

## СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМАМИ НАПРЯЖЕНИЯ В ТЯГОВОЙ СЕТИ

*Новосибирский государственный технический университет*

*Работа посвящена оптимизации напряжения на токоприемниках подвижного состава. Также рассмотрены обобщенные аналитические и модельные представления о связях режимов напряжения в тяговой сети с потребителями электрической энергии. Рассмотрены современные системы стабилизации напряжения на токоприемниках подвижного состава.*

*Ключевые слова: электроподвижной состав, система тягового электроснабжения, тяговая сеть, уровень напряжения на токоприемнике*

Из всех показателей качества питающей электроподвижной состав (ЭПС) электроэнергии, рассмотренных ГОСТом [1], наибольшее влияние на расход энергии оказывает уровень напряжения. Режимы напряжения на токоприемниках ЭПС являются решающими для повышения энергоэффективности электрической тяги. От уровней напряжения на токоприемниках зависят: скорости движения, время хода по участку, величины тяговых токов и расходы электроэнергии, потребление энергии вспомогательными машинами.

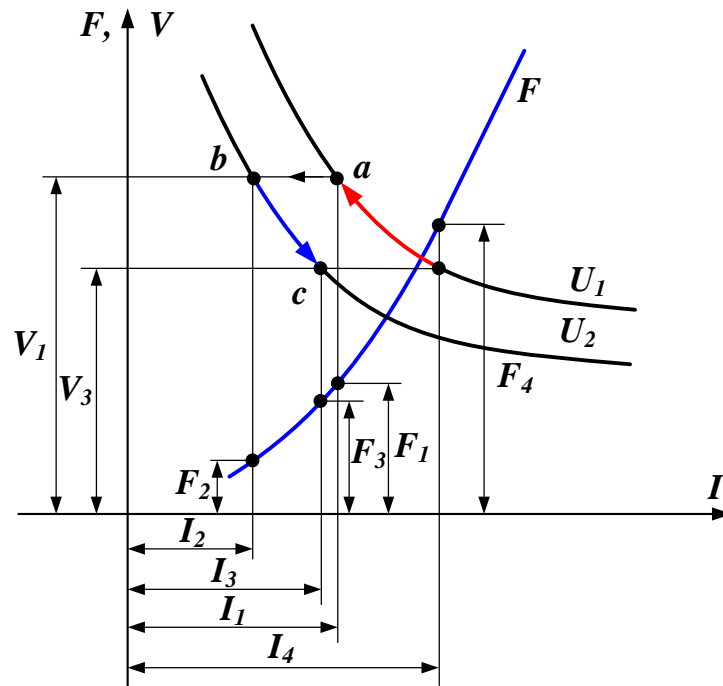
Понижение уровня напряжения на токоприемнике ЭПС имеет еще и скрытый, но не менее значимый фактор, снижающий конкурентоспособность электрического транспорта, который проявляется в ухудшении динамических показателей транспортных средств. Это можно показать по аналитической зависимости [2]:

$$M = c_m \Phi I_{\text{дв}} = c_m k I_{\text{дв}}^2 = \frac{c_m k}{r_{\text{дв}}} U_{\text{кв}}^2 - c_e \Phi V . \quad (1)$$

где  $M$  – крутящий момент на ободе колеса;

$k$  – коэффициент пропорциональности между потоком и током мотора.

Влияние напряжения на скорость движения можно проиллюстрировать графиками на рисунке 1.



**Рис. 1. - Графики изменения скоростей и сил тяги ЭПС при отклонениях напряжения**

При изменении напряжения в тяговой сети происходит переход от одной характеристики двигателя на другую и соответственно изменяется скорость движения поезда. Однако переход от одной скорости к другой совершается не мгновенно. Из-за большой инерции поезда скорость в момент перехода на новую ступень регулирования остается практически равной первоначальной, а происходит резкое изменение силы тяги и тока. Это объясняется тем, что механическая постоянная времени  $\tau_M$  много больше электрической постоянной времени  $\tau_{\mathcal{E}}$  ( $\tau_M \gg \tau_{\mathcal{E}}$ ), поэтому электрические процессы протекают намного быстрее механических, и скорость поезда практически не успевает измениться.

Это можно показать также по аналитическим зависимостям:

$$V = \frac{U_{кс} - I_{\partial в} \cdot r_{\partial в}}{c_e \Phi}; \quad F = c_m \Phi I_{\partial в}. \quad (2)$$

Произведение  $I_{\partial\theta} \cdot r_{\partial\theta}$  малое в сравнении с величиной  $U_{\text{кв}}$ . Таким образом, скорости движения пропорциональны уровням напряжения на токоприемниках ЭПС [3]:

$$\frac{V_1}{V_2} \approx \frac{U_{\text{кв}1}}{U_{\text{кв}2}}. \quad (3)$$

Напряжения на токоприемниках формируются под влиянием многих факторов: напряжения в энергосистеме, характеристики элементов тягового электроснабжения, схемы питания и др. Напряжения на токоприемниках можно определять как случайную величину с изменениями значений в некоторых пределах ( $U_{\text{min}} - U_{\text{max}}$ ).

