

УДК 62-835:621.337.4

**ПОВЫШЕНИЕ БЫСТРОДЕЙСТВИЯ ПРИ РЕГУЛИРОВАНИИ МОМЕНТА
В ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОМ ТЯГОВОМ АСИНХРОННОМ ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ
С ПИТАНИЕМ ОТ АККУМУЛЯТОРНОЙ БАТАРЕИ**

А. А. Шавёлкин, Д. Н. Мирошник

Донецкий национальный технический университет
ул. Артема, 58, г. Донецк, 83001, Украина. E-mail: sha@dgtu.donetsk.ua

Получены настройки регуляторов векторной системы управления асинхронным двигателем с комбинированным формированием напряжения статора в тяговом электроприводе с питанием от аккумуляторной батареи, обеспечивающие максимальное быстродействие в регулировании момента для систем регулирования напряжения в звене постоянного тока преобразователя частоты с пропорциональным регулятором и каналом компенсации статизма по току аккумуляторной батареи, а также с регулятором напряжения пропорционально-интегрального типа. Осуществлен сравнительный анализ переходных функций момента для двух структур системы векторного управления асинхронным двигателем.

Ключевые слова: регулирование, момент, напряжение в звене постоянного тока преобразователя частоты.

**ПІДВИЩЕННЯ ШВИДКОДІЇ ПРИ РЕГУЛЮВАННІ МОМЕНТУ В ЧАСТОТНО-РЕГУЛЬОВАНОМУ
ТЯГОВОМУ АСИНХРОННОМУ ЕЛЕКТРОПРИВОДІ З ЖИВЛЕННЯМ
ВІД АКУМУЛЯТОРНОЇ БАТАРЕЇ**

О. О. Шавьолкін, Д. М. Мірошник

Донецький національний технічний університет
вул. Артема, 58, м. Донецьк, 83001, Україна. E-mail: sha@dgtu.donetsk.ua

Одержано налаштування регуляторів векторної системи керування асинхронним двигуном з комбінованим формуванням напруги статора у тяговому електроприводі з живленням від акумуляторної батареї, що забезпечують максимальну швидкодію у регулюванні моменту для систем регулювання напруги у ланці постійного струму перетворювача частоти з пропорційним регулятором і каналом компенсації статизму за струмом акумуляторної батареї, а також з регулятором напруги пропорційно-інтегрального типу. Здійснено порівняльний аналіз перехідних функцій моменту для двох структур системи векторного керування.

Ключові слова: регулювання, момент, напруга у ланці постійного струму перетворювача частоти.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. В настоящее время в тяговом электроприводе (ТЭП) с питанием от аккумуляторной батареи (электромобили, электроциклы, аккумуляторные электровозы и т.д.) рассматривается применение асинхронного двигателя (АД) вместо двигателя постоянного тока, что преследует цель повышения эксплуатационных характеристик ТЭП [1]. В работе [2] показано, что для ТЭП с питанием от аккумуляторной батареи (АБ) перспективным является использование преобразователя частоты (ПЧ) на базе автономного инвертора напряжения (АИН) с повышающим импульсным преобразователем постоянного напряжения (ИППН) на его входе. При этом повышение энергетической эффективности электропривода возможно за счет комбинированного формирования напряжения на статоре АД с использованием ШИМ [1] при поддержании максимального значения коэффициента модуляции по амплитуде и регулировании напряжения в звене постоянного тока ПЧ.

Для реализации комбинированного формирования напряжения на статоре АД представляется целесообразным использование структуры системы векторного управления с регулированием момента АД [3] и внутренними контурами регулирования напряжения в звене постоянного тока ПЧ и тока АБ [1]. При этом задание для системы регулирования напряжения в звене постоянного тока ПЧ (СРН) формируется регуляторами активного (РТа) и реактивного тока статора АД (РТр), после чего

