

ОПТИМИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

ЗИХЕРМАН М.Х., директор ООО «АНТэлектро», к.т.н.

В статье поднимается проблемный вопрос симметрирования нагрузки тяговых подстанций железных дорог. Рассматриваются возможности применения симметрирующих трансформаторов для решения этой проблемы. На конкретном примере исследуются недостатки существующих опытных образцов и даются рекомендации по дальнейшим разработкам.

Замена напряжения 3 кВ постоянного тока напряжением 25 кВ переменного тока позволяет увеличить тяжеловесность поездов и интенсивность их движения. В несколько раз возрастает единичная мощность тяговых подстанций (ПС), а расстояние между ними увеличивается с

10–15 км до 40–50 км. Существует несколько схем электроснабжения на переменном токе и оптимальный выбор одной из них в каждом конкретном случае – актуальная задача проектирования.

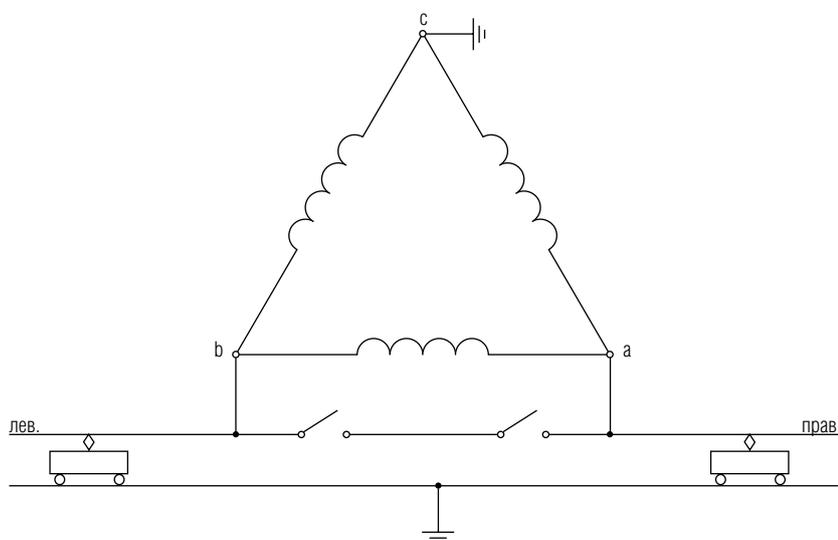
В настоящее время ПС переменного тока оснащаются силовыми по-

нижающими трансформаторами напряжением 110–220 кВ мощностью 16–40 МВА, которые выпускаются по ГОСТ Р 51559-2000. Сетевая обмотка у них собирается в симметричную трехлучевую звезду, а тяговая (напряжением 27,5 кВ) – в замкнутый треугольник, одна из вершин которого заземляется на рельсы. Две другие вершины треугольника подключаются к контактным проводам, каждая к своему плечу (рис. 1). При такой схеме подключения тяговую нагрузку несут только две фазы, а третья остается ненагруженной. Помимо снижения коэффициента использования установленной мощности трансформаторов минимум на 25 %, это приводит к несимметрии в первичной сети.

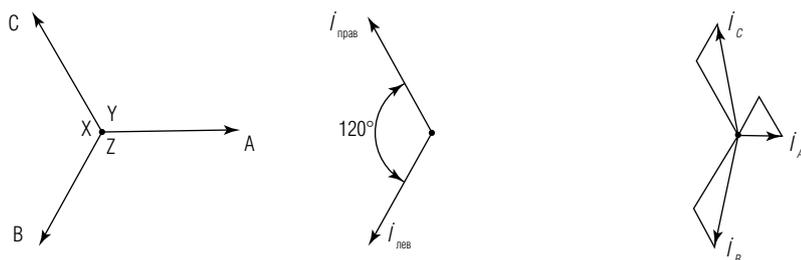
Несимметрия проявляется в виде токов и напряжений обратной последовательности. Количественно она оценивается коэффициентами несимметрии отдельно для тока и отдельно для напряжения. Коэффициенты выражаются в виде процентного отношения напряжения и тока обратной последовательности к напряжению и току прямой последовательности.

