
**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ
КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ ЭНЕРГИИ НА
ЭЛЕКТРОФИЦИРОВАННОМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ
ТРАНСПОРТЕ**

ОПЫТ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТА НА ЕВРОПЕЙСКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ

ВВЕДЕНИЕ

В свете растущих требований к условиям эксплуатации и развития транспортного хозяйства европейские железнодорожные компании уделяют серьёзное внимание проблемам уменьшения потребления электроэнергии и сокращения энергопотерь, в том числе полная компенсация реактивной энергии, стабилизация напряжения в контактной сети и уменьшение гармоник.

Решение этих проблем позволяет избежать платы за реактивную энергию, сократить энергопотери, увеличить возможность нагрузки тяговой сети и пропускную способность движения поездов. Отсутствие бросков напряжения улучшает работу и продлевает срок службы оборудования ЭПС (электроподвижного состава).

Огромное значение в обеспечении безопасности движения поездов играет надежная работа устройств связи. Уменьшение гармоник в тяговой сети ведет к уменьшению влияния помех в телекоммуникационных линиях.

В 1998 году Европейская комиссия, объединяющая ведущие железные дороги Европы, провела анализ возможности использования статических компенсаторов реактивной энергии с электронным блоком переключателей конденсаторных батарей, работающих в масштабе реального времени.

Далее представлен пример проекта реализованного на одной из европейских железных дорог. В данном проекте используются системы типа Эквалайзер компании Элспэк (Elspec Ltd). Системы данного типа обладают возможностью моментальной (в течение одного периода электрической сети) компенсации реактивной энергии и стабилизации напряжения. Включение конденсаторных групп происходит с помощью электронных переключателей без переходного процесса в электрической сети.

Использование систем типа Эквалайзер позволяет уменьшить потребление электроэнергии, полностью избежать штрафов за реактивную энергию, сократить эксплуатационные расходы железнодорожного хозяйства и принести дополнительные прибыли за счет увеличения пропускной способности железной дороги.

Реализация проекта по внедрению специализированных систем компенсации реактивной энергии показала техническую и экономическую эффективность использования статических компенсаторов реактивной энергии с электронным блоком переключателей конденсаторных батарей, работающих в масштабе реального времени, на железных дорогах. Эта технология, проверенная на опыте, открывает новую страницу в области эксплуатации электросетей железнодорожного транспорта.

ПРЕДПРОЕКТНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ

Предварительная информация, полученная от электрослужбы дороги:

1. Высокие среднемесячные штрафы за реактивную энергию, недокомпенсация и перекомпенсация.
2. Падения напряжения в момент трогания подвижного состава составляют более 10% от номинального – 25 кВ.
3. Броски тока в момент трогания подвижного состава, превышающие в несколько раз номинальное значение, что приводило к эксплуатационным проблемам, а именно:
 - Срабатывание защитной аппаратуры на локомотиве.
 - Срабатывание защитной аппаратуры на тяговой подстанции.
 - Перегрев контактной сети, токоведущих частей тяговой подстанции и локомотива
4. Повышенные эксплуатационные расходы по обеспечению перевозок. Недополучение прибыли из-за ограниченной пропускной способности.

Предыдущий опыт работы показал неэффективность использования конвенциональных систем компенсации реактивной энергии, т.е. систем с электромеханическими выключателями. В качестве основных проблем указывалось следующее:

- Невозможность избежать штрафов за реактивную энергию.
- Неполная компенсация, недокомпенсация или перекомпенсация.
- Неправильная компенсация – невозможность системы скомпенсировать стартовые токи нагрузок и падения напряжения, перекомпенсация.
- Внос помех (высоких гармоник) в момент переключения компенсирующих групп и как следствие - отрицательное влияние на работу линий связи.
- Ненадежность системы – частые отказы электромеханических выключателей, высокая эксплуатационные расходы.

Для получения исходных данных были проведены измерения тяговой сети на всем участке дороги в разных режимах работы, т.е. при разных уровнях и режимах нагрузки.

Измерения проводились на высоком напряжении – 154 кВ в точке подключения тяговой подстанции (точка расчета с электрической компанией), а также на напряжении 25 кВ для получения полной картины поведения тяговой сети.

