеть (по счетчикам тяговых подстанций на первичной стороне тягового трансформатора подстанции) и отпущенной потребителям (по счетчикам электроподвижного состава). При этом определяются фактические значения потерь электроэнергии, величина которых зависит от достоверности учета расхода электроэнергии.

Так, например, в работе [1] приведены данные учета по расходу электроэнергии на тягу поездов по итогам работы за 1999 г. по сети железных дорог России. В соответствии с этими отчетными данными, диапазон изменения относительного небаланса приема электроэнергии на тягу поездов по счетчикам тяговых подстанций и потребления по счетчикам электроподвижного состава составил 2,1...27,9 %.

Разница между фактическими и расчетными значениями потерь электрической энергии обуславливается неудовлетворительным техническим и организационным состоянием систем

учета электрической энергии на тяговых подстанциях и электроподвижном составе.

Таким образом, определение фактических потерь электроэнергии, даже если расчеты и измерения выполнены точно, недостаточно для разработки и организации мероприятий по снижению потерь электрической энергии в тяговой сети. Необходимо знать структуру этих потерь и выделять факторы, вызывающие потери электроэнергии в тяговой сети, а также выделять участки сети, где эти потери превышают расчетное значение.

Электрифицированная железная дорога переменного тока является несимметричным нелинейным потребителем с неравномерной нагрузкой. Она представляет собой протяженный приемник электрической энергии, и питание ее тяговых подстанций не может быть осуществлено от одной точки присоединения к системе внешнего электроснабжения.

Тяговые подстанции получают питание от различных узлов одной или нескольких энергосистем. Напряжения в точках присоединения тяговых подстанций к энергосистемам оказываются различными по модулю и фазе, что вызывает протекание потоков мощности в системе тягового электроснабжения между смежными подстанциями даже при отсутствии тяговой нагрузки. Связь систем внешнего и тягового электроснабжения по транзиту мощности принято оценивать уравнительным током в тяговой сети [2].

Транзит мощности в тяговой сети вызывает дополнительные потери электроэнергии при передаче мощности к электроподвижному составу. Потери от уравнительного тока в тяговой сети определяются по формуле [3], кВт·ч

$$\Delta W_{\text{уп}} = I_{\text{уп}}^2 \cdot R_{11} \cdot L \cdot T_{\text{уп}} \cdot 10^{-3},$$

где L – длина межподстанционной зоны, км; $T_{\text{уп}}$ – время протекания уравнивающего тока по тяговой сети, ч; R_{11} – активное сопротивление 1 км тяговой сети однопутного участка переменного тока, Ом/км.

Потери электрической энергии в тяговой сети, вызванные уравнивающими токами, в значительной степени зависят от схемы питания и секционирования межподстанционной зоны, а также определяются характером тяговой нагрузки, параметрами элементов и режимами работы систем внешнего и тягового электропитания, величиной уравнивающих токов при схемах двухстороннего питания межподстанционной зоны.

В условиях эксплуатации эти факторы изменяются, и поэтому важно уметь оперативно оценивать потери электрической энергии в тяговой сети для различных схем питания межподстанционной зоны и выбирать схему питания по минимуму потерь энергии.

Уравнивающие токи вызывают дополнительные потери электроэнергии в контактной сети независимо от того, имеются ли поезда на межподстанционной зоне или нет. При отсутствии нагрузки на зоне могут протекать уравнивающие токи, обуславливая потери энергии в контактной сети, которые фиксируются счетчиками подстанций, но не измеряются счетчиками электропоездов. Следовательно, чем больше времени на зоне отсутствуют поезда, тем больше будет разница в показаниях счетчиков энергии подстанций и электропоездов. Для оценки этой разницы кроме значения уравнивающего тока необходимо знать размеры движения поездов.

Недостатки режима работы системы тягового электропитания электрифицированных железных дорог переменного тока усиливаются несовершенной системой учета электрической энергии на тяговых подстанциях и электроподвижном составе.

Существенным недостатком в учете электроэнергии на тягу поездов на тяговых подстанциях является отсутствие учета электроэнергии на фидерах контактной сети, что мешает исследовать баланс принятой и распределенной электрической энергии [1]. Отсутствие контроля баланса принятой и распределенной электроэнергии на тягу поездов происходит по следующим причинам:

- отсутствие приборов учета на фидерах контактной сети не позволяет контролировать распределение электроэнергии по плечам питания;

- не определяются зоны с повышенным расходом электроэнергии на тягу поездов с целью выработки совместных решений службами Э и Т по снижению удельного расхода электроэнергии на тягу поездов в этих межподстанционных зонах.

Учет электроэнергии на электроподвижном составе переменного тока в настоящее время осуществляется счетчиками электроэнергии, расходуемой на тягу поездов и возвращаемой при рекуперативном торможении. Они дают возможность определять удельные расходы электроэнергии на перевозку грузов в эксплуатации. Их использование позволяет сравнить энергетические параметры электропоездов, выявить преимущества электропоездов с тиристорными преобразователями, оборудованных устройствами рекуперативного торможения, и определить, насколько экономично ведение поезда локомотивной бригадой.

