

БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИЙ АСИНХРОННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД С АВТОНОМНЫМ ИНВЕРТОРОМ ТОКА И АКТИВНЫМ ВЫПРЯМИТЕЛЕМ ТОКА

В последние годы во всем мире уделяется большое внимание созданию частотно-регулируемых асинхронных электроприводов (АЭП) с новыми типами статических преобразователей частоты, в том числе – с автономным инвертором тока (АИТ). Такого вида АЭП в настоящее время промышленно выпускаются (на средние и большие мощности) фирмой Rockwell Automation и успешно конкурируют с наиболее массово выпускаемым АЭП на основе АИН-ШИМ. К наиболее важным отличительным особенностям АЭП с АИТ (по сравнению с АИН-ШИМ) относится близкая к синусоидальной форма статорных токов двигателя, что на практике продлевает межремонтные сроки эксплуатации асинхронных двигателей. Однако существующие АЭП с АИТ по своему быстродействию пока заметно уступают АЭП с АИН-ШИМ, что, в свою очередь, сдерживает широкое практическое внедрение рассматриваемых электроприводов.

Несмотря на то, что исследованию электромеханических процессов в АЭП с АИТ и управлению указанным электроприводом посвящено достаточно много работ [1-3], до настоящего времени испытывается острый недостаток исследований в части повышения быстродействия АЭП с АИТ и оценки достигаемого при этом качества регулирования параметров электропривода и его электромагнитной совместимости с питающей сетью.

Целью статьи является повышение быстродействия регулирования АЭП с АИТ путем совершенствования управления активным выпрямителем тока (АВТ), питающим АИТ, и за счет уменьшения индуктивности сглаживающего дросселя, а также – исследование достигаемого при этом качества регулирования параметров электропривода и его электромагнитной совместимости (ЭМС) с питающей сетью.

Функциональная схема АЭП с АИТ и АВТ, показана на рис. 1.

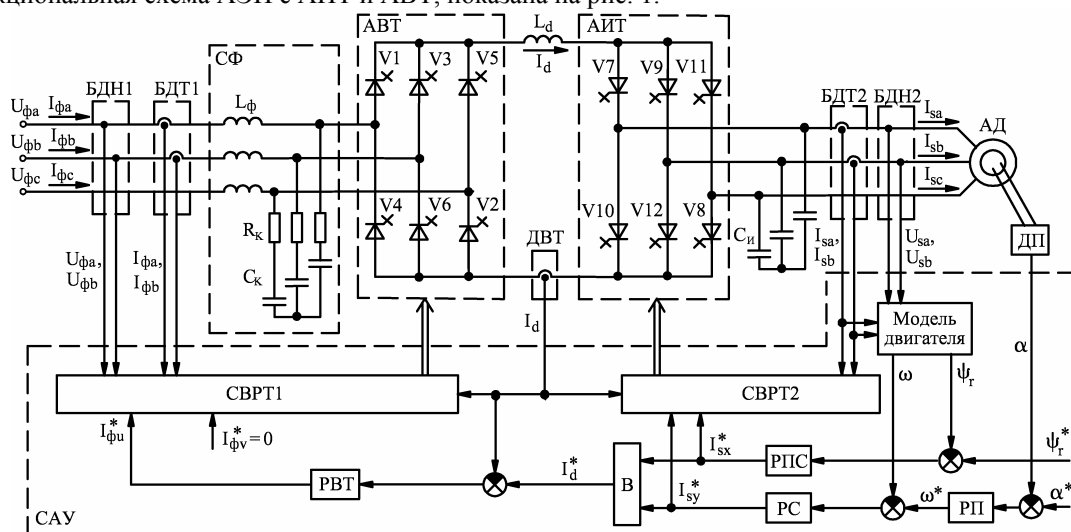


Рис.1. Функциональная схема АЭП с АИТ и АВТ

Схема содержит в своем составе: сетевой фильтр СФ; активный выпрямитель тока АВТ; сглаживающий дроссель L_d ; автономный инвертор тока АИТ; сглаживающие конденсаторы $C_{и}$; асинхронный двигатель АД; блоки датчиков напряжения БДН1, БДН2 и тока БДТ1, БДТ2; датчики положения ДП и выпрямленного тока ДВТ; системы векторного регулирования тока СВРТ1 и СВРТ2; вычислитель В задания выпрямленного тока; регуляторы выпрямленного тока РВТ, потокоцепления РПС, скорости РС и положения РП. Система автоматического управления (САУ) выполнена в соответствии с принципами подчиненного регулирования: двухконтурной (при регулировании скорости) или трехконтурной (при регулировании положения). Во внутренних контурах (состоящих из СВРТ1 и СВРТ2) реализовано предложенное авторами усовершенствованное прогнозирующее релейно-векторное управление АВТ и АИТ, подробно рассмотренное в [4, 5]. Для регулятора скорости применялась настройка: на симметричный оптимум – при регулировании скорости или на модульный оптимум – при регулировании положения; регулятору положения соответствовала настройка в позиционном электроприводе: на критическое демпфирование – при малых перемещениях или параболическая передаточная функция – при средних и больших перемещениях, а в следящем электроприводе – настройка на симметричный оптимум.

