

УДК 621.331

*Д.С. Белухин, канд. техн. наук*

*(Україна, Днепропетровск, Днепропетровский національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна)*

## **ВАРИАНТ МОДЕРНИЗАЦИИ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ЭЛЕКТРОВОЗОВ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА**

*Анотація.* Розглянуто один із можливих варіантів модернізації системи живлення допоміжних приводів електровозів змінного струму з використанням типової схеми автономного інвертора напруги.

*Ключові слова:* електровоз, розчеплювач фаз, автономний інвертор.

*Аннотация.* Рассмотрен один из возможных вариантов модернизации системы питания вспомогательных приводов электровозов переменного тока с использованием типовой схемы автономного инвертора напряжения.

*Ключевые слова:* электровоз, расцепитель фаз, автономный инвертор.

**Abstract.** *One of the possible variants of modernization of electric power auxiliary drives an alternating current using a template autonomous voltage inverter.*

**Keywords:** *electrical locomotive, phase splitter, autonomi inverter.*

**Введение.** На сегодняшний день экономичное использование энергоресурсов одно из приоритетных направлений в экономической политике Украины. В современных условиях интенсификации работы объектов железнодорожного транспорта, когда основной объем перевозок осуществляется на электрифицированных участках железных дорог, приводит к повышению энергопотребления. Учитывая высокие тарифы на электроэнергию, отраслевая политика государственной администрации железнодорожного транспорта Украины предполагает переход к энергосберегающим технологиям и эффективному снижению потерь электроэнергии.

Существенную часть эксплуатируемого парка составляют электровозы переменного тока, которые выпущены во второй половине XX века. Для привода вспомогательных механизмов и агрегатов этих электровозов используются трехфазные асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором.

Массовое применение вспомогательных асинхронных машин было начато на электровозах переменного тока Н60 (ВЛ60) в 60-е годы XX века. Основной сложностью, с которой пришлось столкнуться при использовании на подвижном составе асинхронных машин, стало получение трехфазного напряжения из однофазного. Для этого были разработаны устройства – фазорасщепители.

Несмотря на простую и, казалось бы, весьма надежную систему вспомогательных машин опыт эксплуатации показывает достаточно низкую надежность системы питания вспомогательных электроприводов. В некоторых депо, где эксплуатируются электровозы переменного тока, происходит ежемесячно по 20–30 отказов вспомогательных машин. Кроме того, применение существующей системы питания асинхронных приводов вспомогательных машин не позволяет обеспечить их работу в экономных режимах. Расчеты, сделанные для потока грузонасыщенных дорог, показали, что вспомогательные машины потребляют примерно 10% энергии, затрачиваемой на тягу поездов [1]. В связи с этим на современном этапе сложных рыночных взаимоотношений энергетические показатели системы вспомогательных машин должны быть достаточно высокими и обеспечивать определенную экономию электроэнергии, которая, в свою очередь, затрачивается локомотивом на собственные нужды (мотор–вентиляторы, мотор–компрессоры, питание цепей управления, мотор–насос и обогрев кабин).

На современном электроподвижном составе применяются асинхронные приводы вспомогательных механизмов, которые получают питание от преобразователей частоты и напряжения. В связи с этим рассмотрим возможность применения такого типа преобразователей на электровозах серии ВЛ80(К, С, Т), которые в Украине имеются в достаточном количестве.

**Результаты исследований.** Исходя из условия безопасности движения поездов и безотказной работы силового оборудования (тяговый трансформатор, тяговые двигатели, тормозное оборудование, пневматическое оборудование цепей управления) система вспомогательных машин является важным звеном в общем комплексе оборудования подвижного состава. Надежность привода вспомогательных машин и механизмов имеет большое значение и необходима для обеспечения нормальной работы основных узлов электровоза.

Стандартный алгоритм работы системы питания вспомогательных машин на электровозах серии ВЛ80 достаточно прост [2, 3]. Запуск расщепителя фаз осуществляется с помощью пускового резистора  $R_{пуск}$  (рис. 1) контактором  $КМ_{пуск}$ . После разгона фазорасщепителя до скорости 1300 об/мин срабатывает панель расщепителя фаз и отключает контактор  $КМ_{пуск}$ . Дальнейший разгон расщепителя фаз осуществляется без резистора  $R_{пуск}$ . Асинхронные двигатели вспомогательных приводов подключаются к источнику трехфазного напряжения по мере необходимости. В качестве основных механизмов применяются мотор–вентиляторы, мотор–компрессоры, мотор–насосы (АД1...АДn, см. рис. 1). Основной фазорасщепитель – машина типа НБ-455А.

