

УДК 621.331:621.311.05

А. П. КОРДИН, В. А. ДЕРКАЧ, В. Г. МАНДЫЧ (ПРИДНЕПРОВСКАЯ Ж.Д.),
В. Г. СЫЧЕНКО (ДНУЖТ), В. В. КУЗНЕЦОВ (НМЕТАУ)

Дорожная электротехническая лаборатория, Приднепровская железная дорога, 49124,
г. Днепропетровск, ул. Илларионовская, 6-б, эл. почта: o.kordin@dp.uz.gov.ua

Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика
В. Лазаряна, кафедра «Электроснабжение железных дорог», 49010, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск,
тел.: +38(056)793-19-11, эл. почта: elpostz@i.ua

Национальная металлургическая академии Украины, кафедра Электротехники и электропривода,
пр-т Гагарина, 4, г. Днепропетровск, 49600, Украина, тел.: (056) 374-84-46, эл. почта: wit_jane2000@mail.ru

ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ РАБОТА ПИТАЮЩИХ ТРАНСФОРМАТОРОВ АВТОБЛОКИРОВКИ НА ТЯГОВЫХ ПОДСТАНЦИЯХ СМЕЖНЫХ ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННЫХ ЛИНИЙ

Анализ существующих схем питания железнодорожной автоматики

Устройства железнодорожной автоматики (СЦБ), как потребители первой категории должны получать питание от двух взаимно резервируемых источников через две взаимно резервируемых линии. Питание устройств СЦБ осуществляют, как правило, по трехфазным линиям 10 кВ с изолированной нейтралью.

Основное питание устройства СЦБ получают от специальных линий автоблокировки (ВЛ СЦБ), резервное питание - на участках, электрифицированных по системе постоянного тока и не электрифицированных участках, как правило, от трехфазных линий продольного электроснабжения (ПЭ) 10 кВ, а на участках, электрифицированных по системе переменного тока от линий “два провода-рельс” (ДПР 27,5 кВ).

Для обеспечения необходимого уровня надежности электроснабжения и гальванической развязки с другими электрическими линиями на электрифицированных железных дорогах линия ВЛ СЦБ получает питание от шин собственных нужд тяговой подстанции через повышающий трансформатор ТСЦБ.

Применяют три схемы питания линий автоблокировки: односторонняя (консольная), встречно-консольная и двусторонняя (параллельная) [1]. При схеме консольного питания напряжение в линии автоблокировки подается от одной из тяговых подстанций, питающих смежные межподстанционные зоны. В случае исчезновения напряжения на этой подстанции питание линии автоблокировки автоматически переводится на смежную тяговую подстанцию. С целью повышения надежности при повреждениях на подстанциях или на линиях консольную схему питания необходимо выполнять так, чтобы линии основного и резервного питания устройств СЦБ на каждой фидерной

зоне нормально получали питание от разных подстанций. Схема консольного питания ВЛ СЦБ и линий продольного электроснабжения получила широкое распространение и является основной для участков постоянного тока, длина которых эквивалентна расстоянию между смежными подстанциями и не превышает 15-25 км.

При схеме встречно-консольного питания в середине зоны между подстанциями на ВЛ СЦБ делается раздел и напряжение на каждый участок линии подается от одной из смежных подстанций. В сравнении с консольной эта схема более совершенна, потому что длина участков питающей линии уменьшается вдвое. При этом улучшается режим напряжения в линии, а при повреждениях отключается только половина участка ВЛ СЦБ между подстанциями.

Схема встречно-консольного питания получила распространение на участках, электрифицированных по системе переменного тока 25 кВ, где расстояния между подстанциями увеличены до 40-50 км. Однако качество напряжения в конце фидерной зоны при этом ниже [2]. Особенно это имеет большое значение в зонах стыкования разных систем электрической тяги.

При двусторонней схеме питания линия автоблокировки питается от двух смежных подстанций. Теоретически двусторонняя схема питания является наилучшей, потому что в этом случае наименьшие потери напряжения и потери мощности в линии, а при аварийном отключении одной подстанции линия без перерыва продолжает получать питание от другой. Но практически осуществить такую схему питания трудно через появление уравнительных токов, определяющихся векторной разницей напряжения на подстанциях и достигающих значений, при которых срабатывают токовые защиты фидеров ВЛ СЦБ или продольного электроснабжения. Кроме того, при отклю-

чении одной из подстанций при режимном или аварийном изменении напряжения на ней ток подтекания по ВЛ СЦБ и ПЭ 10 кВ резко растет и вызывает срабатывание защит и отключение линий на смежных подстанциях. В связи с этим схема двустороннего питания не получила распространения в эксплуатации.

