

УДК 621.313

РЕЛЕЙНОЕ ВЕКТОРНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ТОКА В АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДАХ С АВТОНОМНЫМ ИНВЕРТОРОМ ТОКА

Волков А.В., д.т.н., проф., Косенко И.А.

Запорожский национальный технический университет

69063, Украина, г. Запорожье, ул. Жуковского, 64

E-mail: epa@zntu.edu.ua

Запропонована та досліджена шляхом моделювання автоматична система релейного векторного регулювання статорного струму асинхронного електропривода з автономним інвертором струму з широтно-імпульсною модуляцією.

Ключові слова: автоматичне керування, інвертор струму, електропривод.

Relay vector adjustment automatic system for the stator current of asynchronous electric drive having autonomous current inverter with pulse width modulation is proposed. It has been investigated by means of simulation.

Key words: automatic control, current inverter, electric drive.

Введение. Интенсивное развитие полупроводниковой техники, появление новых и совершенствование известных типов полупроводниковых приборов (ГТО, ИССТ) возвращают интерес к преобразователям частоты (ПЧ) на основе автономного инвертора тока (АИТ).

Данные преобразователи частоты позволяют (по сравнению с автономным инвертором напряжения) заметно уменьшить капитальные затраты при переходе от электроприводов постоянного тока к частотно-регулируемым (ч - р) электроприводам переменного тока и существенно продлить срок службы ч - р двигателей. Это обусловлено, во-первых, использованием части заменяемого электрооборудования электроприводов постоянного тока (управляемого выпрямителя с системой импульсно-фазового управления, сглаживающих и токоограничивающих реакторов, автоматического выключателя, фильтро-компенсирующих устройств) и, во-вторых, уменьшением крутизны фронта статорных напряжений (что предотвращает ускоренный износ изоляции двигателей). Вследствие этого становится актуальной задача разработки эффективных систем автоматического управления (САУ) асинхронных электроприводов с АИТ на запираемых тиристорах и исследование статических характеристик и динамических свойств этих электроприводов.

Анализ предыдущих исследований. В известной научно-технической и патентной литературе данные вопросы рассмотрены недостаточно. В частности, в работах Р. Т. Шрейнера [1, 2] рассмотрены общие принципы построения ч - р асинхронных электроприводов (ЭП) на основе АИТ и формирования посредством прогнозирующего релейного управления синусоидальных по форме статорных напряжений двигателя. Однако, при этом вопросы векторного регулирования непосредственно статорного тока в таких электроприводах остаются не исследованными.

Цель работы. Разработка и исследование векторного релейного регулирования статорного тока асинхронного электропривода с АИТ.

Материал и результаты исследования. На рис. 1 представлена функциональная схема асинхронного ЭП с АИТ, в которой используется предложенное релейное векторное регулирование статорного тока. Данная схема содержит: трёхфазную мостовую схему АИТ, выполненную на запираемых тиристорах $V1...V6$, конденсаторы $C1...C3$, сглаживающий реактор L_d , асинхронный двигатель АД, модель двигателя, вычислитель гармонических функций ВГФ, координатный преобразователь КП, блок вычислителя комбинаций ключей ВКК, блок управления переключениями БУП, блок вычислителя оптимальной комбинации ВОК, логическое переключающее устройство ЛПУ, блок формирователей импульсов БФИ.

Автоматическое регулирования обобщенного вектора статорного тока \vec{I}_s осуществляется по его ортогональным проекциям с использованием принципа релейного управления (в неподвижной координатной системе $\alpha-\beta$). Суть метода релейного управления заключается в минимизации значений отклонений токовых проекций $\Delta I_{s\alpha}, \Delta I_{s\beta}$ путём формирования, согласно прогнозирующим функциям $F_{\alpha k}^*, F_{\beta k}^*$ ($k=1...6$), необходимых для этого комбинаций m^* включения тиристоров АИТ.