осуществляется компенсация внутренних связей АД и переход от вращающейся системы координат к полярной. В этом случае сформированный сигнал задания на напряжение статора АД разделяется на два управляющих сигнала в ограничителе зон формирования напряжения: коэффициент модуляции по амплитуде (воздействует на АИН) и сигнал задания на напряжение в звене постоянного тока (воздействует на ИППН). Однако процесс регулирования напряжения в звене постоянного тока ПЧ характеризуется существенной инерционностью, которая зависит от значения напряжения и значительно превышает инерционность процесса формирования выходного напряжения АИН с ШИМ при неизменном значении напряжения в звене постоянного тока ПЧ. В [1] показано, что для обеспечения заданного диапазона регулирования напряжения в звене постоянного тока ПЧ $U_d = E_{AB} \dots U_{dНОМ}$ (E_{AB} – ЭДС АБ, $U_{dНОМ} = 535$ В – номинальное значение напряжения в звене постоянного тока ПЧ при использовании АД напряжением 380 В) для векторной системы управления АД возможно применение структур СРН с пропорционально-интегральным регулятором напряжения и пропорциональным регулятором напряжения вместе с каналом компенсации статизма в виде рассчитанного значения тока АБ в соответствии с балансом мощностей в системе ТЭП. Следовательно, актуальной является задача выбора наиболее рациональной структуры системы векторного управления с регулированием момента

АД и комбинированным формированием напряжения статора.

Целью работы является обоснование структуры векторной системы управления для повышения быстродействия регулирования момента АД в тяговом электроприводе с питанием от АБ.

Задачи исследования: определить настройки регулятора напряжения для разных структур СРН, а также настройки регуляторов активного и реактивного тока статора АД, обеспечивающие максимальное быстродействие векторной системы управления с регулированием момента АД; осуществить сопоставление разных структур по быстродействию и качеству регулирования момента АД.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.

Сравнительный анализ выполнялся при использовании упреждающей компенсации внутренних связей АД, которая, по сравнению с запаздывающей, обеспечивает снижение перерегулирования в переходной функции момента до восьми раз. При этом исследовался электропривод со следующими параметрами: $E_{AB}=130$ В; внутреннее сопротивление АБ $R_{AB}=0,07$ Ом; внутреннее активное сопротивление, индуктивность и емкость импульсного преобразователя $R_{ШИП}=0,0035$ Ом, $L=2,5$ мГн, $C=(1...3)$ мФ; допустимые пульсации тока АБ $\Delta I_{AB}=10$ А (8 % от номинального значения тока АБ); постоянная времени регулятора напряжения в звене постоянного тока ПЧ $T_H=1,5...3,5$ мс; частота ШИМ в АИН $f_{\mu}=4$ кГц (векторная ШИМ); АД типа ВРП180М8 ($P_{НОМ}=15$ кВт, $n_{НОМ}=722$ об/мин, постоянная времени рассеивания статора $(\sigma T_s)=9,6$ мс, активное сопротивление статора $R_s=0,45$ Ом). Значение ΔI_{AB} устанавливается в релейном регуляторе тока АБ (образует соответствующий внутренний контур СРН) и ограничивает частоту коммутации полупроводниковых ключей импульсного преобразователя $f_{КШП} \leq 2$ кГц. В этом случае введение ИППН в схему ПЧ не приводит к увеличению потерь энергии в сравнении с вариантом ПЧ при непосредственном питании АИН от АБ.

В работе рассматривается использование следующих передаточных функций для регуляторов векторной системы управления при регулировании момента АД [1, 3]:

$$W_{PH}(s) = \frac{K_{ОСЛАБ}}{K_{ОСУд}} \frac{C}{T_{H(П)}}$$

$$W_{PH}(s) = \frac{K_{ОСЛАБ}}{K_{ОСУд}} \frac{C}{T_{H(ПИ)}} \frac{aT_{H(ПИ)} \cdot s + 1}{aT_{H(ПИ)} s}$$

$$W_{PTa}(s) = W_{PTp}(s) = \frac{\sigma T_s R_s}{T_I K_n K_{OC(Is)}} \frac{(\sigma T_s) s + 1}{(\sigma T_s) s}$$

где $K_{ОСЛАБ}$, $K_{ОСУд}$ – соответственно коэффициенты передачи обратной связи по току АБ и напряжению в звене постоянного тока ПЧ; $T_{H(П)}$, $T_{H(ПИ)}$ – соответственно постоянные времени пропорционального и пропорционально-интегрального регуляторов напряжения в звене постоянного тока ПЧ; a – коэффициент; T_I – постоянная времени интегрирования РТа, РТр; K_n –

коэффициент передачи ПЧ по напряжению; $K_{OC(Is)}$ – коэффициент передачи датчика тока статора.