Рассмотрим факторы, влияющие на нормальное энергообеспечение вспомогательных приводов указанных электровозов.

Тяговые сети электрических железных дорог характеризуются большими колебаниями напряжения. Это существенно влияет на работу вспомогательных машин, тем более, что напряжение обмотки собственных нужд зависит не только от напряжения в контактной сети, но и от нагрузки тяговых двигателей – силовой цепи трансформатора. Напряжение питания вспомогательных машин меняется в пределах 300...500 В при номинальном напряжении  $380В \pm 10\%$  [1, 4].

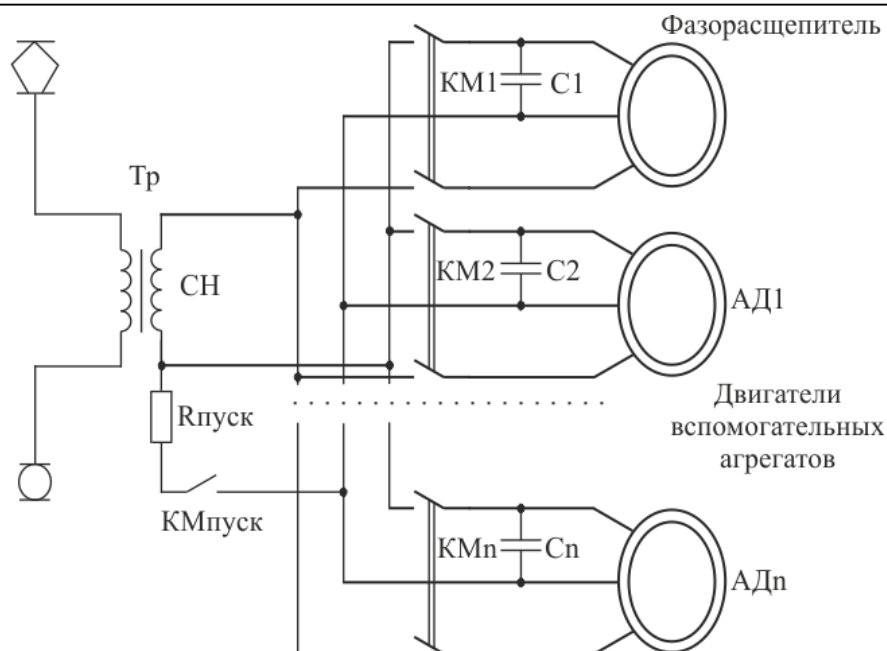


Рис. 1 Схема питания вспомогательных машин с вращающимся фазорасщепителем

Вторым фактором, существенно влияющим на нормальную работу приводов, является коэффициент несимметрии напряжения, который достигает значения до 11 % в зависимости от числа одновременно подключенных двигателей и отклонения напряжения контактной сети от номинального значения [1, 4]. Несимметрия напряжения приводит к дополнительному нагреву двигателя и снижению момента, так как токи обратной последовательности создают момент сопротивления. Для снижения этого влияния в цепь двигателей включаются симметрирующие конденсаторы [1–3]. Максимальный эффект от включения конденсаторов достигается при всех задействованных и номинальном напряжении контактной сети. В случае отклонения величины напряжения контактной сети от номинальной эффект снижается. Дополнительно с целью улучшения показателей работы приводов применяется подключение фазорасщепителя к разным выводам обмоток собственных нужд трансформатора ОДЦЭ-5000/25АМ. При напряжении  $\approx 19$  кВ система подключается к отпайке 641 В, при напряжении  $\approx 29$  кВ – 231 В.

В связи с перечисленными факторами мощность асинхронных двигателей выбирается исходя из условий обеспечения требуемых моментов в наихудших условиях питания и приблизительно в 2 раза выше требуемой, если бы двигатель работал при питании от номинального симметричного трехфазного напряжения 380 В [1].

Третьим фактором, который в настоящее время становится ощутимым, является потребление энергии в режиме холостого хода. Так, расщепитель фаз НБ-455А в режиме холостого хода потребляет ток величиной 58...78 А в зависимости от уровня напряжения контактной сети. Готовность трехфазной системы к работе должна присутствовать всегда, так как может поступить команда на включение мотор-компрессора.

Для частичного решения проблемы была проведена модернизация электровозов серии ВЛ80 путем применения непосредственного преобразователя частоты и изменения числа фаз [5]. Преобразователь обеспечивает две частоты вращения асинхронных приводов. Первая частота достигается при питании приводов от обмотки собственных нужд трансформатора частотой 50 Гц. Симметрирование и пуск обеспечивается включением конденсаторов. Невысокая частота вращения приводов обеспечивается включением в работу преобразователя частоты на основе тиристоров с выходной частотой 16,66 Гц. Система обеспечивает экономию энергии за счет исключения холостого хода и двухскоростного режима вращения вентиляторов. Влияние несимметрии и изменение номинального значения напряжения сохраняется.