Прогнозирующие функции $F_{\alpha k}^*, F_{\beta k}^*$ являются массивами значений, каждый из которых состоит из шести элементов. Значения элементов данных массивов определяются на основании диаграммы обобщенных векторов выходного тока АИТ (рис. 2) и соответствующей ей табл. 1. Данная диаграмма на рис. 2 характеризуется шестью положениями

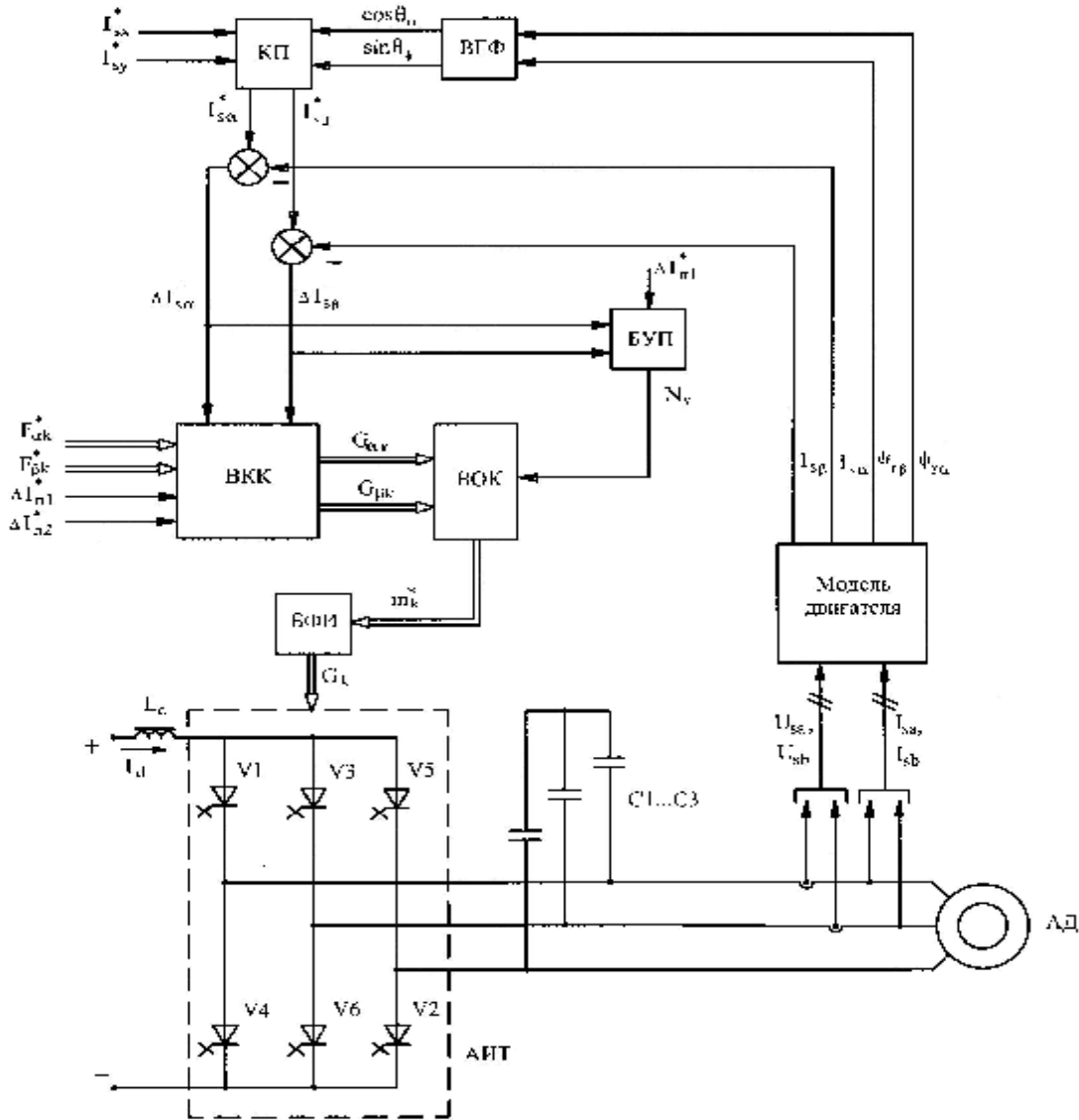


Рисунок 1 – Функциональная схема асинхронного ЭП с АИТ

обобщенного вектора тока на выходе АИТ $\bar{I}_\Sigma(1), \bar{I}_\Sigma(6)$, каждому из которых соответствует определенная комбинация m проводящих тиристоров АИТ. В табл. 1 показаны для каждой комбинации m открытые состояния тиристоров АИТ и параметры обобщенного вектора тока \bar{I}_Σ на выходе АИТ (в частности, его проекции $I_{\Sigma\alpha}$ и $I_{\Sigma\beta}$, модуль \bar{I}_Σ и аргумент θ_{ψ_Σ}).

