

**Кулагин Д. А.**

*канд. техн. наук, доцент*

*Запорожский национальный технический университет, г. Запорожье, Украина.*

## **АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ ТЯГОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ДЛЯ МОТОРВАГОННЫХ ПОЕЗДОВ**

В работе анализируются конструкции и параметры тяговых преобразователей переменного тока, которые находят перспективное применение в передачах автономных моторвагонных поездов. Отмечается, что современные подходы к построению тяговых преобразователей позволяют получить экономию первичных энергоресурсов в процессе эксплуатации поезда.

**Ключевые слова:** моторвагонный поезд, тяговый преобразователь частоты, параметры, переменный ток.

**Kulagin D. O.**

*candidate of technical Sciences, associate Professor*

*Zaporizhzhya national technical University, Zaporizhzhya, Ukraine.*

## **ANALYSIS OF CONSTRUCTIONS OF TRACTION CONVERTERS AC FOR EMU-TRAINS**

This article examines the structure and parameters of traction converters of alternating current, which are promising application in the programs of Autonomous EMU-trains. The modern approaches to the construction of traction converters provide savings of primary energy resources in the process of operation of the train.

**Key words:** EMU-train, traction inverter parameters, AC.

Значительное количество систем автоматического управления (САУ) тяговыми передачами строится с использованием векторного принципа управления [1, 2]. В таком случае регулируется не только соотношения между амплитудой и частотой первых гармоник составляющих статорного напряжения или тока тягового асинхронного двигателя (АД), но и фазовое смещение основных гармоничных составляющих первых гармоник статорного напряжения или тока относительно фазных потокоцеплений АД.

Существенным преимуществом САУ с векторным принципом является возможность формирования нормированного качества переходных электромеханических процессов тяговой электропередачи, обеспечение гарантированно стойкой работы таких систем в динамических и установившихся режимах при любых скоростях движения моторвагонного поезда и нагрузке. Однако, такие САУ имеют существенные недостатки:

- усложнение технической реализации, обусловленное наличием в них сложных вычислительных устройств (координатные преобразователи, векторные анализаторы, блоки идентификации потокоцепления АД, блок компенсации внутренних перекрестных связей);

- сложность использования в групповом управлении несколькими АД одного тягового звена;

- наличие запаздывания при формировании электромагнитного момента;
- значительное количество внутренних перекрестных связей [1].

Для устранения этих недостатков были предложены методы управления, которые получили название Direct Torque Control (DTC) (непосредственное управление моментом и потокосцеплением) [2]. Методы DTC отличаются отсутствием преобразования координат и регулирование токовых контуров, высокое быстродействие. Однако значительным недостатком является наличие пульсаций в электромагнитном моменте и потокосцеплении, что снижает точность регулирования, повышает потребление мощности АД [1] и перерасход первичного энергоносителя.

Наряду с созданием скалярных и векторных САУ тяговых электропередач разрабатываются квазивекторные САУ, которые по качеству переходных процессов приближаются к векторным САУ, а по технической реализации подобны скалярным [2, 3]. Они могут реализовываться как с установлением датчика на вал тягового АД, так и без датчика на валу [1].

В тяговых высоковольтных системах скалярные и квазивекторные САУ получили большее распространение чем векторные из-за требований со стороны векторных САУ к высокой частоте коммутации силовых ключей тягового преобразователя частоты, сложности выполнения качественной идентификации потокосцепления АД, необходимости установления большего количества датчиков и организации для них гальванических развязок.

Развитие структур тяговых электропередач переменного тока основывается на использовании следующих преобразователей:

- двухзвенных преобразователей частоты (ДПЧ) с промежуточным звеном постоянного тока;
- непосредственных преобразователей частоты (НПЧ).

Наиболее распространенными являются системы с двухзвенными тяговыми преобразователями частоты, которые выполняются на основе автономных инверторов напряжения или автономных инверторов тока [2, 3, 4].

Силовая часть ДПЧ с промежуточным звеном постоянного тока состоит из выпрямителя, фильтра и тягового инвертора. В ДПЧ осуществляется двукратное преобразование электрической энергии. Сначала энергия источника переменного тока превращается в энергию постоянного тока, а потом в энергию переменного тока заданной частоты. Характерным признаком преобразователей данного типа является наличие накопителя энергии в промежуточном звене постоянного тока [3].

НПЧ сначала имели ограниченное применение - в основном для тихоходных приводов, в которых используются НПЧ с естественной коммутацией вентилей [2, 3]. Если же НПЧ выполнить на полностью управляемых ключах переменного тока, с помощью которых в любой момент времени можно осуществить прямую двустороннюю связь тягового двигателя и питающей сети и обеспечить регулирование частоты и напряжения (тока) в необходимых диапазонах, то такой преобразователь будет иметь очевидные преимущества перед ДПЧ, потому что наиболее полно будет отвечать требованиям к САУ. Такой НПЧ превосходит ДПЧ по энергетическим показателям за счет однократного преобразования энергии, динамических характеристик, так как не содержит в силовой цепи накопительных реактивных

элементов. В его силовой цепи отсутствуют такие малонадежные элементы, как конденсаторы.