Однако во всех схемах питания линий автоблокировки, продольного электроснабжения и ДПР пункты питания должны быть сфазированы между собой и допускать двустороннее питание после принятия мер по ограничению уравнильных токов. Для обеспечения нормального питания потребителей необходимо соблюдать одинаковое чередование фаз при условиях поочередного питания линий от смежных тяговых подстанций.

Линии продольного электроснабжения на участках постоянного тока подключаются к шинам двух смежных подстанций, фазировка которых, как правило, совпадает с фазировкой питающей сети энергосистемы.

Как известно, в системе внешнего электроснабжения тяговых подстанций переменного тока выполняется схема фазировки, которая дает возможность уменьшить в питающей сети 110-220 кВ несимметрию напряжения, обусловленную однофазной тяговой нагрузкой. Схема фазировки предусматривает три возможных варианта подключения выводов тяговых трансформаторов к фазам питающих линий. При этом на двух смежных тяговых подстанциях порядок чередования фаз вторичного напряжения, как правило, не совпадает, поэтому двустороннее питание трехфазных линий ДПР в большинстве случаев осуществить невозможно [3].

Основной схемой питания линии ДПР является схема одностороннего питания от одной из тяговых подстанций. При отключении питающего фидера (основного питания) линия может быть переведена на одностороннее питание от смежной тяговой подстанции (резервное питание). В случае присоединения линии ДПР к одноименным выводам трансформаторов смежных тяговых подстанций с несовпадающим чередованием фаз вторичного напряжения после переключения линии с основного питания на резервное изменится направление вращающегося магнитного поля и электродвигатели будут вращаться в противоположную сторону. Во избежание этого при переходе на резервное питание от смежных тяговых подстанций необходимо соблюдать порядок чередования фаз. Для этого при подключении проводов линии ДПР к шинам напряжением 27,5 кВ опережающую фазу сети подключают к опережающей

фазе подстанции и соответственно отстающую фазу - к отстающей.

Однако, как показывает опыт эксплуатации, при совместной работе резервных линий питания автоблокировки в зонах стыкования систем электрической тяги постоянного и переменного тока должна быть обеспечена не только правильная фазировка линий, но и соблюдены условия параллельной работы трансформаторов, питающих линии СЦБ.

Цель работы состоит в рассмотрении вопросов согласованной работы трансформаторов СЦБ при стыковании различных систем электрической тяги.

Изложение основного материала

Включением на параллельную работу трансформаторов считают такое подключение трансформаторов, при котором первичная и вторичная обмотки параллельно работающих трансформаторов подключены к одноименным фазам первичной и вторичной сети [4].

В соответствии с п. 6.4.30 Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей допускается параллельная работа трансформаторов (автотрансформаторов) при условии, что ни одна из обмоток не будет нагружена током, который превышает допустимый ток для данной обмотки [5].

Параллельная работа трансформаторов разрешается при таких условиях:

- группы соединений обмоток одинаковы;
- соотношение мощностей трансформаторов не более чем 1:3;
- коэффициенты трансформации отличаются не более чем на $\pm 0,5\%$;
- напряжения короткого замыкания отличаются не более чем на $\pm 10\%$;
- проведена фазировка трансформаторов.

Для выравнивания нагрузки между параллельно работающими трансформаторами с разными напряжениями короткого замыкания допускается в небольших пределах изменять коэффициент трансформации путем переключения ответвлений при условии, что ни один из трансформаторов не будет перегружен.

Все эти условия справедливы при подключении трансформаторов к одной и той же шине (линии) и при условии, что между общей первичной сетью и общей вторичной сетью отсутствуют какие-либо трансформаторы, кроме подключаемого на параллельную работу, то есть соблюдается следующая схема: первичная сеть \rightarrow трансформатор \rightarrow вторичная сеть.