Поскольку, денежных расчетов в настоящее время по показаниям счетчиков электропоездов не производят, поэтому и сегодня учет электроэнергии на электроподвижном составе производится индукционными и электронными счетчиками электрической энергии с невысоким классом точности измерения энергии.

Условия эксплуатации характеризуются несимметрией напряжения и несинусоидальностью токов. Наблюдается недоучет электроэнергии при возврате электрической энергии (в режиме рекуперации) из контактной сети в систему внешнего электропитания.

Ввиду отсутствия на электропоездах измерительных трансформаторов напряжения, цепи напряжения всех счетчиков получают питание от обмотки собственных нужд на вторичной стороне тягового трансформатора электропоезда, а токовые цепи – от первичной обмотки тягового трансформатора электропоезда. Однако пропорциональной зависимости между изменениями напряжения в контактной сети и напряжения на обмотке собственных нужд трансформатора нет. Поэтому для оценки удельного расхода энергии на тягу поездов для разных электропоездов переменного тока приходится принимать усредненные коэффициенты трансформации.

Например, при угле коммутации $40...45^\circ$ выпрямителя электропоезда, вызванном большой токовой нагрузкой двигателей, и из-за потери напряжения в реактансе рассеивания вторичных обмоток тягового трансформатора снижение напряжения на обмотке собственных нужд отличается от снижения напряжения на токоприемнике электропоезда на $10...20\%$ по модулю

и на 3...4° по фазе [4]. В результате погрешность учета электроэнергии на электроподвижном составе составляет не менее 10 %. Эти погрешности учета электроэнергии влекут за собой появление определенной доли условных потерь в системе тягового электроснабжения.

Таким образом, на сегодняшний день существует необходимость разработки комплексной системы научных, технических и организационных мероприятий в виде автоматизированной системы учета и контроля электроэнергии (АСКУЭ), с учетом выше указанных факторов. Это позволит выявить зоны с повышенными потерями электрической энергии, разработать мероприятия по их снижению, уменьшить общий расход энергии в системе тягового электроснабжения и повысить технико-экономические показатели системы тягового электроснабжения.

Для полной картины расхода электрической энергии по всем элементам системы тягового электроснабжения необходим учет расхода электроэнергии по фидерам контактной сети и на электроподвижном составе.

Внедрение АСКУЭ в системе тягового электроснабжения помимо непрерывного контроля и учета электроэнергии позволит оценить состояние устройств электроснабжения, вести текущий контроль потерь электроэнергии и показателей качества получаемой электроэнергии, а также выявить нерациональный расход электроэнергии.

Создание и внедрение такой системы на электроподвижном составе позволит:

- контролировать достоверность учета электрической энергии по счетчикам электроподвижного состава и получения информации после обработки маршрутных листов машинистов;
- обеспечивать техническое и организационное совершенствование учета электроэнергии на электроподвижном составе;
- нормировать величину электрической энергии на отопление пассажирских вагонов;
- контролировать расход электрической энергии электровозами с соседних дорог.

Основными задачами по внедрению АСКУЭ на электроподвижном составе являются:

- разработка технических решений по ее реализации и на ее базе организация текущего контроля электропотребления электровозами на тягу поездов;
- соответствие правовому обеспечению технических средств АСКУЭ, которое станет возможным с применением измерительного трансформатора напряжения на стороне 25 кВ тягового трансформатора электровоза и современных приборов учета электроэнергии;
- осуществление при помощи технических средств привязки энергопотребления электроподвижного состава к обслуживаемой зоне (в силу того, что электровоз является подвижной единицей и перемещается по участку железной дороги).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Черемисин В. Т. Основные направления работ по снижению «условных» потерь электрической энергии на тягу поездов // Железнодорожный транспорт ЦНИИТЭИ МПС, Серия: Электроснабжение железных дорог, – 2000. – Вып. 4. – С. 2–19.
2. Марквард К. Г. Электроснабжение электрифицированных железных дорог. – М.: Транспорт, 1982. – 528 с.
3. Черемисин В. Т. Система мероприятий по снижению потерь электрической энергии в тяговой сети от уравнильных токов / В. Т. Черемисин, В. А. Кващук // Железнодорожный транспорт ЦНИИТЭИ МПС, – 2000. – Вып. 3. – С. 9–21.
4. Молин Н. И. Потенциал энергосбережения в системе тягового электроснабжения переменного тока железных дорог // Ресурсосберегающие технологии на железнодорожном транспорте: Материалы Всероссийской научно-технической конференции с международным участием: В 2 т. Т. 1 / Отв. ред. В. П. Суров. – Красноярск: Гротеск, 2005. – С. 39–46.

Поступила в редколлегию 25.06.2006.