Измерительное оборудование: В качестве измерительного оборудования использовалась портативная система PPA 205, позволяющая измерять все параметры электрической сети (2000 параметров), включая гармоники, за каждый цикл сети (т.е. каждые 20 мсек, в случае 50 Гц), с последующей записью в память.

Скорость реакции системы компенсации-стабилизации должна быть не более 20 мсек. Все измеряемые параметры должны быть проанализированы к концу каждого цикла сети, для получения сигналов управления, включающих компенсирующие группы через электронные выключатели без переходных процессов. (Включение компенсирующих групп в тот момент цикла, когда напряжение равно нулю).

Результаты измерений на данном участке дороги при определенных нагрузках показали следующее:

1. Среднесуточное значение $\cos \varphi$: 0.75
2. Максимальное падение напряжения при запуске нагрузки: 12 %.
3. Всплеск тока при запуске нагрузки: 500%
4. Всплеск реактивной мощности: 350%.
5. Коэффициент гармонических искажений - THD (Total Harmonic Distortion): 20 %.

Таким образом при установке системы типа Эквалайзер необходимо добиться следующих результатов:

1. Получение среднесуточного значения $\cos \varphi = 1$ и избежание перекомпенсации. Точная и моментальная компенсация.
2. Компенсация провалов напряжения, т.е. не более 2% от номинального.
3. Значительное уменьшение всплесков тока и реактивной энергии в пиках нагрузки.
4. Уменьшение коэффициента гармонических искажений (THD), не более 5%.

На основе многолетнего опыта с использованием программных средств симуляции компания Элспэк (Elspec Ltd.) предложила следующую конфигурацию компенсирующей системы:

1. Система компенсации реактивной энергии и стабилизации напряжения в реальном масштабе времени.
2. Использование электронного выключателя (диодно-тиристорная цепь) для подключения компенсирующих групп без переходного процесса.
3. Рабочее напряжение: 500 В
4. Мощность системы: 1250 кVar
5. Мощность группы: 125 кVar
6. Антирезонансный реактор: 5.6%.
7. **Связь и удаленный контроль:** Возможны несколько вариантов удаленной связи с системой:
 - а. Вывод аварийных сигналов системы на телеметрический пульт тяговой подстанции.
 - б. Модемная связь через обычную телефонную линию с диспетчерским узлом.
 - в. Сетевая связь с использованием выделенного канала.

Удаленная связь позволяет:

- а. Контроль за состоянием компенсирующей системы (включая контроль за каждой из компенсирующих групп)
- б. Контроль за состоянием тяговой сети (включая все 2000 электрических параметров, гармоники напряжения и тока до 63-ей гармоники).
- в. Анализ состояния тяговой сети (с помощью непрерывной записи электрических параметров в память для последующей обработки).

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

Служба электроснабжения железной дороги на основе предпроектных изысканий определила технико-экономические условия для системы в рамках одной тяговой подстанции, представленные в Таблице 1., а также требования соответствия европейским железнодорожным стандартам, указанным в Приложении А.

Таблица 1.

Значение $\cos \varphi$	1
Реактивная мощность системы	1250 kVar
Компенсация падения напряжения	2000 В
Время реакции системы	Не более 20 мсек
Гармоники	Соответствие стандарту EN50160, СЦБ (сигнализация, централизация, блокировка)
Окупаемость	Не более 2-х лет
Надёжность	99,98 %
Техническое обслуживание	Минимальное
Модулярность	Возможность наращивания конденсаторных групп
Мобильность	

Данные железной дороги:

1. Однопутный участок.
2. Расстояние между тяговыми подстанциями – 50-60 км.
3. Напряжение внешней питающей сети – 154 кВ.
4. Напряжение тяговой сети – 25 кВ.
5. Частота сети – 50 Гц.

Таким образом предполагается установка компенсирующей-стабилизирующей системы на каждой подстанции тяговой сети.

На диаграмме представлена структурная схема тяговой подстанции.

Z_T – два трансформатора 154 кВ\27.5 кВ, 7.5 МВА могут работать одновременно в параллель.

Z_t – понижающий трансформатор компенсирующего устройства - (КУ) 25кВ\0.5 кВ, 1.6 МВА.