Следует отметить, что на тяговых подстанциях как переменного, так и постоянного тока электрифицированных железных дорог трансформаторы СЦБ, подключаемые на параллель-

ную работу со вторичной стороны, напрямую не имеют общей шины со стороны первичного напряжения трансформаторов СЦБ смежных тяговых подстанций. Общей первичной стороной цепи параллельной работы трансформаторов СЦБ является питающая линия. Как правило, трансформаторы СЦБ подключаются к шинам собственных нужд (СН) подстанции. В свою очередь трансформатор СН подключается к шинам высокого напряжения 6-10-35 кВ, запитанным от главного понизительного трансформатора (ГПТ). Поэтому в цепи между трансформатором СЦБ и питающей линией тяговой подстанции могут быть задействованы трансформаторы, имеющие различные группы соединения, отличающиеся на смежных тяговых подстанциях, на которых включаются трансформаторы СЦБ на параллельную работу. Исходя из выше сказанного, следует, что параллельная работа трансформаторов СЦБ возможна при следующих условиях:

- независимо от группы соединений обмоток трансформаторов СЦБ и трансформаторов в

цепи до питающей линии тяговой подстанции, необходимо чтобы смещение векторов напряжения вторичной стороны трансформаторов СЦБ по отношению к векторам напряжения питающей линии (вводов) имело один и тот же угол на смежных тяговых подстанциях, где осуществляется параллельная работа трансформаторов СЦБ;

- проведение фазировки трансформаторов СЦБ по отношению к питающей линии смежных тяговых подстанций.

Группа соединения обмоток трансформатора, как известно, показывает, на сколько градусов смещены друг относительно друга векторы напряжений первичной и вторичной стороны трансформатора. Рассмотрим условия и возможность осуществления параллельной работы трансформаторов СЦБ на участке между тяговыми подстанциями А–П–Ж–В (рис. 1-4) в зоне стыкования участков электрической тяги переменного и постоянного тока.

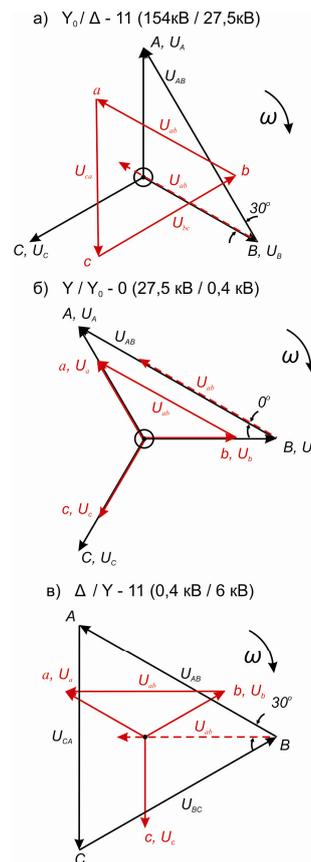
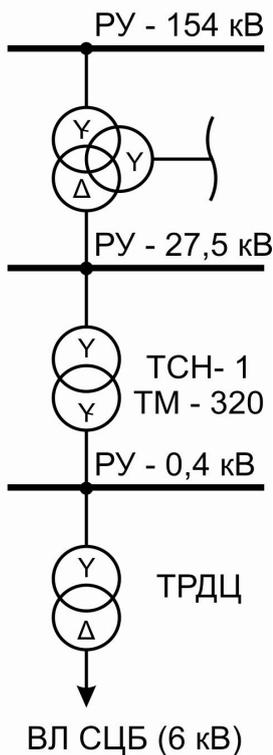


Рис. 1. Схема преобразования энергии на тяговой подстанции А и векторные диаграммы:

- а) ГПТ - вектор напряжения первичной обмотки \underline{U}_{AB} опережает вектор напряжения вторичной обмотки \underline{U}_{ab} на 30° ;
- б) ТСН-1 - напряжение вторичной обмотки ГПТ является напряжением первичной обмотки ТСН-1, вектор напряжения первичной обмотки \underline{U}_{AB} совпадает по фазе с вектором напряжения вторичной обмотки \underline{U}_{ab} ;
- с) ТР ДЦ - напряжение вторичной обмотки ТСН-1 является напряжением первичной обмотки ТР ДЦ, вектор напряжения первичной обмотки \underline{U}_{AB} опережает вектор напряжения вторичной обмотки \underline{U}_{ab} на 30° .

