

УДК 621.313.29-83

Булгар В. В., канд. техн. наук,
Косенков В. Д., канд. техн. наук,
Яковлев А. В., канд. техн. наук,
Ивлев Д. А.

ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ДВИГАТЕЛЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА БИИНДУКТОРНОГО ТИПА

***Аннотация.** Рассматривается конструкция высокоскоростной машины постоянного тока бииндукторного типа, обеспечивающая благодаря новым конструктивным решениям значительное улучшение ряда удельных показателей и снижение затрат электрической энергии в статических и динамических режимах работы электропривода.*

***Ключевые слова:** электропривод, коэффициент полезного действия, ротор, статор, обмотка якоря, секция, масса, электрические потери, электромагнитный момент, магнитная система.*

Булгар В. В., канд. техн. наук,
Косенков В. Д., канд. техн. наук,
Яковлев А. В., канд. техн. наук,
Ивлев Д. А.

ВИСОКОШВИДКІСНИЙ ДВИГУН ПОСТІЙНОГО СТРУМУ БІІНДУКТОРНОГО ТИПУ

***Анотація.** Розглядається конструкція високошвидкісної машини постійного струму бііндукторного типу, яка завдяки новим конструктивним рішенням забезпечує значне покращення низки питомих показників і зменшення витрат електричної енергії в статичних та динамічних режимах роботи електропривода.*

***Ключові слова:** електропривод, коефіцієнт корисної дії, ротор, статор, обмотка, секція, маса, електричні втрати, електромагнітний момент, магнітна система.*

***Bylgar V. V.**, PhD in Technical Sciences,
Kosenkov V. D., PhD in Technical Sciences,
Jakovlev O. V., PhD in Technical Sciences,
Ivlev D. A.*

HIGH-SPEED DIRECT-CURRENT MOTOR BIINDUCTOR-TYPE

***Abstract.** Considered is the construction of high-speed direct-current motor biinductor-type and, owing to the new design, providing a sufficient improvement of the number of unit indexes and the decreasing of the electrical power losses in static and dynamic moods of electrical drive.*

***Keywords:** direct-drive, efficiency, rotor, stator, armature winding, section, mass, electric losses, air gap torque, magnetic system.*

Введение. До середины 80-х годов прошлого века парк регулируемых приводов состоял преимущественно из приводов постоянного тока. Однако развитие частотно-регулируемого асинхронного электропривода привело к тому, что доля регулируемых приводов постоянного тока сократилась до 15 % [1].

Во многом такое положение обусловлено дороговизной и высокой технологической сложностью классической машины постоянного тока, что, в свою очередь, связано с комплексом мер, направленных на ограничение поперечной

реакции якоря, включающим в себя использование компенсационной обмотки, обмотки добавочных полюсов и увеличение рабочего воздушного зазора.

Очевидно, что привод постоянного тока может вернуть утраченное положение в сфере регулируемых приводов только в том случае, если его показатели по массе, цене, технологичности и коэффициенту полезного действия (КПД) будут идентичны показателям асинхронного привода.

Иными словами, в таком двигателе поперечная реакция якоря должна ограничиваться другим способом при отказе

от дополнительных полюсов и компенсационной обмотки. Однако такой подход сложно реализуем в рамках классической машины постоянного тока и поэтому требует поиска новых конструктивных решений.

Цель работы – создание высокоскоростной машины постоянного тока со значениями массы, КПД и момента, близкими к значениям аналогичных асинхронных двигателей.

Материалы исследований. В Одесском национальном политехническом университете более 40 лет ведутся работы по разработке и исследованию линейных и вращающихся электрических машин постоянного тока индукторного типа [2 – 7]. Новым этапом исследований являются работы по бииндукторным машинам постоянного тока [8-10]. Примером такой конструкции может служить двигатель постоянного тока бииндукторного типа с Г-образными полюсами (ДПТБТ).

Конструкция ДПТБТ.

Магнитная система ДПТБТ (рис.1) состоит из зубцов 1, объединенных общим ярмом 2. В пазах статора уложены секции обмотки якоря 3, подключенные к электронному коммутатору.

Две тороидальные обмотки возбуждения 4, 5 могут располагаться как на статоре, слева и справа от зубца 1, так и на роторе в промежутках между полюсными выступами. С валом 6 жестко соединены немагнитные торцевые щиты ротора 7, в которых закреплены Г-образные ферромагнитные полюса 8 с полюсным выступом гребенчатого вида (фиг.2).

В отличие от классической конструкции машины постоянного тока, в ДПТБТ, вне зависимости от числа полюсных делений $2\tau=2p$, только две обмотки возбуждения и нет обмоток добавочных полюсов и компенсационной обмотки, так как ограничение реакции якоря обеспечивается конструктивными способами.