В вычислителе ВГФ определяются гармонические функции от аргумента θ_ψ обобщенного вектора потокосцепления ротора АД, а в блоке КП – заданные значения активной $I_{s\alpha}^*$ и реактивной $I_{s\beta}^*$ составляющих обобщенного вектора статорного тока \bar{I}_s [3].

В блоке ВКК вычисляются все возможные комбинации открытых состояний тиристоров АИТ, которые удовлетворяют условиям сравнения с прогно-

зирующими функциями $F_{\alpha k}^*, F_{\beta k}^*$. Также в блоке ВКК компенсируется временная задержка при обработке заданных значений проекций $I_{s\alpha}^*, I_{s\beta}^*$ вектора статорного тока \bar{I}_s , вносимая конденсаторами, установленными на выходе АИТ. Математическое описание для формируемых массивов $G_{\alpha k}, G_{\beta k}$ ($k=1..6$) идентично между собой, поэтому далее рассмотрим алгоритм формирования только одного массива $G_{\alpha k}$.

1. Алгоритм работы без компенсации временной задержки, вносимой конденсаторами.

$G_{\alpha k}=1$, если выполняются условия системы уравнений (1):

$$\left. \begin{aligned} \text{sign}(\Delta F_{\alpha k}) &= \text{sign}(\Delta I_{\alpha k}), \\ |\Delta I_{s\alpha}| &\geq \Delta I_{\pi 2}^*, \\ |\Delta I_{s\alpha}| &\leq \Delta I_{\pi 1}^* \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

Таблиця 1 – Состояния тиристоров и выходных параметров АИТ

Номер комбинации m^* включения тиристоров АИТ	Состояние тиристоров АИТ						Параметры обобщенного вектора выходного тока АИТ			
	+A	-A	+B	-B	+C	-C	$I_{\Sigma\alpha}$	$I_{\Sigma\beta}$	I_{Σ}	$\theta_{I_{\Sigma}}$
m_1	+					+	I_d	$I_d/\sqrt{3}$	$2I_d/\sqrt{3}$	$\pi/6$
m_2			+			+	0	$2I_d/\sqrt{3}$		$\pi/2$
m_3		+	+				$-I_d$	$I_d/\sqrt{3}$		$5\pi/6$
m_4		+			+		$-I_d$	$-I_d/\sqrt{3}$		$7\pi/6$
m_5				+	+		0	$-2I_d/\sqrt{3}$		$3\pi/2$
m_6	+			+			I_d	$-I_d/\sqrt{3}$		$11\pi/6$

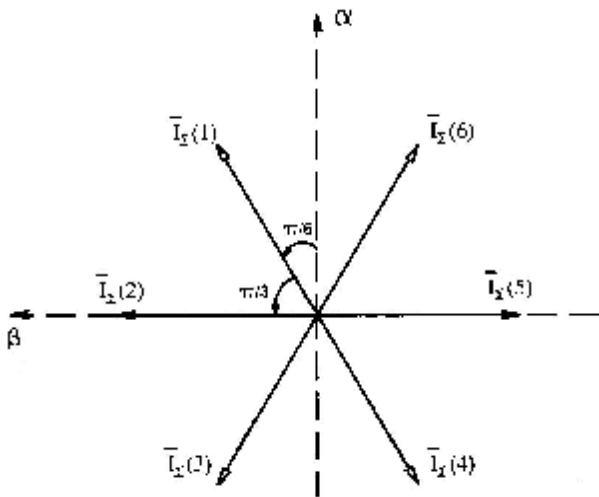


Рисунок 2 – Диаграмма обобщенных векторов тока на выходе АИТ

где ΔI_{n1}^* , ΔI_{n2}^* – заданные значения установленных токовых “коридоров” ($\Delta I_{n1}^* < \Delta I_{n2}^*$);

$G_{\alpha k} = 0$, ($k=1..6$), если не выполняется условие первого уравнения системы уравнений (1).

2. Алгоритм работы с компенсацией временной задержки, вносимой конденсаторами.