В итоге угол между вектором напряжения питающей линии (первичной обмотки ГПТ) (154 кВ) и напряжением вторичной обмотки трансформатора СЦБ (ТР ДЦ) (6 кВ) составляет 60° .

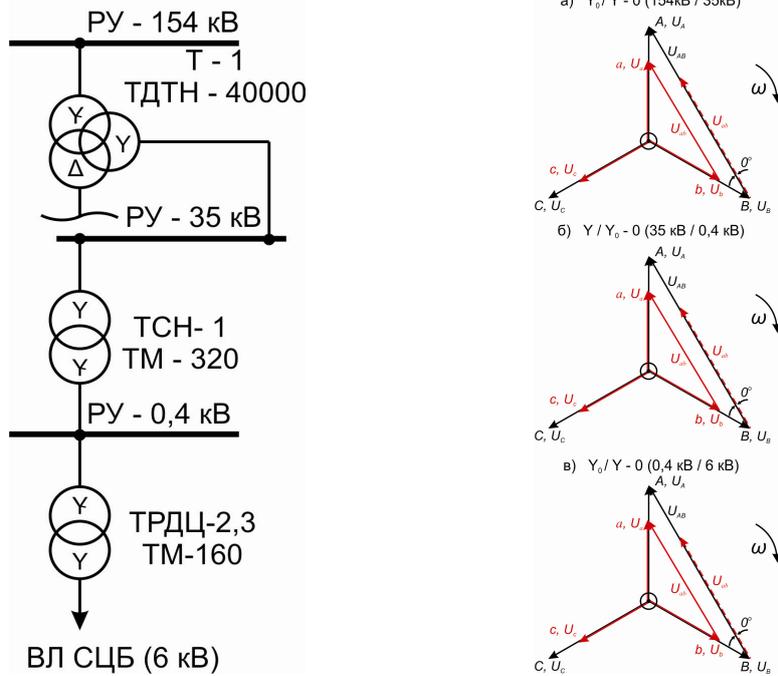


Рис. 2. Схема преобразования энергии на тяговой подстанции П и векторные диаграммы:

а) Т-1 - вектор напряжения первичной обмотки \underline{U}_{AB} совпадает по фазе с вектором напряжения вторичной обмотки \underline{U}_{ab} ; б) ТСН-1 - напряжение вторичной обмотки Т-1 является напряжением первичной обмотки ТСН-1, вектор напряжения первичной обмотки \underline{U}_{AB} совпадает по фазе с вектором напряжения вторичной обмотки \underline{U}_{ab} ; в) ТР ДЦ-2,3 - напряжение вторичной обмотки ТСН-1 является напряжением первичной обмотки ТР ДЦ-2,3, вектор напряжения первичной обмотки \underline{U}_{AB} совпадает по фазе с вектором напряжения вторичной обмотки \underline{U}_{ab} . В итоге угол между вектором напряжения питающей линии (первичной обмотки Т-1) (154 кВ) и напряжением вторичной обмотки трансформатора СЦБ (ТР ДЦ-2,3) (6 кВ) составляет 0° , т.е. совпадает по фазе.

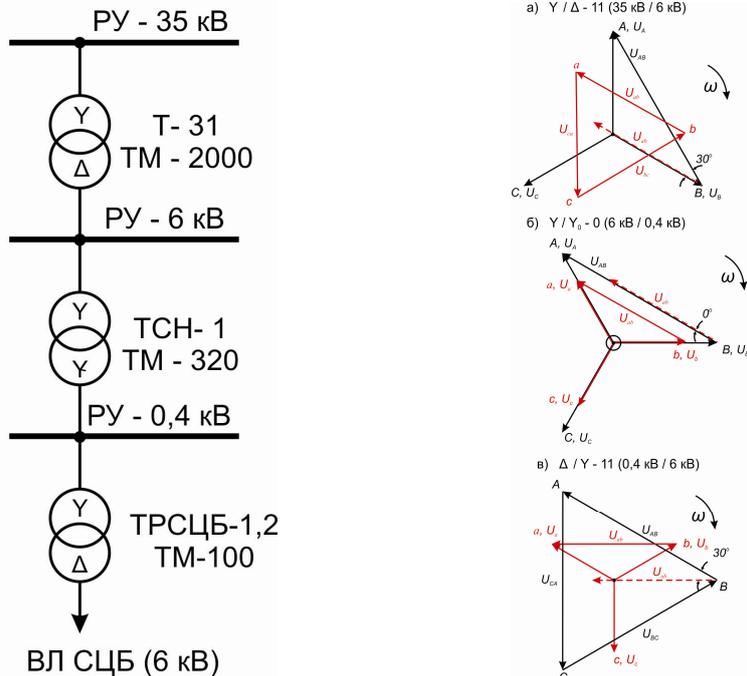


Рис. 3. Схема преобразования энергии на тяговой подстанции Ж и векторные диаграммы:

