

УДК 622.625.28-83

### К СРАВНИТЕЛЬНОЙ ОЦЕНКЕ СТРУКТУРЫ И ПАРАМЕТРОВ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА IGBT-ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ–ДУХФАЗНЫЙ АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ ДВУХОСНОГО ЭЛЕКТРОВОЗА

Э. С. Гузов, И. О. Синчук, О. Е. Мельник, А. В. Омельченко

Государственное высшее учебное заведение «Криворожский национальный университет»  
ул. XXII партсъезда, 11, г. Кривой Рог, 50027, Украина. E-mail: speet@ukr.net

Приведен анализ структур и параметров тяговых комплексов IGBT-преобразователь–тяговые асинхронные электрические двигатели при трехфазном и двухфазном исполнении. Произведена сравнительная оценка четырех вариантов структур тягового электропривода по пяти показателям. Показано, что при одинаковой мощности потери в двигателях при двухфазном и трехфазном исполнении также одинаковы. Преобразователь для двухфазного асинхронного двигателя имеет на 35 % меньший объем и в два раза меньше потери в преобразователе. Обоснован выбор наиболее эффективного варианта.

**Ключевые слова:** тяговый электрический привод, преобразователь, асинхронный электрический двигатель.

### ДО ПОРІВНЯЛЬНОЇ ОЦІНКИ СТРУКТУРИ І ПАРАМЕТРІВ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОГО КОМПЛЕКСУ IGBT-ПЕРЕТВОРЮВАЧ–ДВОФАЗНИЙ АСИНХРОННИЙ ДВИГУН ДВОВІСНОГО ЕЛЕКТРОВОЗУ

Е. С. Гузов, І. О. Сінчук, О. Є. Мельник, О. В. Омельченко

Державний вищий навчальний заклад «Криворізький національний університет»  
вул. XXII партз'їзду, 11, м. Кривий Ріг, 50027, Україна. E-mail: speet@ukr.net

Наведено аналіз структур і параметрів тягових комплексів IGBT-перетворювач–тягові асинхронні електричні двигуни при трифазному і двофазному виконанні. Виконано порівняльну оцінку чотирьох варіантів структур тягового електроприводу за п'ятьма показниками. Показано, що при однаковій потужності втрати у двигунах при двофазному і трифазному виконанні також однакові. Перетворювач для двофазного асинхронного двигуна має на 35 % менший об'єм і у два рази менше втрати в перетворювачі. Обґрунтовано вибір найбільш ефективного варіанту.

**Ключові слова:** тяговий електричний привід, перетворювач, асинхронний електричний двигун.

**АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ.** Применяемые в настоящее время тяговые электроприводы (ТЭП) на двухосных электровозах с двигателями постоянного тока и контактно-резисторными системами управления имеют весьма низкую эффективность и не соответствуют уровню и современным тенденциям развития техники [1].

Радикальное повышение эффективности работы двухосных электровозов может быть достигнуто путем применения электроприводов переменного тока, оборудованных асинхронными тяговыми двигателями (ТАД) с частотным управлением IGBT-транзисторными преобразователями [2].

Основные преимущества привода переменного тока с асинхронными тяговыми двигателями по сравнению с электроприводом постоянного тока заключаются в следующем:

– надежность асинхронного двигателя благодаря отсутствию щеточно-коллекторного узла в 4–5 раз выше;

– экономичная работа обеспечивается во всем диапазоне скоростей – от «ползучей» до максимальной;

– более высокие тяговые и тормозные характеристики электровоза благодаря жесткой механической характеристике асинхронных двигателей.

При этом проблемой, требующей своего решения, является не только выбор вида тягового электропривода, но и подвид – электропривода с традиционными трехфазными двигателями и преобразователями или двухфазными двигателями и преобразователями.

Целью исследований является выбор оптимальной структуры тягового асинхронного электропривода для двухосных электровозов.

**МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.** Для сравнения различных вариантов структур преобразователей тяговых асинхронных электроприводов (ТАП) используем следующие критерии:

- массо-габаритные показатели;
- энергоэффективность;
- надежность функционирования;
- стоимость электрооборудования.

Структуры тяговых преобразователей будем анализировать в ограниченном объеме, т.е. без фильтров, тормозных систем и коммутационных аппаратов, поскольку они для всех вариантов одинаковы.

Для сравнения в качестве базового применяем традиционный вариант электропривода с трехфазным асинхронным двигателем, обмотки которого соединены в звезду и питаются от трехфазного IGBT-транзисторного инвертора с векторной ШИМ напряжения, формируемого по синусоидальному закону (вариант обозначим ТЭП-3Λ) [1].

Второй вариант ТЭП представляет трехфазный тяговый асинхронный двигатель, обмотки которого образуют схему разомкнутого треугольника и питаются от трех однофазных инверторов, вариант обозначим ТЭП-3Δ [3].