Поскольку АД вместе с СРН характеризуются существенными нелинейностями, аналитический синтез системы векторного управления затруднителен. В этом случае можно воспользоваться описанием переходных функций момента, полученных путем моделирования системы.

В табл. 1 приведены основные характеристики переходных функций момента при значениях частоты вращения ротора и напряжения в звене постоянного тока ПЧ, близких к своим номинальным значениям.

Таблица 1 – Результаты моделирования векторной системы управления с регулированием момента АД

$T_{H(П)}$, мс	$T_{H(ПИ)}$, мс	a	T_I , мс	C , мФ	t_c , мс	σ , %
1.5	-	-	4	1	18	10
				2	15	5
				3	11	15
				3.5	2	15
			4.5	2	16	5
-	3	2	4	1	30	15
				2	21	10
				3	17	26
-	3	2	5	2	21	8
-	3	2.5	5	2	30	10
-	3	1.5	5	2	21	13
-	3.5	2	5	2	30	10
-	2.5	2	4	2	-	-

При использовании структуры СРН с пропорциональным регулятором и каналом компенсации статизма по току АБ максимальное быстродействие с временем первого согласования $t_c=15$ мс при перерегулировании $\sigma=5$ % получено при $T_I=4$ мс, $C=2$ мФ, $T_{H(П)}=1,5$ мс (рис. 1, кривая 1). В то же время использование структуры СРН с пропорционально-интегральным регулятором значение $t_c=21$ мс, перерегулирование $\sigma=8$ % при $T_I=4$ мс, $C=2$ мФ, $T_{H(ПИ)}=3$ мс, $a=2$ (рис. 1, кривая 2). При этом переходная функция момента имеет колебательный характер, что существенно ухудшает качество регулирования момента в системе векторного управления АД.

При этом переходные процессы во внутренних контурах регулирования напряжения в звене постоянного тока ПЧ (рис. 1,б) и тока АБ имеют аналогичный характер, что свидетельствует о прямом влиянии структуры СРН на регулирование момента АД.

ВЫВОДЫ. 1. Получены настройки регуляторов системы векторного управления с комбинированным формированием напряжения статора АД в тяговом электроприводе с питанием от АБ, обеспечивающие максимальное быстродействие

при регулюванні моменту для різних структур СРН: с пропорциональним регулятором и каналом

компенсации статизма по току АБ и с регулятором напряжения пропорционально-интегрального типа.