а) Т-31 - вектор напряжения первичной обмотки \underline{U}_{AB} опережает вектор напряжения вторичной обмотки \underline{U}_{ab} на 30° ; б) ТСН-1 - Напряжение вторичной обмотки Т-31 является напряжением первичной обмотки, вектор напряжения первичной обмотки \underline{U}_{AB} совпадает по фазе с вектором напряжения вторичной обмотки \underline{U}_{ab} ; в) ТР СЦБ-1,2 - напряжение вторичной обмотки ТСН-1 является напряжением первичной обмотки ТР СЦБ-1,2, вектор напряжения первичной обмотки \underline{U}_{AB} опережает вектор напряжения вторичной обмотки \underline{U}_{ab} на 30° . В итоге угол между вектором напряжения питающей линии (первичной обмотки Т-31) (35 кВ) и напряжением вторичной обмотки трансформатора СЦБ (ТР СЦБ-1,2) (6 кВ) составляет 60° .

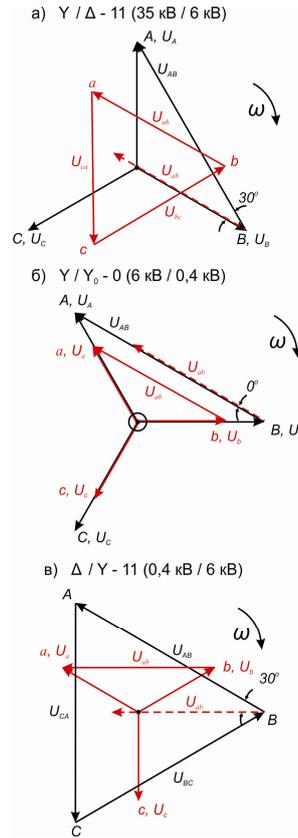
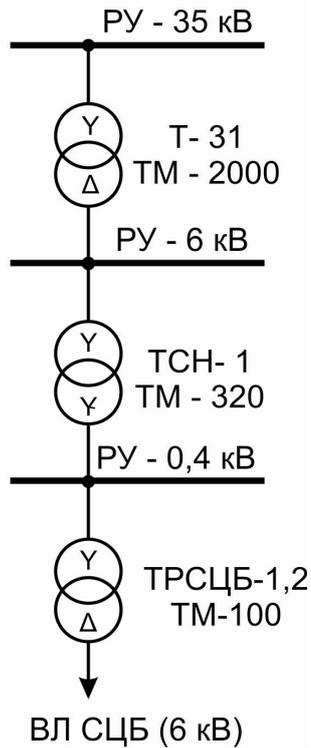


Рис. 4. Схема преобразования энергии на тяговой подстанции В и векторные диаграммы: а) Т-31 - вектор напряжения первичной обмотки \underline{U}_{AB} опережает вектор напряжения вторичной обмотки \underline{U}_{ab} на 30° ; б) ТСН-1 - напряжение вторичной обмотки Т-31 является напряжением первичной обмотки ТСН-1, вектор напряжения первичной обмотки \underline{U}_{AB} совпадает по фазе с вектором напряжения вторичной обмотки \underline{U}_{ab} ; в) ТР СЦБ-1,2 - напряжение вторичной обмотки ТСН-1 является напряжением первичной обмотки ТР СЦБ-1,2, вектор напряжения первичной обмотки \underline{U}_{AB} опережает вектор напряжения вторичной обмотки \underline{U}_{ab} на 30° . В итоге угол между вектором напряжения питающей линии (первичной обмотки Т-31) (35 кВ) и напряжением вторичной обмотки трансформатора СЦБ (ТР СЦБ-1,2) (6 кВ) составляет 60° .