Токи обратной последовательности опасны для генераторов энергосистемы. Они образуют вращающееся магнитное поле противоположного направления, которое нагревает бандажные кольца ротора. Абсолютная величина тока обратной последовательности в генераторах не должна превышать 10 % от их номинального тока.

Напряжение обратной последовательности возникает в результате падения напряжения от токов обратной



а) Схема подключения контактной сети к обмоткам трансформатора



AX, BY, CZ – первичные фазные напряжения,

$I_{лев}$ и $I_{прав}$ – токи нагрузки,

I_A, I_B, I_C – первичные фазные токи.

б) Векторные диаграммы токов во вторичной и первичной сетях при равноплечей активной нагрузке

Рис. 1. Традиционная схема питания контактной сети

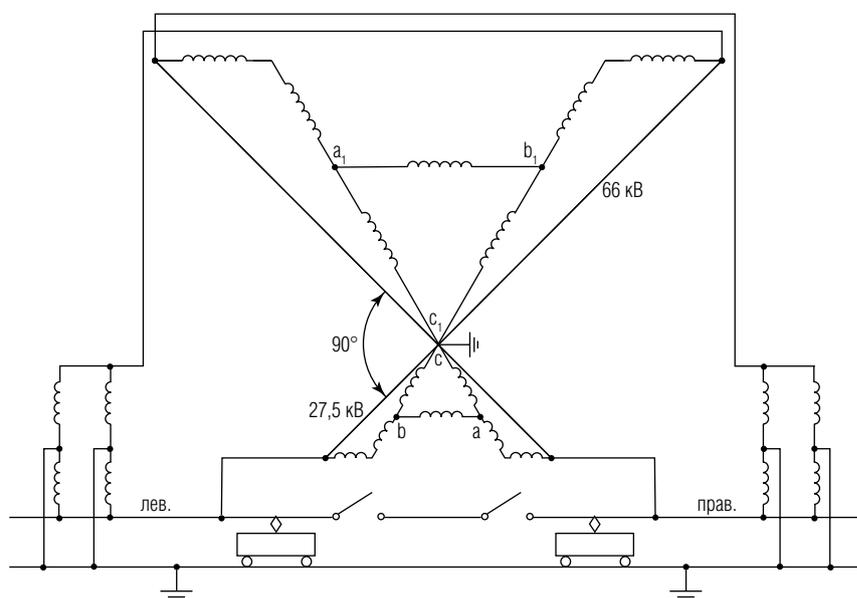
последовательности в предвключенных сопротивлениях сети. Оно также негативно воздействует на роторы двигателей у потребителей. Поэтому коэффициент несимметрии по напряжению обратной последовательности в сетях общего назначения не должен превышать 2 % длительно и 4 % кратковременно.

Коэффициент несимметрии по току обратной последовательности зависит от режима работы ПС. При нагрузке только одного пути он равен 100 %, а при одинаковой нагрузке обоих путей – 50 %, то есть ток обратной последовательности присутствует всегда при работе каждой ПС.

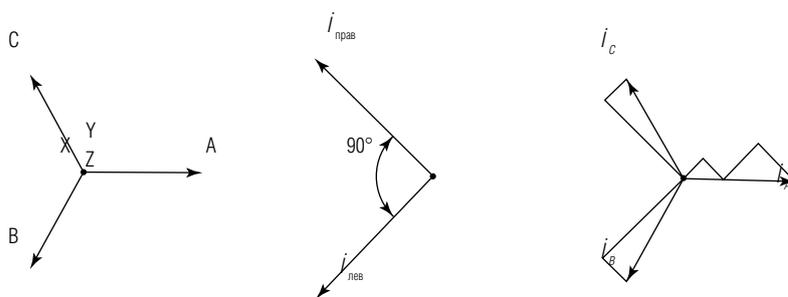
Общий ток обратной последовательности, потребляемый группой соседних ПС, зависит, кроме того, и от способа их подключения. Если трансформаторы всех соседних ПС подключены к рельсам одноименными фазами, токи обратной последовательности суммируются в энергосистеме 110–220 кВ так, будто это один большой трансформатор. Железная дорога от этого не страдает, если не принимать во внимание затруднений при заключении договоров электроснабжения с энергосистемой.