Наибольший эффект от применения асинхронных приводов вспомогательных механизмов получен на современных электровозах, где используются частотно-регулируемые электроприводы [6]. Однако такие приводы должны проектироваться изначально при создании электровоза. Рассмотрим возможность применения частотно-регулируемого привода для электровозов ВЛ80(К, С, Т).

На рис. 2 изображена предлагаемая схема преобразователя частоты асинхронных приводов вспомогательных механизмов электровозов ВЛ80(К, С, Т). В схеме применяем классический трехфазный автономный инвертор напряжения на базе транзисторов VT1–6 с Г-образным входным фильтром LфСФ и однофазный полупроводящий выпрямитель на основе тиристоров VS1,2 и диодов VD1,2. Подключается выпрямитель к тем же выводам обмотки собственных нужд трансформатора электровоза. Применение полупроводящего выпрямителя в данном случае оправдано рядом известных преимуществ [7].

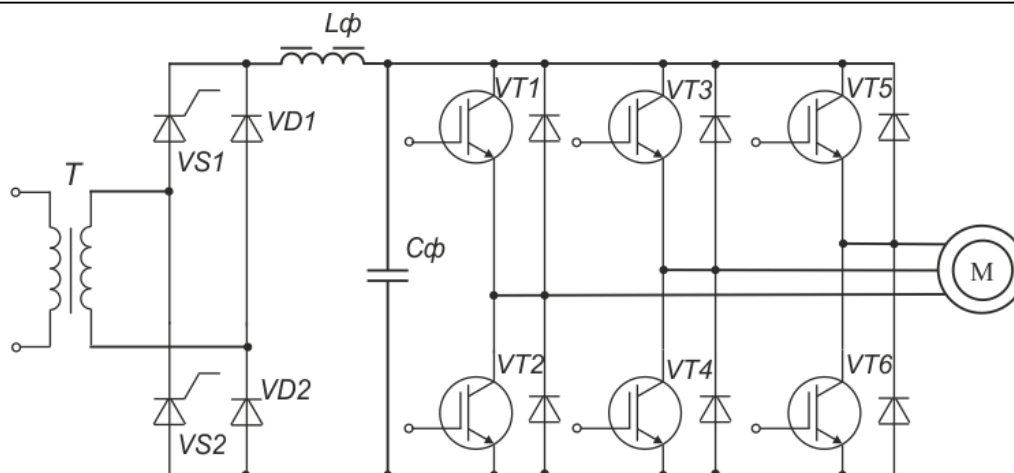


Рис. 2. Предлагаемая схема преобразователя асинхронных приводов вспомогательных механизмов

За базовый алгоритм управления ключами автономного инвертора принимаем коммутацию с длительностью открытого состояния 180 эл. град. Такой алгоритм рекомендуется при формировании напряжения на клеммах асинхронных двигателей, поскольку исключает спектр гармоник, кратных трем [7, 8].

В качестве исходных данных, необходимых для расчета параметров автономного инвертора и управляемого выпрямителя принимаем номинальные параметры управляемого двигателя АЭ92-402.

Средний ток на входе автономного инвертора напряжения в номинальном режиме

$$I_{dном} = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} I_{1ф} \cos \phi_n, \quad (1)$$

где  $I_{1ф}$  – номинальный фазный ток,  $I_{1ф}^{ном} = 90$  А;  $\cos \phi_n$  – номинальный коэффициент мощности, равный 0,79.

Среднее значение напряжения на входе инвертора

$$U_d^{ном} = \frac{3U_{1ф} I_{1ф} \cos \phi_n}{I_{dном}}, \quad (2)$$

где  $U_{1ф}$  – номинальное фазное напряжение, равное 220 В.

В результате расчетов по формулам (1) и (2) получаем требуемые параметры на входе автономного инвертора в номинальном режиме:  $U_d^{ном} = 488$  В,  $I_{dном} = 96$  А.

Необходимое действующее значение напряжения на вторичной обмотке трансформатора в номинальном режиме при условии применения мостового неуправляемого выпрямителя

$$U_{2ном} = \frac{U_d^{ном}}{0,9}, \quad (3)$$

т. е. для обеспечения нормальной работы автономного инвертора напряжения по предлагаемой схеме при условии мостового неуправляемого выпрямителя необходимо иметь действующее напряжение 542 В. Трансформатор ОДЦЭ-5000/25АМ имеет три вывода с номинальным напряжением 231, 410, 641 В каждый. Следовательно, управляемый выпрямитель следует подключать к выводу 641 В.