Проведенным анализом векторных диаграмм по тяговым подстанциям А–П–Ж–В было установлено, что угол между векторами напряжения питающей линии (первичной обмотки силовых трансформаторов) и напряжением вторичной обмотки трансформаторов СЦБ на тяговых подстанциях А, Ж, В составляет 60° , а по тяговой подстанции П – равен 0° .

Для осуществления параллельной работы трансформаторов СЦБ на этом участке предлагается следующее:

1. На тяговой подстанции П подключить трансформатор ТСН с группой соединения «звезда – звезда с нулём» ко вторичной обмотке напряжением 27,5 кВ главного понизительного трансформатора Т-1 или Т-2. Трансформатор ТР ДЦ-2,3 (СЦБ) установить с группой соединения «треугольник – звезда», вместо установленного на данный момент с группой соединения «звезда – звезда с нулём». При такой схеме подключения угол между вектором напряжения питающей линии (первичной об-

мотки силовых трансформаторов) и напряжением вторичной обмотки трансформаторов СЦБ на тяговых подстанциях А, Ж, В и П составит 60° .

2. На тяговой подстанции П при существующей схеме подключения трансформатора ТСН с группой соединения «звезда – звезда с нулём» ко вторичной обмотке 35 кВ главного понизительного трансформатора Т-1 или Т-2 и трансформатора ТР ДЦ-2,3 (СЦБ) с группой соединения «звезда – звезда с нулём» необходимо выполнить перепайку высоковольтных вводов в трансформаторе ТР ДЦ-2,3 для получения 6-й группы соединения обмоток (рис. 5).

Далее путём переподключения (круговой перестановки выводов) внешних кабелей со стороны 6 кВ можно добиться угла сдвига между вектором напряжения питающей линии (первичной обмотки силовых трансформаторов) и напряжением вторичной обмотки трансформаторов СЦБ на 60° (рис. 6).

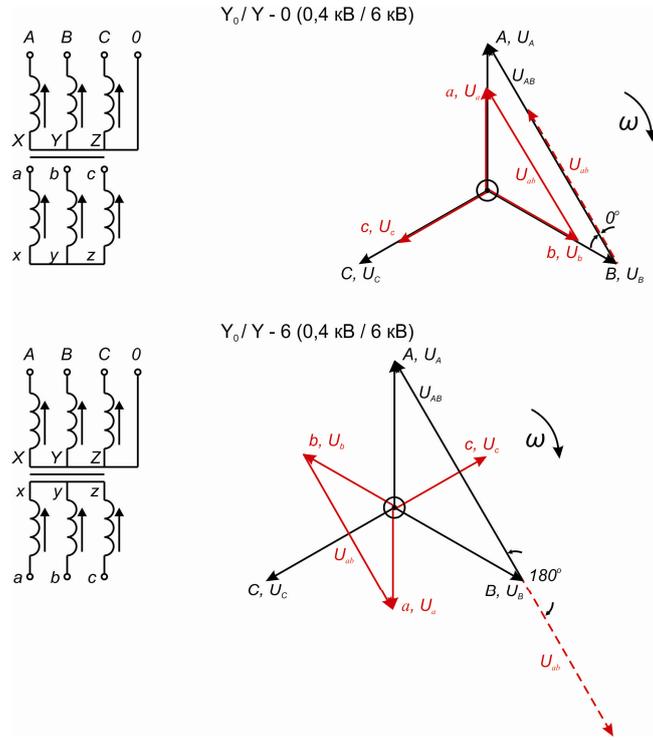


Рис. 5. Получение 6-й группы с группы соединения обмоток $Y_0/Y-0$
 $Y_0/Y-10$ (0,4 кВ / 6 кВ)