Z_S – внешняя питающая сеть.

Z_{k1} , Z_{k2} – отходящие фидера тяговой сети.

Z_R , Z_t , Z_C – элементы КУ.

Описание работы и назначение элементов

Элементы схемы:

S1 - Разъединитель

Q1 – Вакуумный выключатель

T10 – Трансформатор напряжения

T11 – Трансформатор тока

T1 – Понижающий трансформатор 25\0.5 кВ

L0 – Постоянный реактор (5.3 мН)

F – Быстрый предохранитель

TS – Электронный выключатель

L – Реактор (1.1012 мН)

C – Конденсаторная группа состоит из (8 x 167 μ F + 1x 67 μ F) = 1403 μ F

F12, F13, A11, F11, T0, A101 – Элементы контролера

TR-2 – Шина тяги поездов.

В соответствии с технико-экономическими условиями выбран вариант работы КУ на низком напряжении.

КУ подключается к тяговой сети через Разъединитель S1, Выключатель Q1 и понижающий трансформатор T1.

Постоянный реактор L0 включен постоянно в сеть в независимости от работы КУ, для компенсации постоянной ёмкостной составляющей тяговой сети.

КУ состоит из десяти групп, каждая из которых имеет конденсаторную батарею C и реактор L. Каждая группа подключена к шине КУ через предохранитель F и электронный выключатель TS.

Контролер выполняет измерения всех параметров тяговой сети (токи – T0, напряжение – A101), контролирует и ведет весь процесс компенсации и стабилизации напряжения, включая контроль за состоянием гармоник в сети, а также выполняет измерения внутренних параметров системы в целях самоконтроля и профилактики.

ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Таким образом, ввод в эксплуатацию компенсирующих-стабилизирующих систем на всём участке дороги позволил:

1. Уменьшить расход электроэнергии.
2. Полностью компенсировать реактивную энергию.
3. Уменьшить провалы напряжения и броски тока (в соответствии с техническими условиями, см. Раздел “Технико-экономические условия”) в момент запуска нагрузок.
4. Уменьшить гармонические составляющие тока и напряжения тяговой сети.

Эксплуатационные результаты:

1. Уменьшился простой подвижного состава за счет существенного уменьшения срабатывания защитных устройств.
2. Сократились расходы на содержание компенсирующих устройств и всего энергетического хозяйства.
3. Улучшился режим работы силовых устройств, питающих тяговую сеть и самой тяговой сети.
4. Энергодиспетчера получили возможность полного и точного контроля за состоянием энергосети.
5. Уменьшилось влияние тяговой сети на линии и устройства связи.

ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ

1. Уменьшение платы за электроэнергию за счет полного исключения штрафов за реактивную энергию и сокращения потребления электроэнергии.
2. Уменьшение эксплуатационных расходов.
3. Увеличение пропускной способности железной дороги.

Приложение А

Стандарты

EN50163	Приложения для железных дорог – Напряжение питания тяговой сети
EN50124-1	Приложения для железных дорог – Изоляция
EN50160	Характеристики напряжения для общих распределительных сетей
EN50121-2	Приложения для железных дорог – ЭМС часть 2 : Совмещение железнодорожной системы со внешней сетью
EN50121-5	Приложения для железных дорог – ЭМС часть 5: Установка постоянных источников питания
EN50152-3	Однофазные трансформаторы напряжения и тока
EN50124-2	Изоляция – перегрузки по напряжению и способы защиты
IEC71	Изоляция и координация
EN60694	Общие требования к переключателям на высоком напряжении
EN61000	ЭМС
EN55013	Ограничения и методы измерений характеристик радио помех на радиоприёмники, телевизоры и другую приёмную аппаратуру
EN50122-1	Приложения для железных дорог – Стационарный монтаж : меры предосторожности и способы заземления
IEC60721-3-3	Классификация условий окружающей среды – часть 3 : Классификация групп параметров окружающей среды и их пределов – Раздел 3 : Транспортировка
IEC60721-3-4	Классификация условий окружающей среды – часть 3 : Классификация групп параметров окружающей среды и их пределов – Раздел 4 : Эксплуатация в местах незащищенных от климатических условий