Структуры тяговых электроприводов на основе НПЧ могут строиться по тем же принципам, что и с автономными инверторами напряжения. Они являются более простыми в реализации с точки зрения обеспечения устойчивости и динамики, чем системы с автономными инверторами тока. Такой НПЧ объединяет преимущества ДПЧ на основе инверторов тока и напряжения, кроме их характерных недостатков.

Наиболее распространенным типом ДПЧ на сегодня является тяговый преобразователь частоты с неуправляемым выпрямителем и тяговым инвертором напряжения [2,3].

ДПЧ с промежуточным звеном постоянного тока имеют следующие преимущества [2-4]:

- возможность получения на выходе ДПЧ широкого диапазона частот, который не зависит от частоты питающей сети;
- использование относительно простых силовых схем и систем управления ДПЧ для объектов с невысокими требованиями в части диапазона регулирования, быстродействия;
- возможность наращивания сложности силовой части и системы управления ДПЧ согласно уровню роста требований относительно тяговой электропередачи;
- возможность реализации в относительно малоэлементной структуре ДПЧ разных законов управления, которые удовлетворяют требованиям систем широкого диапазона использования;
- легкость трансформации ДПЧ для работы в системах с автономными источниками питания или локальных тяговых сетях постоянного тока.

Недостатки ДПЧ:

- двукратное преобразование энергии, которая приводит к дополнительным потерям;
- наличие в звене постоянного тока фильтра, который приводит к снижению надежности и ухудшению массо-габаритных параметров.

В данных видах тяговых преобразователей частоты остается не полностью решенным вопрос рекуперации энергии в сеть, вопрос качества энергопотребления и электромагнитной совместимости. Для указанных тяговых систем наиболее полно исследованы свойства в установившихся режимах.

Одним из основных вопросов, характерных для систем с амплитудным типом управления является наличие автоколебаний в системе тяговой инвертор напряжения-АД и необходимость компенсации перекрестных связей. Однако, в связи со сложностью электромеханических процессов, которые протекают в тяговых электропередачах сложно подобрать универсальный метод, который позволяет проводить наладку и подбор параметров регуляторов.

Использование корректирующих устройств не всегда обеспечивает удовлетворительный результат в широком диапазоне изменения частот и нагрузок, поэтому получил распространение метод, который основан на введении дополнительного сигнала в канал регулирования частоты, равного разнице сигнала задачи на частоту и обратной связи по напряжению АД [1]. Указанный метод обеспечивает удовлетворительную работу при однозонном

управлении. При двухзонном управлении, из-за ограниченности роста напряжения, электродвижущая сила тягового АД остается неизменной, а сигнал задачи на частоту возрастает, что делает указанный метод непригодным для такого режима.

Наладка систем предупреждения автоколебаний по обыкновению выполняется при работе преобразователя на двигатель. Однако при проектировании необходимо определить необходимые параметры регуляторов, при которых обеспечивается заданная наладка системы. Поэтому нужно использовать методы синтеза параметров регуляторов, повышающие устойчивость, которые позволяют учесть особенности работы системы и изменения ее параметров в процессе функционирования.

Усовершенствование системы управления включает в себя оптимальное согласование режимов работы всех элементов с учетом режимов работы системы, действия упругих масс. Оптимальное согласование этих процессов возможно микропроцессорной системой управления, которая полностью контролирует электромеханические параметры работы.

### Список литературы

1. Кулагін Д. О. Розробка моделі модернізованого частотно-керуваного тягового електроприводу зі змінним алгоритмом керування дизель-потяга ДЕЛ-02 / Кулагін Д. О., Качур О. С., Андрієнко П. Д. // Електротехніка та електроенергетика. – 2010. – № 1. – С. 30–34.

2. Потапенко Е. М. Робастные алгоритмы векторного управления асинхронным приводом / Е. М. Потапенко, Е. Е. Потапенко. – Запорожье : ЗНТУ, 2009. – 353 С.

3. Пивняк Г. Г. Современные частотно-регулируемые асинхронные электроприводы с широтно-импульсной модуляцией / Пивняк Г. Г., Волков А. В. – Днепропетровск, 2006. – 421 С.

4. Гетьман Г. К. Теория электрической тяги : монография : в 2 т. / Г. К. Гетьман – Днепропетровск : Изд-во Маковецкий, 2011. – Т. 2. – 363 С.