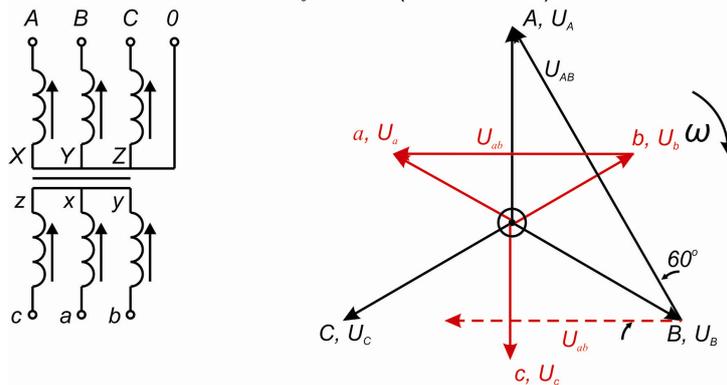


Рис. 6. Получение 10-й группы с группы соединения обмоток $Y_0/Y-6$

Выводы

В результате проведенного исследования установлено, что при резервировании питания линий питания СЦБ в зонах стыкования разных систем электрической тяги необходимо при параллельной работе трансформаторов обеспечивать, кроме прочих условий, одинаковый угол сдвига фаз и группу соединений обмоток

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Сиченко, В. Г. Електроживлення пристроїв залізничної автоматики. [Текст] / В. Г. Сиченко, В. І. Гаврилюк. – Дн-вськ.: Вид-во Маковецький, 2009. – 372 с.
2. Сиченко, В. Г. Якість електричної енергії в мережах нетягових споживачів електрифікованих залізниць. [Текст] / В. Г. Сиченко, Д. О. Босий, В. В. Кузнецов. Гірничя електромеханіка та автоматика. Науково-технічний збірник НГУ, Вип. 96 – 2015, с. 9-13.

трансформаторов. Приведенные практические рекомендации по обеспечению согласованной работы трансформаторов СЦБ смежных линий разного рода тока позволяют обеспечить надежную работу цепей автоблокировки при аварийных режимах в линиях питания и необходимое качество напряжения.

REFERENCES

1. Sychenko V. G. *Elektrozhyvleniya prystroyiv zaliznychnoyi avtomatyky* [Power supply of railway automatics equipment]. Dnipropetrovsk, Makovetskiy Publ., 2009. 372 p.
2. Sychenko V. H., Bosiy D. O., Kuznetsov V. V. *Yakist' elektrychnoyi enerhiyi v merezhakh netyahovykh spozhyvachiv elektryfikovanykh zaliznyts'* [Electric energy quality in non-tractive consumers networks of electrified railways]. *Hirnycha elektromek-*

3. Ратнер, М. П. Электроснабжение нетяговых потребителей железных дорог. [Текст] / М. П. Ратнер, Е. Л. Могилевский. М.: Транспорт, 1985. – 295 с.

4. Дубинець, Л. В. Електричні машини. Трансформатори. Асинхронні машини. [Текст] / Л.В. Дубинець, О.І. Момот, О.Л. Маренич. - Д. : ДІТ, 2004. - 208 с.

5. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей: Утв. 25.06.07, № 258 / Мин-во топлива и энергетики Украины. – Х.: Инду-стрия, 2007. – 288 с.

hanika ta avtomatyka - Mining electrical engineering and automation, 2015, vol. 96, pp. 9-13.

3. Ratner M. P., Mogilevskiy E. L. *Elektrosnabzhenie netyagovykh potrebiteley zheleznykh dorog* [The power supply of railways non-tractive consumers]. Moscow, Transport Publ., 1985. 295 p.

4. Dubinets L.V., Momot O.I., Marenich O.L. *Elektrychni mashyny. Transformatory. Asynkhronni mashyny* [The electric machine. Transformers. Asynchronous machine]. Dnepropetrovsk, DIIT Publ., 2004, 208 p.

5. *Pravila tekhnicheskoy ekspluatatsii elektro-ustanovok potrebiteley* [Rules of electrical consumers technical operation]. Kharkiv, Industria Publ., 2007. 288 p.

Поступила в печать 19.04.2016.

Внутренний рецензент *Гетьман Г. К.*

Внешний рецензент *Сокол Е. И.*

При параллельной работе высоковольтных линий питания автоблокировки в зонах стыкования систем электрической тяги постоянного и переменного тока возникают сбои в работе устройств автоблокировки, вызванные несоблюдением условий параллельной работы трансформаторов. Несогласованность их работы вызвана различными схемами подключения тяговых подстанций постоянного и переменного тока к линиям внешнего электроснабжения, разным количеством ступеней трансформации, а также разными схемами и группами соединения обмоток трансформаторов автоблокировки. В статье проведен анализ условий параллельной трансформаторов автоблокировки на смежных тяговых подстанциях разных систем электрической тяги и решена проблема обеспечения их согласованной работы.