$G_{\alpha k} = 1$, ($k=1..6$), если выполняются условия системы уравнений (2):

$$\left. \begin{aligned} \text{sign}(\Delta F_{\alpha k}) &= -\text{sign}(\Delta I_{\alpha k}), \\ \Delta I_{s\alpha}(t_0) &> \Delta I_{s\alpha}(t_1), \\ \Delta I_{n1}^* &\leq |\Delta I_{s\alpha}| \leq \Delta I_{n2}^* \end{aligned} \right\}, \quad (2)$$

где t_0, t_1 – время отработки проекцией $|\Delta I_{s\alpha}|$ заданных значений ΔI_{n2}^* и $\Delta I_{n1}^*/10$ соответственно.

$G_{\alpha k} = 0$, ($k=1..6$), если не выполняется условие первого уравнения системы уравнений (2).

Выполнение условий последних двух неравенств системы уравнений (2) является определяющим при выборе алгоритма работы рассматриваемого блока ВКК: с компенсацией временной задержки, вносимой конденсаторами или без нее.

Вычислитель ВОК определяет наилучшую (оптимальную) комбинацию m^* открытых состояний тиристоров, при которой обеспечивается наиболее быстродействующая отработка проекций $I_{s\alpha}^*$, $I_{s\beta}^*$ статорных токов. Алгоритм работы данного блока следующий:

1. Если выполняются условия: $|\Delta I_{s\alpha}|, |\Delta I_{s\beta}| > \Delta I_{n1}^*$ или $|\Delta I_{s\alpha}|, |\Delta I_{s\beta}| < \Delta I_{n1}^*$, осуществляется сравнение соответствующих значений в массивах $G_{\alpha k}$, $G_{\beta k}$, из которых находится только по одному значению комбинации m^* включения тиристоров АИТ (соответствующему наибольшему значению модуля произведения прогнозирующих функций $|F_{\alpha k}^* * F_{\beta k}^*|$). При указанных условиях регулирование вектора статорного тока \bar{I}_s осуществляется по двум упомянутым проекциям $I_{s\alpha}$ и $I_{s\beta}$.

2. Если выполняются условия: $|\Delta I_{s\alpha}| > \Delta I_{n1}^*$, $|\Delta I_{s\beta}| < \Delta I_{n1}^*$ или $|\Delta I_{s\alpha}| < \Delta I_{n1}^*$, $|\Delta I_{s\beta}| > \Delta I_{n1}^*$, то соответственно из массива $G_{\alpha k}$ или массива $G_{\beta k}$ определяется только по одному значению, соответствующему комбинации m^* открытых тиристоров АИТ, для которой значение одной из прогнозирующих функции $F_{\alpha k}$ или $F_{\beta k}$ является наибольшей. Данные условия позволяют регулировать вектор статорного тока \bar{I}_s по одной из его проекций $I_{s\alpha}$ или $I_{s\beta}$.

В блоке управления переключениями (БУП) осуществляется сравнение значений отклонений $|\Delta I_{s\alpha}|, |\Delta I_{s\beta}|$ с заданным значением ΔI_{n1}^* . В зависи-

мости от выходного сигнала N_y данного блока в логическом переключающем устройстве ЛПУ происходит выбор способа регулирования: по одной проекции вектора статорного тока (соответствует выбору массива значений G_{1k}) или по двум проекциям (соответствует выбору массива значений G_{2k}).

Блок формирования импульсов преобразует входной сигнал m_k^* (номер комбинации открытых тиристоров АИТ) в последовательность импульсов, подаваемых на соответствующие тиристоры.