Третий вариант ТАП состоит из двухфазного ТАД, обмотки которого питаются от двух однофазных инверторов (рис. 1), вариант обозначим ТЕП-2.

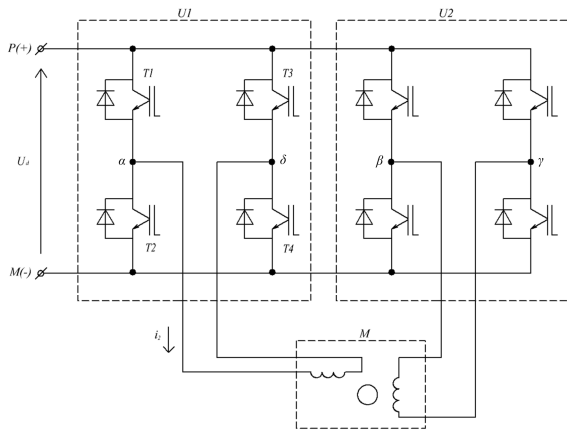


Рисунок 1 – Упрощенная структура тягового электропривода с двухфазным асинхронным электрическим двигателем, обмотки которого питаются от двух однофазных инверторов (ТЭП-2)

Четвертый вариант составлен из двухфазного ТАД, обмотки питаются от своих комбинированных транзисторно-тиристорных преобразователей, вариант обозначим ТЭП-комби (рис. 2).

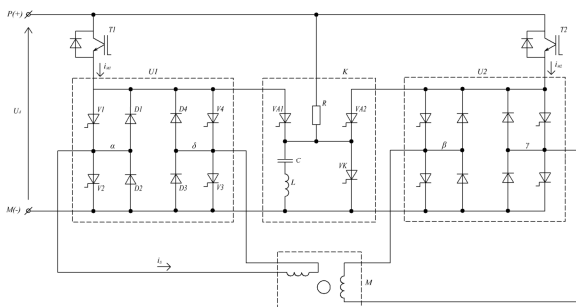


Рисунок 2 – Упрощенная структура тягового электропривода с двухфазным асинхронным электрическим двигателем, обмотки питаются от своих комбинированных транзисторно-тиристорных преобразователей (ТЭП-комби)

Произведем расчет показателей для всех четырех вариантов при одинаковых исходных условиях – мощности, напряжения, частоте коммутации и т.п.

Для каждого варианта рассчитаны следующие показатели:  $\Delta P$  – потери мощности;  $\eta$  – коэффициент полезного действия;  $V$  – объем преобразователя;  $H$  – показатель надежности;  $S$  – стоимость.

Результаты расчетов показателей вариантов ТЭП сведены в табл. 1. Для удобства сравнения показатели даны в относительных единицах, в качестве базового принят ТЭП-3Л, и все его показатели приняты за 1.

Как видно из табл. 1, наименьшими объемами, потерями мощности и, соответственно, наибольшими КПД обладают преобразователи систем ТЭП-3Δ и ТЭП-2 с приблизительно одинаковыми показателями  $V, P, \eta$ . Преобразователь ТЭП-2 в 1,5 раза надежнее преобразователя ТЭП-3Δ. И, наконец, вариант ТЭП-3Δ самый дорогой. Поэтому на перспекти-

ву предлагается вариант ТЭП-2, содержащий двухфазный ТАД, обмотки которого питаются каждая от своего однофазного IGB транзисторного моста инвертора. По сравнению с традиционной системой ТЭП-3Л, содержащий трехфазный ТАД, обмотки которого соединены в звезду, и трехфазный IGB транзисторный инверторный мост, предлагаемый ТЭП-2 обладает на 35 % меньшим объемом преобразователя в силу применения транзисторов низшего класса, в два раза меньшими потерями мощности в преобразователе и, соответственно, на 1,4 % выше КПД.

Таблица 1 – Результаты расчетов показателей вариантов ТЭП

Системы	Показатели, о.е.				
	$\Delta P$	$\eta$	$V$	$H$	$S$
ТЭП-3Л	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
ТЭП-3Δ	0,39	1,016	0,59	2,0	1,34
ТЭП-2	0,48	1,014	0,65	1,33	0,89
ТЭП-комби	1,46	0,987	1,31	0,77	0,48

Рассмотрим некоторые особенности двухфазных асинхронных тяговых электрических двигателей в сравнении с трехфазными.

Расчетная мощность, подведенная к валу двигателя:

$$P_1 = mU_1 I_1 \cos \varphi_1 \eta, \quad (1)$$

где  $m$  – число фаз обмотки статора;  $U_1, I_1$  – фазные напряжения и ток;  $\eta$  – КПД.

Для трехфазного асинхронного двигателя  $m=3$ , а для двухфазного –  $m=2$ , и, анализируя (1), легко сделать ошибочный вывод о том, что двухфазный двигатель имеет мощность на 1/3 меньше. Это возможно, если 1/3 «освободившихся» пазов оставить пустыми, но так делать ошибочно с технических позиций.