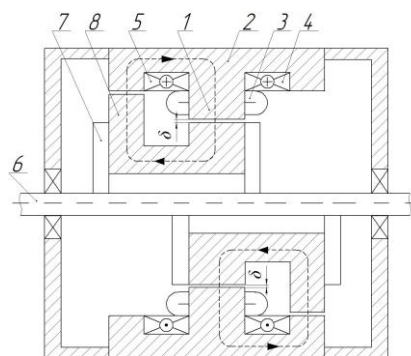


Рис.1. Двигатель постоянного тока бииндукторного типа с Г-образными полюсами

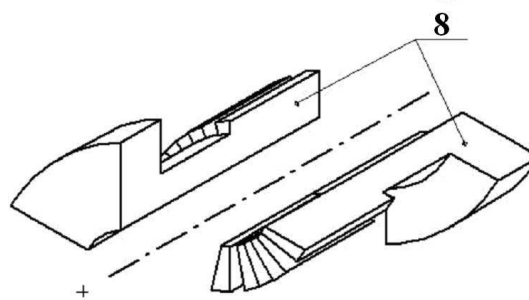


Рис.2. Г-образный полюс с полюсным выступом гребенчатого вида

В данной конструкции в преобразовании энергии участвует 100% активной поверхности статора (конечно, с учетом α_δ – расчетного коэффициента полюсного перекрытия). ДПТБТ не требует специальной конструкции обмотки якоря, в нем можно использовать как волновые, так и петлевые обмотки, применяемые в классических машинах постоянного тока.

Работает ДПТБТ следующим образом: при подаче напряжения на тороидальные обмотки возбуждения 4,5 взаимодействием двух встречно-параллельных основных магнитных потоков $\Phi_{в1}$, $\Phi_{в2}$ и токов проводников секций обмотки якоря 3, находящихся в зоне действия полюсов 8 цилиндрического ротора, создается электромагнитный момент $M_{эм}$, под действием которого ротор приходит во вращение.

Электронный коммутатор переключает токи в секциях обмотки якоря таким образом, чтобы при вращении токи проводников, находящихся в данный момент напротив соответствующих полюсов цилиндрического ротора, оставались

неизменными. Регулирование частоты вращения и реверс ДПТБТ в режиме двигателя постоянного тока осуществляется известными для классических машин способами.

Ограничение реакции якоря.

В ДПТБТ каждый полюс Г-образного вида имеет на своем полюсном выступе ряд пазов (рис.2,3). Поток поперечной реакции якоря, проходя через полюс, встречает на своем пути ряд воздушных промежутков, за счет которых магнитная проводимость магнитопровода в поперечном направлении существенно снижается.

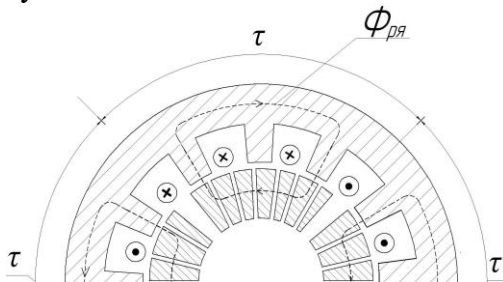


Рис.3. Ограничение поперечной реакции якоря

Такое конструктивное решение позволяет резко ослабить поле поперечной реакции якоря и отказаться от компенсационной обмотки.

При этом величину рабочего воздушного зазора можно принимать минимально технологически возможным, что приводит к уменьшению потерь на возбуждение.

На рис. 4 показаны кривые распределения индукции поля реакции якоря ДПТБТ $P_n = 7,5$ кВт; $U_n = 220$ В; $n_n = 1500$ об/мин для двух вариантов полюсов с пазами и без них. Данные получены с помощью программы ELCUT версии 4.1 путем расчета магнитного поля в плоскопараллельной области методом конечных элементов.

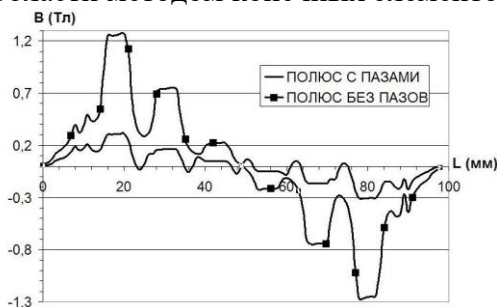


Рис.3. Кривые распределения индукции поля реакции якоря ДПТБТ при наличии и отсутствии пазов в полюсном выступе.

Сравнительный анализ основных показателей классического двигателя постоянного тока (ДПТ) NP112NM без компенсационной обмотки (индекс N) компании Sicme Motori, асинхронного двигателя (АД) общего назначения GP1LE1 стандарта энергоэффективности IE2 серии SIMOTICS производства SIEMENS и двигателя постоянного тока бииндукторного типа с Г-образными полюсами приведен в таблице 1.