Чтобы уменьшить негативное воздействие несимметрии на энергосистему, на железной дороге применяется схема «винта». Согласно этой схеме вторичные обмотки трансформаторов соседних ПС подключаются к рельсам разными фазами. Тогда токи обратной последовательности при равенстве нагрузок трех ПС сдвигаются на 120 градусов и в точке общего присоединения полностью компенсируются. Однако одновременная нагрузка всех трех ПС бывает одинаковой очень редко, и полной компенсации не получается. Достоверно измерить степень этой неполноты можно только с помощью автоматической регистрации и анализа фактических режимов работы тяговых ПС. Но и без этого ясно, что схема «винта» обладает положительным эффектом.

К сожалению, она приносит железной дороге некоторые неудобства, так как при схеме «винта» параллельная работа трансформа-



а) Схема подключения контактной сети к обмоткам трансформатора



AX, BY, CZ – первичные фазные напряжения,

$I_{лев}$ и $I_{прав}$ – токи нагрузки,

I_A, I_B, I_C – первичные фазные токи.

б) Векторные диаграммы токов во вторичной и первичной сетях при равноплечей нагрузке

Рис. 2. Схема дальней тяги

торов соседних ПС невозможна. Из-за этого в точке разрыва контактной сети посты секционирования должны быть всегда в отключенном состоянии, а нейтральные вставки – находиться без напряжения. Во избежание пережога контактной сети состав должен проходить их по инерции с выключенными заранее двигателями. Если не автоматизировать этот процесс, машинист обязан уделять ему дополнительное внимание. Из-за перерыва в тяге снижается и скорость движения поездов.

Такой способ взаимодействия железной дороги с энергосистемой широко применяется в европейской части страны и в обжитых районах Сибири, где имеется разветвленная сеть напряжением 110–220 кВ.

В малонаселенных районах Сибири такой сети нет, а расстояние между соседними центрами питания напряжением 220 кВ составляет около 300 км. В этих условиях для электроснабжения железных дорог нужно либо создавать разветвленную сеть 110–220 кВ за счет собственных средств и применять схему «винта», либо искать другие технические решения.

Для электроснабжения железных дорог в малонаселенных районах Сибири была разработана концепция дальней тяги [1]. Согласно этой концепции, энергия на весь участок пути длиной порядка 150 км подается от одной головной ПС напряжением 220 кВ. Трехфазные понижающие трансформаторы мощностью

60–100 МВА имеют по две тяговые вторичные обмотки: одну – напряжением 27,5 кВ, а другую – напряжением 66 кВ. Обмотка напряжением 27,5 кВ подключается к контактной сети, а обмотка напряжением 66 кВ – к дополнительному проводу, подвешенному на тех же опорах, что и контактная сеть. Через каждые примерно 40 км пути сооружаются промежуточные понижающие ПС, содержащие автотрансформаторы, обмотки которых включаются между дополнительным проводом и контактной сетью. Для удобства ремонтных работ контактная сеть разделена на участки, между которыми устанавливаются посты секционирования.

Такая схема дальней тяги требует принятия дополнительных мер по защите энергосистемы от чрезмерных токов обратной последовательности, так как все промежуточные тяговые ПС имеют ту же фазу напряжения, что и головная ПС. Необходимая дополнительная мера была предложена в [2] в виде применения симметрирующего понижающего тягового трансформатора (рис. 2).

Термин «симметрирующий» означает, что трансформатор имеет на вторичной стороне многофазную симметричную систему напряжений, число фаз которой равно числу фаз нагрузки, а на первичной стороне – симметричную систему напряжений, число фаз которой равно числу фаз питающей сети. В симметричной двухфазной системе векторы напряжений соседних фаз сдвинуты на 90 градусов, в трехфазной – на 120 градусов, в пятифазной – на 72 градуса и т.д. В литературе такие трансформаторы называются статическими электромагнитными преобразователями числа фаз.