Для поддержания оптимального уровня напряжения необходимо иметь комплекс устройств его регулирования и определение самого этого уровня, при котором обеспечивается наибольшая энергоэффективность. Оптимальный уровень напряжения будет зависеть от многих факторов: характеристик тягового и вспомогательного оборудования, сил тяги и сопротивления движению и др. Это является предметом дальнейших исследований.

Созданные за последние десятилетия современные управляемые преобразователи, микропроцессорные системы управления, надежные радиоканалы связи создают возможность реализовать новый принцип питания тяговых сетей, позволяющий в максимальной степени учитывать реальные характеристики и параметры системы электрической тяги поездов.

Традиционным способом решения этой проблемы является строительство дополнительных тяговых подстанций. Новое направление основывается на применении распределенной системы питания с продольной линией повышенного напряжения, проложенной по опорам контактной сети.

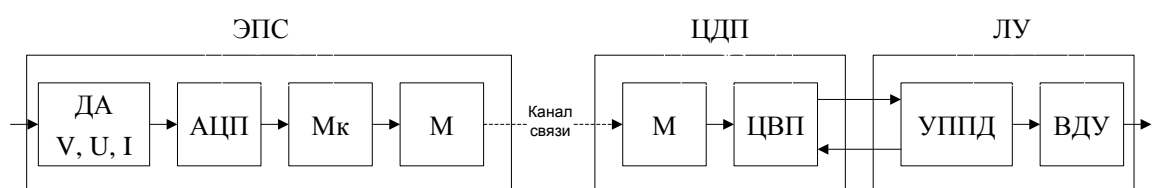
Вместе с тем, имеется возможность улучшения эффективности существующих централизованных систем электроснабжения за счет регулирования напряжения на шинах тяговых подстанций, особенно с появлением современных преобразователей на основе IGBT-тиристоры и

IGBT-транзисторов, отличающихся высоким быстродействием и экономичностью.

Усиление на основе распределенного питания [3], рекомендованного К.Г.Марквардтом, предполагает переход к новому схемотехническому решению электротяговой сети – новой линии продольного электроснабжения постоянного или переменного тока повышенного напряжения и автоматических одноагрегатных пунктов питания тяговой сети.

Разработаны различные способы регулирования напряжения в системах тягового электроснабжения (СТЭ) постоянного тока. Это силовые понизительные трансформаторы с устройствами регулирования под нагрузкой, выпрямительные агрегаты на управляемых силовых полупроводниковых приборах, вольтодобавочные устройства (ВДУ) на подстанциях и в контактной сети. Особую группу способов поддержания напряжения в тяговой сети составляют системы распределенного питания, выполненных с однопроводной ЛЭП повышенного напряжения и преобразовательными пунктами повышения напряжения. Перспективным является применение в СТЭ накопительных пунктов питания на основе суперконденсаторов. Они могут размещаться на подстанции, линейных устройствах контактной сети, а также ЭПС.

Система автоматического поддержания заданного уровня напряжения может иметь структуру, показанную на рисунке 2.



**Рис. 2. - Структура автоматизированной системы управления режимами напряжения на токоприемниках ЭПС**

Автоматизированная система включает устройства на ЭПС, центральном диспетчерском пункте (ЦДП) и линейных устройствах (ЛУ) ВДУ. На ЭПС в качестве первичных источников информации о скорости, токах, напряжения

могут использоваться аналоговые датчики (ДА), тогда требуется аналогово-цифровой преобразователь (АЦП), микроконтроллер (Мк) и модем (М). В случае цифровых измерительных приборов на микроконтроллер могут подаваться их выходные сигналы. На ЦДП СТЭ цифровая вычислительная машина (ЦВМ) получает осведомительную информацию от модема (М) по радиоканалу (оптоволоконному кабелю) с ЭПС и по устройству приема и передачи данных (УППД) от вольтодобавочных устройств (ВДУ), размещаемых на подстанциях, ППН, постах секционирования (ПС), пунктах размещения ВДУ в контактной сети. ЦВМ по заданной программе формирует управляющую команду для выбора и изменения режима функционирования (работы) ВДУ.

Приведенная структура с теми или иными набором устройств в современных условиях вполне осуществима. Это особенно важно для участков скоростного движения, электрифицированных на постоянном токе. Показанная система позволяет решить задачу стабилизации напряжения на токоприемниках ЭПС. До сих пор решались в основном задачи стабилизации напряжения на шинах тяговых подстанций. Для предлагаемой системы требуется более широкий спектр регуляторов напряжения с размещением их главным образом на линии.

#### Литература:

1. ГОСТ 13109-99. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. / Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Введ. 1999-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1999. – 31 с.
2. Бирюков В.В. Энергосбережение на электрическом транспорте: монография/ В.В. Бирюков. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2009. – 244 с.
3. Марквардт К. Г. Электроснабжение электрифицированных железных дорог/ К. Г. Марквардт. М.: Транспорт, 1982. – 528 с.