Таблица 1

Данные	ДПТ	АД	ДПТ
	NP112	GP1LE	ДПТБТ
Мощность P_n (кВт)	7,7	7,5	7,5
Обороты n_n (об/мин)	1500	1500	1500
Момент M (Нм)	47	49	48
Масса (кг)	120	49	57
Ось вращения h (мм)	112	132	132
КПД (%)	79,7	88,7	92

Выводы. Анализируя полученные результаты, можно отметить, что конструкция ДПТБТ позволяет существенно ограничить поперечную реакцию якоря при одинаковой с аналогичным асинхронным двигателем величине рабочего воздушного зазора. Кроме этого, укладка обмотки якоря в неподвижном статоре позволяет отказаться от коллектора и перейти к использованию полупроводникового коммутатора. Все это позволяет получить ДПТБТ со значениями массы, КПД и

момента, близкими к значениям аналогичных асинхронных двигателей, и при этом сохранить все достоинства, присущие двигателям постоянного тока.

Список использованной литературы

1. Ильинский Н.Ф. Электропривод: энерго- и ресурсосбережение/ Н. Ф. Ильинский, В.В. Москаленко. М.: Издательский центр «Академия», 2008. — 208 с.

2. Булгар В. В. Низкоскоростные электрические машины постоянного тока индукторного типа/ В.В. Булгар, А. В. Яковлев, А. Д. Ивлев, Д. А. Ивлев Одесса, «Бахва», 2013. — 316 с.

3. Булгар В. В. Низкоскоростная электрическая машина / В. В.Булгар, А. Д. Ивлев, Д. А. Ивлев, А. В. Яковлев // Вестник НТУ «ХПИ» «Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика». – Харьков : – 2008. – Вып. 30. – С. 460 – 461.

4. Булгар В. В. Низкоскоростная торцевая электрическая машина бииндукторного типа / В. В.Булгар, А. Д. Ивлев, Д. А. Ивлев // Вестник НТУ «ХПИ» «Проблемы автоматизированного. Теория и практика». – Харьков : – 2010. – Вып. 28. – С. 436 – 437.

5. Косенков.В.Д. Особливості визначення реактивної ЕРС машин постійного струму з роздільними П-подібними магнітопроводами індуктора /В.Д. Косенков, Л.В. Скубій, Д.А. Івлєв// Вісник Хмельницького національного університету. – Хмельницьк, 2012. – Вып.1, – С. 143-147.

6. Булгар В.В. К исследованию тепловых свойств двигателей постоянного тока с дисковым ротором / В. В.Булгар, Д. А. Ивлев, А. В. Яковлев // Научно-технический журнал «Электротехнічні та комп'ютерні системи» К: Техніка, 2011,- Выпуск 03(79) – С.298-299

7. Косенков.В.Д. Визначення електрорушійної сили та моменту торцевого двигуна постійного струму індукторного типу/В.Д. Косенков, Л.В. Скубій, В. В.Булгар,Д.А. Івлєв// Вісник Хмельницького

національного університету. – Хмельницьк, 2013. – Вып.6, – С. 279-283.

8. Косенков.В.Д. Ограничение реакции якоря в машинах постоянного тока индукторного типа. В.Д. Косенков, Д.А. Ивлев, А. В. Яковлев // Вісник Хмельницького національного університету. – Хмельницьк, 2015. – Вып.3, – С. 224-227.

9. Винаков А.Ф. Низкооборотная машина постоянного тока бииндукторного типа/ А. Ф. Винаков, В. Д. Косенков, А. В. Яковлев, Д. А. Ивлев// Научно-технический журнал «Электротехнічні та комп'ютерні системи» К: Техніка, 2015,- Выпуск 19(95) – С.106-110

10. Патент України № 104943, Україна, МПК(2006.01) H02K29/06. Електрична машина бііндукторного типу / О. А. Андрющенко, В. В. Булгар, А. О. Бойко, А. Д. Івлєв, Д. А. Івлєв, О. В. Яковлев, В. Д. Косенков // – а201211580, заявл.08.10.2012; опубл. 25.03.2014, Бюл. № 6.

Получено 03.05.16

References

1. P'inskij N.F. and Moskalenko V.V. Jelektroprivod: jenergo- i resursosberezhenie [Power: energy and resource saving], (2008), Moscow, Russian Federation, *Akademija Publ.*, 208p. (In Russian).

2. Bulgar V.V., Jakovlev A. V., Ivlev A. D. and Ivlev D. A. Nizkoskorostnye jelektricheskie mashiny postojannogo toka induktornogo tipa [High-speed direct-current motor inductor-type], (2013), Odessa, Ukraine, *Bahva Publ.*, 316 p. (In Russian).