Однако указанное еще не является решением проблемы получения стабильного питания автономного инвертора, так как расчеты выполнены для номинального напряжения контактной сети. Минимальное и максимальное значения напряжения выбранной вторичной обмотки трансформатора следующие:

$$U_{2min} = U_{2ном}^T \frac{U_{1min}}{U_{1ном}}, \quad (4)$$

$$U_{2max} = U_{2ном}^T \frac{U_{1max}}{U_{1ном}}, \quad (5)$$

где  $U_{1ном}$  – номинальное напряжение контактной сети, равное 25 кВ;  $U_{2ном}^T$  – номинальное напряжение выбранной обмотки трансформатора, равное 641 В;  $U_{1min}$ ,  $U_{1max}$  – минимальное и максимальное напряжения контактной сети, равные 19 и 25 кВ соответственно.

Таким образом, при минимальном напряжении контактной сети на входе выпрямителя напряжение составит 487 В, что неудовлетворительно, а при максимальном напряжении – 743 В, что будет недостаточно для нормальной работы управляемого выпрямителя в целях стабилизации заданного значения 488 В на входе автономного инвертора.

Определим напряжение контактной сети, при котором система еще работоспособна. Принимаем минимальный угол управления тиристорами  $\alpha_{min} = 5$  град. эл. Напряжение вторичной обмотки трансформатора

$$U_2 = \frac{2U_d^{ном}}{0,9(1 + \cos \alpha_{min})}, \quad (6)$$

а напряжение контактной сети

$$U_{1min} = U_{1ном} \frac{U_2}{U_{2ном}}. \quad (7)$$

В результате получаем, что минимальное необходимое действующее значение напряжения на входе управляемого выпрямителя может быть получено при напряжении контактной сети  $U_{1min} = 21,2$  кВ.

**Вывод.** Предлагаемая схема для модернизации системы питания асинхронных приводов вспомогательных механизмов электровозов ВЛ80(К, С, Т) с применением автономного инвертора напряжения и управляемого выпрямителя позволяет исключить следующие проблемы: потребление электроэнергии при отключенных приводах, питание симметричной системой трехфазных напряжений, плавное регулирование частоты вращения вентиляторов при дополнении схем необходимыми датчиками. Диапазон работы системы ограничен в случае снижения напряжения контактной сети ниже 21,2 кВ. Но так как асинхронные двигатели для указанных электровозов выбраны с существенным запасом по мощности, то этот недостаток можно исключить. Еще одним вариантом полного устранения такого недостатка может быть применение неуправляемого выпрямителя с широтно-импульсным регулированием, который позволяет повысить напряжение на выходе. Однако такие выпрямители требуют более сложной элементной базы, систем управления и для электровозов, которым осталось служить 5–10 лет, могут оказаться нерентабельными.

#### Список литературы

1. Некрасов, О.А. Вспомогательные машины электровозов переменного тока [Текст] / О.А. Некрасов, А.М. Рутштейн. – М.: Транспорт, 1988. – 223 с.
2. Электровоз ВЛ80К. Руководство по эксплуатации [Текст]. – М.: Транспорт, 1978. – 432 с.
3. Электровоз ВЛ80С. Руководство по эксплуатации [Текст]. – М.: Транспорт, 1982. – 622 с.
4. Козорезов, М.А. Расцепители фаз электровозов переменного тока [Текст]. – М.: Всесоюз. изд.-полиграф. об-ние М-ва путей сообщения, 1961. – 34 с.
5. Патент 2309521С1 России, МПК Н02М5/27 (2006.01). Преобразователь частоты и числа фаз. / Беляев А.В., Никонов Л.В., Рутштейн А.М. – Заявка: 2006106332/09, 28.02.2006; начала отсчета срока действия патента: 28.02.2006.
6. Система управления и диагностики электровоза ЭП10 [Текст] / под ред. С.В. Покровского. – М.: Интекст, 2009. – 356 с.
7. Бурков, А.Т. Электронная техника и преобразователи: учеб. для вузов ж.-д. трансп [Текст] / А.Т. Бурков. – М.: Транспорт, 1999. – 464 с.
8. Казачковський, М.М. Автономні перетворювачі та перетворювачі частоти. [Текст] / М. М. Казачковський. – Д.: НГА України, 2000. – 196 с.

*Рекомендовано до друку: д-ром техн. наук, проф. Муха А.М.*