При уменьшении числа обмоток (фаз) создается возможность в том же двигателе увеличить число витков в обмотке (увеличить в 1,5 раза  $U_1$ ) или увеличить сечение проводников (увеличить в 1,5 раза  $I_1$ ). В результате при тех же массе и габаритах получается та же мощность двигателя.

Оценим потери в обмотках двигателей. Положим, напряжение в обоих вариантах остается одинаковым, по обмотке трехфазного двигателя с сопротивлением  $r$  протекает ток  $I_1$ . Тогда потери в обмотках трехфазного двигателя составят:

$$\Delta P_{M3} = 3I_1^2 r.$$

Для сохранения той же мощности двухфазного двигателя необходимо ток в фазах увеличить в 1,5 раза, соответственно в 1,5 раза увеличивается сечение проводников, а сопротивление обмоток уменьшается в 1,5 раза. Потери в обмотках двухфазного двигателя составят:

$$\Delta P_{M2} = 2(1,5I_1)^2 \frac{r}{1,5} = 2I_1^2 r.$$

То есть величина потерь, как и другие характеристики ТАД, при двухфазном исполнении остаются такими же, как и в трехфазном [4].

Поэтому при анализе вариантов ТЭП исполнения тяговых двигателей – двух- или трехфазное – можно не учитывать.

Что же касается структуры IGBT-преобразователя, то она проще для условий двух-фазного ТАД.

**ВЫВОДЫ.** Сравнение вариантов ТЭП показало преимущества двухфазного варианта (ТЭП-2), который, по сравнению с традиционным (ТЭП-3), имеет вдвое меньше потерь мощности и в 1,5 раза меньший объем преобразователя.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Синчук И.О., Чернышев А.А., Пасько О.В. и др. Полупроводниковые преобразователи электрической энергии в структурах электроприводов. Схе-

мотехника и принципы управления. – Кременчук: Вид. ПП Щербатих О.В., 2008. – 88 с.

2. Синчук О.Н., Юрченко Н.Н., Чернышев А.А. и др. Комбинаторика преобразователей напряжения современных тяговых электроприводов рудничных электровозов. – К.: 2006. – 252 с.

3. К вопросу анализа импульсных способов функционирования форм кривых тока и напряжения питания 2-х и 3-х фазных тяговых двигателей / В.Г. Шаповал, И.О. Синчук, В.О. Черная // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського. Зб. наукових праць. – Кременчук: КДПУ ім. М. Остроградського, 2008. – № 3 (50). ч. 1. – С. 79–82.

4. Электричні машини: підручник / М.В. Загірняк, Б.І. Невзлін. – К.: Знання, 2009. – 399 с.

#### BY COMPARATIVE EVALUATION OF THE STRUCTURE AND PARAMETERS OF COMPLEX ELECTRICAL TRACTION IGBT-CONVERTER-TWO-PHASE INDUCTION MOTOR FULL ELECTRIC

**E. Guzov, I. Sinchuk, O. Melnik, A. Omelchenko**

Kyryvi Rih National University

ul. 22 Partsyezda, 11, 50027, Krivoy Rog, Ukraine. E-mail: speet@ukr.net

The paper analyzes the structure and parameters of the traction systems: IGBT-converter – traction electric motors asynchronous three-phase and two-phase design. The comparative estimation of four variants of structures of hauling electromechanics is produced on five indexes. It is rotined that at identical power of loss in engines at diphasic and three-phase execution also identical. A transformer for a diphasic asynchronous engine has on 35% a less volume and in two times a less loss is in a transformer. The choice of the most effective option.

**Key words:** traction electric drive, the converter, an asynchronous electric motor.

#### REFERENCES

1. *Semiconductors Electric Energy Converters in Electric Drive Structures. Circuit Technology and Principles of Control. Textbook* / I.O. Sinchuk, A.A. Chernyshev, O.V. Pasko and oth. – Kremenchuk: PE Scherbatykh O.V., 2008. – 88 p. [in Russian]

2. *Combinatorics of transformers of tension of modern hauling electromechanics of mine electric locomotives* / O.N. Sinchuk, N.N. Yurchenko, A.A. Chernyshev and oth. – K.: 2006. – 252 p. [in Russian]

3. To the question of analysis of impulsive methods of functioning of forms of curves of current and tension of feed of diphasic and three-phase hauling engines / V.G. Shapoval, I.O. Sinchuk, V.O. Chernaya

// *Announcer of the Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi State Polytechnic University. Collection of Scientific Labours.* – Kremenchuk: Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi State Polytechnic University. – 2008. – Part 1. – № 3 (50). – PP. 79–82. [in Russian]

4. *Electric machines: textbook* / M.V. Zagirnyak, B.I. Nevzlin. – K.: Znannya, 2009. – 399 p. [in Russian]

Стаття надійшла 4.07.2012.

Рекомендовано до друку  
д.т.н., проф. Родькіним Д.Й.