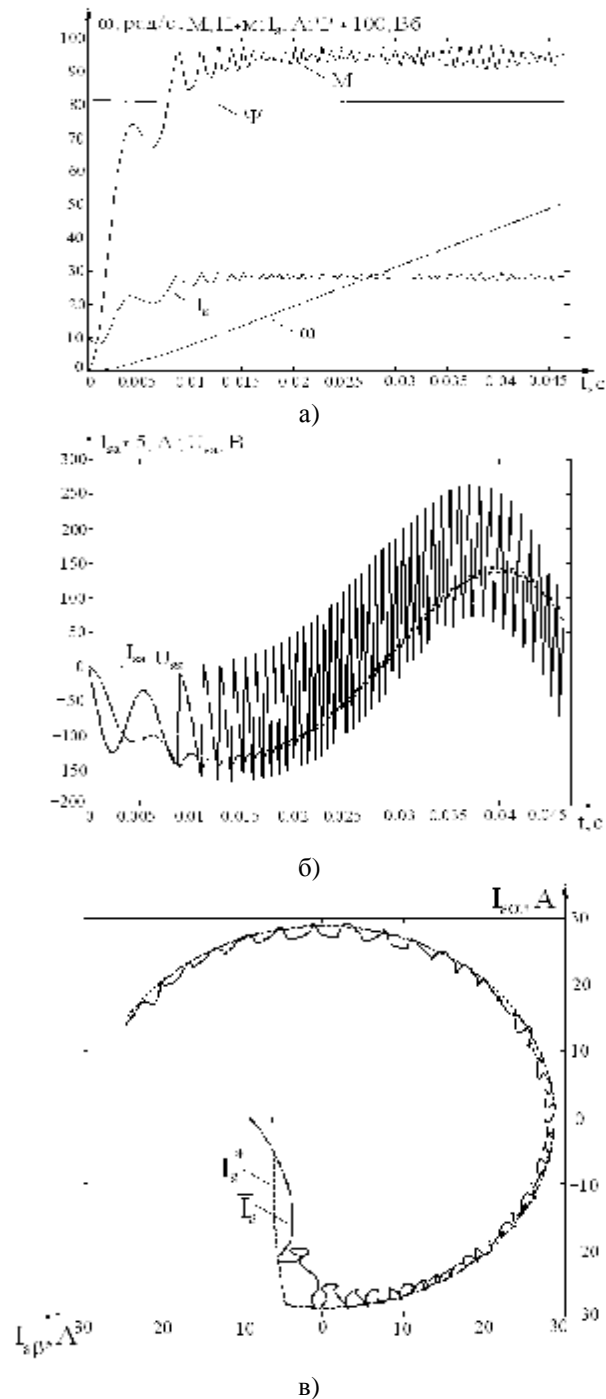


Рисунок 3 – Результаты моделирования асинхронного ЭП с АИТ

На рис. 3 показаны результаты моделирования на созданной имитационной модели асинхронного ЭП с АИТ [3], выполненного для процесса разгона асинхронного двигателя типа 4А132S6У3 мощностью 5.5кВт (до половины от его номинальной скорости), при ступенчатом задании активной составляющей статорного тока АД. На приведенных рисунках приняты следующие обозначения: ω и M – угловая скорость и электромагнитный момент АД соответственно; ψ – модуль обобщенного вектора потокацепления ротора; I_s – модуль обобщенного вектора статорного тока; U_{sa} и I_{sa} – фазные значения статорных напряжения и тока соответственно; \bar{I}_s^* и \bar{I}_s – соответственно заданное и фактическое значения обобщенного вектора статорного тока двигателя.

Выводы. 1. Подтверждена работоспособность и установлена эффективность предложенного релейного векторного регулирования статорного тока для асинхронного электропривода с АИТ, выполненного на запираемых тиристорах.

2. Время регулирования тока (при отработке двукратного от номинального значения) составляет менее 10мс, что соответствует фактическому быстрдействию существующих высокодинамичных современных электроприводов постоянного и переменного тока.

3. Достигнутое быстрдействующее векторное регулирование статорного тока является предпосылкой создания высококачественного асинхронного электропривода на основе АИТ с ШИМ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

1. Шрейнер Р. Т., Ефимов А. А., Мухаматшин И. А. Прогнозирующее релейно-векторное управление активными токовыми преобразователями частоты в системах электроснабжения и электропривода // Электроприводы переменного тока: Труды международной XIII научно-технической конф. — Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2005. – С. 137-140.

2. Шрейнер Р. Т., Ефимов А. А., Мухаматшин И. А. Релейное управление активными токовыми преобразователями частоты // Электротехника.-2005. – №9. – С. 47-53.

3. Волков А. В., Косенко И. А. Асинхронный электропривод с векторным управлением на основе автономного инвертора тока // Электротехника и электроэнергетика. – 2005. - №1.- С. 36-40.

Статья надійшла 26.04.2007 р.