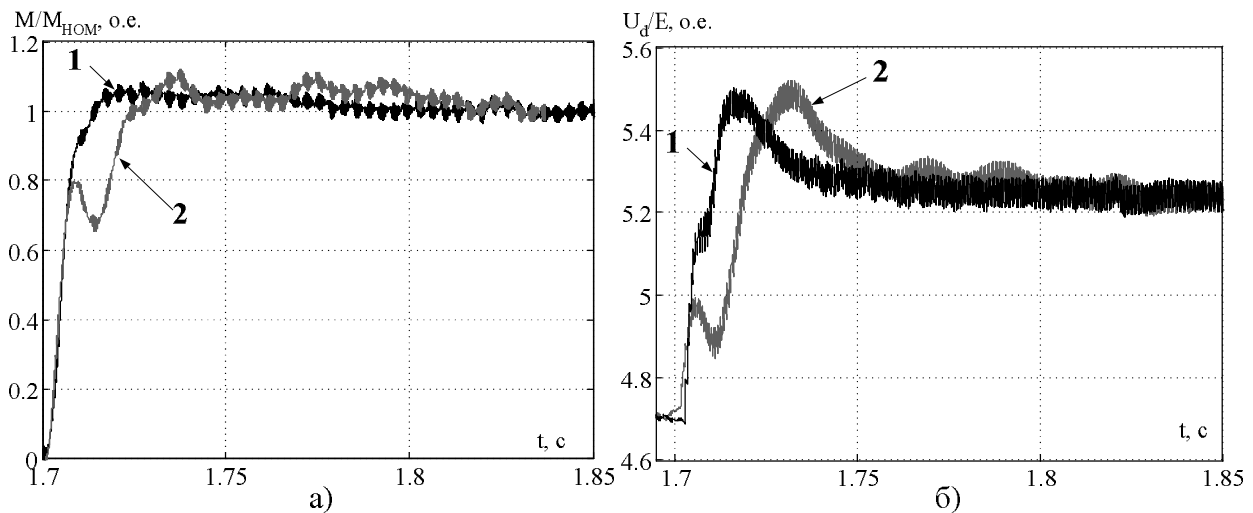


Рисунок 1 – Результати моделювання моменту АД (а) и напряжения в звене постоянного тока при отработке системой векторного управления скачкообразного изменения сигнала задания момента:
 1 – СРН с пропорциональным регулятором и каналом компенсации статизма по току АБ;
 2 – СРН с регулятором пропорционально-интегрального типа

2. Использование СРН с пропорциональным регулятором и каналом компенсации статизма по току АБ в сравнении с использованием структуры с регулятором напряжения пропорционально-интегрального типа обеспечивает до 1,4 раза повышение быстродействия в регулировании момента АД. При этом улучшается также и качество переходных процессов регулирования момента за счет исключения колебательности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шавьолкін О.О., Мірошник Д.М. Компенсація статизму при регулюванні вихідної напруги імпульсного перетворювача, що підвищує напругу джерела

// Електромеханічні і енергозберігаючі системи. Щоквартальний науково-виробничий журнал. – Кременчук: КНУ, 2011. – Вип. 3/2011 (15). – С. 36–40.

2. Matsumoto S. (TOYOTA MOTOR CORPORATION) Advancement of hybrid vehicle technology // 11th European Conference on Power Electronics and Application EPE. – Dresden, 2005.

3. Колпахчян П.Г. Методология комплексного моделирования и способы управления асинхронным тяговым приводом магистральных электровозов: диссертация на соискание ученой степени доктора техн. наук: спец. 05.09.03 «Электротехнические системы и комплексы». – Новочеркасск, 2006. – 402 с.

AN IMPROVEMENT RESPONSE SPEED OF THE MOMENT CONTROL IN VEHICLE FREQUENCY ASYNCHRONOUS ELECTRIC DRIVE WITH SUPPLY FROM CHARGE BATTERY

A. Shavyolkin, D. Miroshnik

Donetsk National Technical University
 ul. Artema, 58, Donetsk, 83001, Ukraine. E-mail: sha@dgtu.donetsk.ua

In paper are received regulators of transvector system with the combined formation of asynchronous machine stator voltage in the traction electric drive with supply from charge battery, providing the maximal speed in regulation of the moment for systems of DC-link voltage control with proportional controller with indemnification control error on charge battery current also with a voltage controller of proportional-integrated type. The comparative analysis is realized of the transient response moment functions for the two structures of the transvector system.

Key words: control, moment, voltage in DC link of frequency converter.

REFERENCES

1. Shavyolkin A., Miroshnik D. Error indemnification at output voltage control of step-up converter // *Electromechanical and energy saving systems. Quarterly research and production journal.* – Kremenchuk: KrNU, 2011. – № 3/2011 (15). – PP. 36–40. [in Ukrainian]

2. Matsumoto S. (TOYOTA MOTOR CORPORATION) Advancement of hybrid vehicle

technology // 11th European Conference on Power Electronics and Application EPE. – Dresden, 2005.

3. Kolpahchyan P.G. Methodology of complex modeling and methods of control asynchronous traction electric drive of mains locomotives: dis. Doctor... tech. science: 05.09.03. – № 2006. – 402 p. [in Russian]

Стаття надійшла 23.07.2012.
Рекомендовано до друку
к.т.н., доц. Шамардіною В.Н.