Любая многофазная симметричная активно-реактивная нагрузка обладает очень важным свойством – в любой момент времени сумма мгновенных мощностей всех фаз имеет только постоянную составляющую. Переменная составляющая отсутствует. Это свойство лежит в основе работы всех симметрирующих преобразователей чисел фаз, которые переводят нагрузку из одной многофазной симметричной системы в другую многофазную симметричную

систему. Коэффициент обратной последовательности по току при этом с обеих сторон равен нулю.

Многофазная нагрузка не всегда симметрична по фазам. Предельным случаем несимметрии является нагрузка только одной фазы. У нее переменная составляющая мгновенной мощности синусоидально колеблется вокруг постоянной составляющей с двойной частотой. Однофазную нагрузку невозможно симметрировать ни в одной многофазной системе. Коэффициент обратной последовательности по току у однофазной нагрузки всегда равен 100 %.

Реальная нагрузка складывается из нагрузок от всех поездов, движущихся по обоим путям. Если левый и правый пути нагружены одинаково, коэффициент несимметрии в симметричной двухфазной системе равен нулю, а если составы движутся только по одному пути, то – 100 %. Реальный коэффициент несимметрии, так же как и в схеме «винта», зависит от графика движения поездов и полного освобождения от несимметрии не происходит. Поскольку схема дальней тяги пока не реализована, измерить степень эффективности симметрирующих трансформаторов невозможно, но можно надеяться, что она окажется даже лучше, чем у схемы «винта».

Симметрирующие трансформаторы можно применять и в схеме ближней тяги, ограничившись одной тяговой обмоткой напряжением 27,5 кВ. Это позволит отказаться от схемы «винта» в густонаселенных районах страны и избежать неудобств, причиняемых железной дороге.

Во-первых, становится возможной параллельная работа понижающих трансформаторов соседних ПС через контактную сеть. Это позволит держать под напряжением нейтральные вставки, что облегчит труд машинистов и повысит скорость движения поездов.

Во-вторых, благодаря параллельной работе трансформаторов соседних ПС появляется возможность для совместного питания движущихся между ними составов. В результате на 10–15 % сокращаются потери электроэнергии.

В-третьих, из-за отсутствия третьей ненагруженной фазы коэффициент использования установленной мощности симметрирующих понижающих трансформаторов может быть повышен до 100 %.

В симметрирующем трансформаторе, предлагаемом для тяговых ПС на переменном токе, на питающей стороне должно быть три фазы, а на вторичной тяговой стороне – две. Общая точка двухфазной тяговой обмотки должна присоединяться к рельсам, а две фазы, сдвинутые на 90 градусов, – к двум контактным проводам.

Для проверки возможности промышленного использования симметрирующих трансформаторов в схемах дальней тяги был изготовлен опытный образец такого трансформатора мощностью 25 МВА. В 2003 г. он был установлен в опытно-промышленную эксплуатацию. В настоящее время эта разработка включена в производственный каталог трансформаторного оборудования группы компаний «Энергомаш» под обозначением ТДТНЖСМ-25000/110.

Трансформатор имеет трехстержневой магнитопровод, симметричную трехфазную первичную обмотку напряжением 115 кВ и три вторичных. Первая вторичная обмотка напряжением 27,5 кВ выполнена симметричной двухфазной с углом между векторами фазных напряжений 90 градусов. Вторая симметричная двухфазная вторичная обмотка напряжением 66 кВ имеет тот же угол, а третья – симметричная трехфазная выполнена напряжением 10 кВ с углом 120 градусов. Первая и вторая вторичные обмотки предназначены для организации дальней тяги, а третья вторичная обмотка, соединенная в треугольник, – для питания районных потребителей общего назначения.

Созданием опытного образца трансформатора ТДТНЖСМ-25000/110 была доказана принципиальная возможность разработки симметрирующих трансформаторов для железной дороги. Однако надеяться на его широкое применение в представленном виде нет оснований.

К сожалению, он неэффективен для ближней тяги, так как имеет лиш-

Бесплатная электронная версия журнала предоставлена компанией

. Другие номера журнала на сайте редакции:

нюю вторичную обмотку напряжением 66 кВ. Она не только бесполезна, но и вредна, поскольку занимает много места и усложняет конструкцию.