3. Bulgar V.V., Ivlev A.D., Ivlev D.A., and Jakovlev A.V. Nizkoskorostnaja jelektricheskaja mashina [Low-speed Electric Machine], (2008), *Vestnik NTU HPI "Problemy Avtomatizirovannogo Elektroprivoda: Teorija i Praktika" Publ.*, Kharkov, Ukraine, Vol. 30, pp. 460 – 461 (In Russian).

4. Bulgar V.V., Ivlev A.D., and Ivlev D.A. Nizkoskorostnaja torcevaja jelektricheskaja mashina biinduktornogo tipa [Low-speed End Direct-current Motor Biinductor-type.], (2010), *Vestnik NTU HPI "Problemy Avtomatizirovannogo Elektroprivoda: Teorija i*

Praktika” Publ., Kharkov, Ukraine, Vol. 28, pp. 436 – 437 (In Russian).

5. Kosenkov.V.D., Skubij L.V. and Ivlev D.A. Osobly`vosti vy`znachennya reakty`vnoyi ERS mashy`n postijnogo strumu z rozdil`ny`my`P-odibny`my`magnitoprovodamy` induktora [Features EMF definition reactive dc machines with separate U-shaped magnetic core inductor], (2012), “*Visny`k Xmel`ny`cz`kogo nacional`nogouniversy`tetu*” Publ., Khmelnytsky, Ukraine, Vol. 1, pp. 143 – 147 (In Ukrainian).

6. Bulgar V. V., Ivlev D. A. and Jakovlev A. V. K issledovaniju teplovyh svojstv dvigatelej postojannogo toka s diskovym rotorom [To study the thermal properties of DC motors with disc rotor], (2011), *Naukovo-tehnichnij zhurnal “Elektrotehnichni ta komp`juterni sistemi” Publ.*, Odessa, Ukraine, Vol. 03(79), pp. 298 – 299 (In Russian)

7. Kosenkov V.D., Skubij L.V., Bulgar V. V. and IvlyevD.A. Vy`znachennya elektrorushijnoyi sy`ly` ta momentu torcevogogo dvy`guna postiyinogo strumu induktornogo ty`pu [Definition of electromotive force and moment socket DC motor inductive type], (2013), “*Visny`k Xmel`ny`cz`kogo nacional`nogo universy`tetu*” Publ., Khmelnytsky, Ukraine, Vol. 6, pp. 279 – 283 (In Ukrainian).

8. Kosenkov V.D., Ivlev D.A. and JakovlevA.V. Ogranichenie reakcii jakorja v mashinah postojannogo toka induktornogo tipa. [Limitation of the armature reaction machine DC-type inductor.], (2015), “*Visnik Hmel`nic`kogo nacional`nogo universitetu*” Publ., Khmelnytsky, Ukraine, Vol. 3., pp. 224 – 227 (In Russian).

9. Vinakov A. F., Kosenkov V. D., Jakovlev A. V. and Ivlev D. A. Nizkoobrotnaja mashina postojannogo toka biinduktorngo tipa [Low-speed direct-current motor biinductor-type], (2015), *Naukovo-tehnichnij zhurnal “Elektrotehnichni ta komp`juterni sistemi” Publ.*, Odessa, Ukraine, Vol. 19(95), pp. 106 – 110 (In Russian)

10. Patent of Ukraine No.104943, MPK (2006.01), NO2K 29/06 Electrical machine biinductor-type / O.A. Andrijshhenko, V.V. Bulgar, A. O. Bojko, A.D. Ivlev, D.A. Ivlev, O.V. Jakovlev, V.D. Kosenkov: a 201211580,

decl.08.10.2012, publ. 25.03.2014, Bulletin No. 6. (In Ukrainian)



Булгар Виктор Васильевич, канд. техн. наук, проф., зав. каф. ЭМСКУ Одесского нац. политехнич. ун-та. 65044, г. Одесса, пр. Шевченко,1, тел. 067-485-71-98



Косенков Владимир Данилович, канд. техн. наук, проф., зав. каф. физики и электротехники Хмельницкого нац. ун-та. 29016, г. Хмельницкий, ул. Институтская, 11. E-mail: fpkts@khnu.km.ua



Яковлев Александр Владимирович, канд. техн. наук, доц. каф. теоретических основ и общей электротехники Одесского нац. политехнич. ун-та. 65044, г. Одесса, пр. Шевченко,1, 7058-565 E-mail: yakoval_vlad@ukr.net



Ивлев Дмитрий Анатольевич, ст. преп. каф. теоретических основ и общей электротехники Одесского нац. политехнич. ун-та, 65044, г. Одесса, пр. Шевченко, 1, 7058-565 E-mail: ivlevs@te.net.ua