Ключевые слова: линия питания автоблокировки, параллельная работа трансформаторов, группа соединения обмоток, векторная диаграмма, качество напряжения.

УДК 621.331:621.311.05

О. П. КОРДИН, В. А. ДЕРКАЧ, В. Г. МАНДИЧ (ПРИДНІПРОВСЬКА ЗАЛІЗНИЦЯ),
В. Г. СИЧЕНКО (ДНУЗТ), В. В. КУЗНЕЦОВ (НМЕТАУ)

Дорожня електротехнічна лабораторія, Придніпровська залізниця, 49124,
м. Дніпропетровськ, вул. Іларіонівська, 6-6, ел. пошта: o.kordin@dp.uz.gov.ua

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені акад. В. Лазаряна,
Кафедра Електропостачання залізниць, вул. Лазаряна 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010,
тел.: (056) 793-19-11, ел. пошта: elpostz@i.ua

Національна металургійна академія України, кафедра Електротехніки і електроприводу, пр-т Гагаріна, 4,
м. Дніпропетровськ, 49600, Україна, тел.: (056) 374-84-46, ел. пошта: wit_jane2000@mail.ru

ПАРАЛЕЛЬНА РОБОТА ЖИВЛЯЧИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ АВТОБЛОКУВАННЯ НА ТЯГОВИХ ПІДСТАНЦІЯХ СУМІЖНИХ ЕЛЕКТРИФІКОВАНИХ ЛІНІЙ

При паралельній роботі високовольтних ліній живлення автоблокування в зонах стикування систем електричної тяги постійного і змінного струму виникають збої в роботі пристроїв автоблокування, викликані недотриманням умов паралельної роботи трансформаторів. Неузгодженість їх роботи викликана різними схемами підключення тягових підстанцій постійного і змінного струму до ліній зовнішнього електропостачання, різною кількістю ступенів трансформації, а також різними схемами і групами з'єднання обмоток трансформаторів автоблокування. У статті проведено аналіз умов паралельної роботи трансформаторів автоблокування на суміжних тягових підстанціях різних систем електричної тяги і вирішена проблема забезпечення їх узгодженої роботи.

Ключові слова: лінія живлення автоблокування, паралельна робота трансформаторів, група з'єднання обмоток, векторна діаграма, якість напруги.

Внутрішній рецензент *Гетьман Г. К.*

Зовнішній рецензент *Сокол С. І.*

UDC 621.331:621.311.05

O. P. KORDIN, V. A. DERKACH, V. G. MANDYCH (PRYDNIPROVSKA RAILWAY),
V. G. SYCHENKO (DNURT), V. V. KUZNETSOV (NMETAU)

Railway electrotechnical laboratory, Prydniprovsk Railway, 49124, Dnipropetrovsk, Illarionivska Str. 6-b,
e-mail: o.kordin@dp.uz.gov.ua

Dnepropetrovsk National University of Railway Transport named after academician V. Lazaryan, Department of
Power supply of Railways, 2 Lazaryan Street, Dnepropetrovsk, Ukraine, 49010, tel.: (056) 793-19-11,
e-mail: elpostz@i.ua

National Metallurgical Academy of Ukraine, The department of electrical engineering, 4 Gagarina Ave, Dnepro-
petrovsk, 49600, Ukraine, tel.: (056) 374-84-46, e-mail: wit_jane2000@mail.ru

PARALLEL OPERATION OF THE POWER SUPPLY TRANSFORMERS OF THE AUTOMATIC BLOCK SYSTEM AT TRACTION SUBSTATIONS OF ADJACENT ELECTRIFIED LINES

In parallel operation of high-voltage power lines of automatic block system in the areas of splicing electric traction systems AC and DC there are failures in the auto-lock devices, caused by failure to conditions of parallel operation of transformers. Inconsistency of their work caused by various schemes of traction substations connecting AC and DC lines to the external power supply, a different number of transformation steps, as well as various schemes and groups of windings connection of automatic block system of transformers. The article analyzes the conditions of parallel transformers auto-lock on the adjacent traction substations different electric traction systems and solved the problem of providing their coordinated work.

Keywords: automatic lock-line supply, parallel operation of transformers, winding connection group, vector diagram, voltage quality.

Internal reviewer *Getman G. K.*

External reviewer *Sokol E. I.*