Для дальней тяги он совсем не подходит. Причин здесь несколько. Во-первых, у него мала мощность, а во-вторых, обмотка 27,5 кВ представляется лишней. Она способна питать только головной участок дороги длиной порядка 20 км, а на последующие участки общей длиной 130 км существенного влияния не оказывает. Было бы рационально от нее совсем отказаться и питать головной участок на общих основаниях от обмотки 66 кВ. Отказ от лишней обмотки и в этом случае сильно упростит конструкцию, сократив общее число отдельных обмоток с 20 до 13. Полезно избавиться и от обмотки для питания районных потребителей общего назначения. Это еще больше упростило бы дело, снизив общее число отдельных обмоток до 10.

Выбор оптимальной системы электроснабжения и, в частности, оптимальных параметров понижающего силового трансформатора при проектировании тяги различной дальности зависит от конкретных условий. Для различных районов страны нужны разные симметрирующие трансформаторы. Разработкой их конструкции, выпуском опытных образцов и опытно-промышленной эксплуатацией нужно заниматься уже сейчас.

Разработку целесообразно начинать с трансформатора мощностью 16–25 МВА напряжением 115/27,5 кВ, предназначенного только для ближней тяги.

Симметрирующие трансформаторы для дальней тяги, как более мощные и сложные, можно будет разработать позже, когда накопится опыт эксплуатации простых трансформаторов в обжитых районах страны.

ВЫВОДЫ

1. При оптимизации системы электроснабжения железных дорог целесообразно ориентироваться на широкое использование симметрирующих трансформаторов как в европейской части страны, так и в Сибири.

2. Необходимо уже сейчас начинать работу над простейшим образцом из серии будущих симметрирующих понижающих силовых трансформаторов переменного тока, предназначенных для электроснабжения железных дорог в различных районах страны.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Мамошин Р.Р.* Новые технологии электроснабжения железных дорог на переменном токе. Евразия, Вести, IV, 2007 г.

2. Изобретение RU 2224317 Н 01 F 30/14. Трансформатор с симметрирующим эффектом для тяговой подстанции переменного тока. Авторы: Мамошин Р.Р., Василянский А.М.



10-12

ФЕВРАЛЯ 2010

Ростов-на-Дону

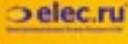
Тематический информационный спонсор:



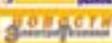
Почтовый информационный спонсор:



Интернет-спонсор:



Информационный спонсор:



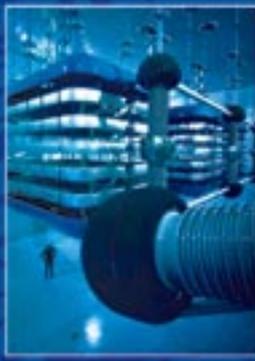
МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА

ЭЛЕКТРОПРОМЭКСПО

Энергетика. Электротехника. Электроника

Основные разделы выставки:

- электрические машины и комплектующие;
- низковольтная аппаратура;
- высоковольтное оборудование;
- кабели, провода, аксессуары;
- электроизоляционные материалы и изоляторы;
- преобразовательная техника;
- контрольно-измерительные приборы и автоматика;
- электромонтажное оборудование и инструмент;
- энергосберегающие технологии и оборудование;
- альтернативные источники энергии;
- электробезопасность;
- электроника и электронные компоненты;
- светильники промышленные и бытовые;
- светильники люминесцентные;
- пускорегулирующая аппаратура;
- источники света;
- электроустановочные изделия;
- световые измерительные приборы;
- провода и кабели;
- световой дизайн помещений;
- световая реклама.

ОРГАНИЗАТОР:



Официальная поддержка:

- Министерство энергетики, инженерной инфраструктуры и промышленности Ростовской области;
- ассоциация «Северный Кавказ»;
- НП «Центр энергосбережения и инновационных технологий».

Генеральный партнер:

ООО «Энергосетиюлладж», г. Ростов-на-Дону

ОРГКОМИТЕТ:

КВЦ «ВертолЭкспо»
344066, г. Ростов-на-Дону, пр. М. Нагибина, 30
Тел. (863) 268-77-68
E-mail: sales@vertolexpo.ru; www.vertolexpo.ru