Для исследования электромеханических и электромагнитных процессов рассматриваемого электропривода создана цифровая имитационная модель АЭП с АИТ и АВТ, использующая предложенное прогнозирующее ре-

лейно-векторное управление, посредством которой рассчитаны (для двигателя 4A132S-6УЗ мощностью 5,5 кВт) при изменении сглаживающего дросселя L_d исследуемые процессы в различных рабочих режимах электропривода: при разгоне до номинальной скорости, набросе положительного и отрицательного номинального момента нагрузки, реверсе и торможении до полной остановки (рис. 2); при отработке ступенчатого задания двукратного статорного тока (рис. 3); в стационарном номинальном режиме (рис. 4); при отработке положения: в позиционном электроприводе при больших перемещениях (рис. 5,а) или в следящем электроприводе при линейно-нарастающем сигнале задания (рис. 5,б) с последующим набросом номинального момента нагрузки (при $t = 0,13$ с); при ударном приложении и сбросе номинального момента нагрузки при скорости $\omega = 0,01\omega_H$ (рис. 6).

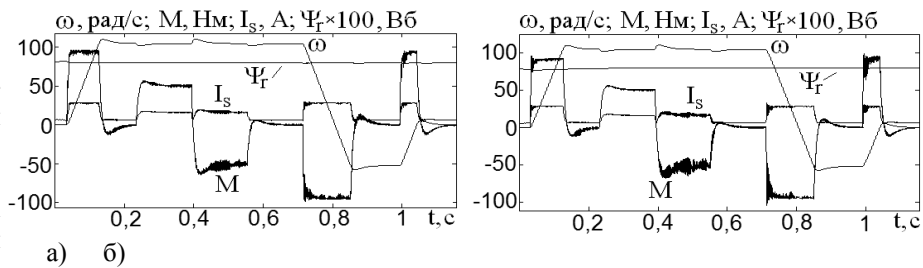


Рис. 2. Электромеханические переходные процессы АЭП с АИТ:
а – при $L_d = 0,15$ Гн; б – при $L_d = 0,03$ Гн

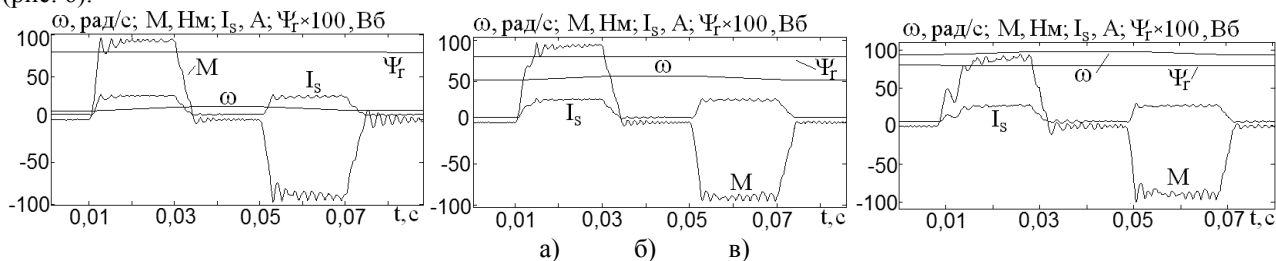


Рис. 3. Переходные процессы отработки двукратного задания на активную составляющую I_{sy} статорного тока:
а – $\omega = 0,1\omega_H$; б – $\omega = 0,5\omega_H$; в – $\omega = 0,9\omega_H$

Из рассчитанных электромагнитных процессов вычислены: время нарастания t_n (достижения заданного значения) статорного тока, сетевой коэффициент мощности K_m , общие коэффициенты гармоник тока на входе электропривода (THD_1) и на двигателе (THD_2), частоты f_{ABT} и f_{AIT} переключения силовых ключей АВТ и АИТ соответственно, – которые приведены в табл.1 – табл.3. При варьировании частоты f гармонически изменяющегося сигнала задания скорости (с амплитудой ω_m^*) определена на имитационной модели АЭП с АИТ и АВТ полоса пропускания по скорости для данного электропривода при уменьшенном значении (равном 0,03 Гн) индуктивности дросселя L_d , что иллюстрируется графиком на рис. 7 (1 – для нулевой, 2 – для равной 0,8 от номинальной скорости двигателя; ω_m – фактическая амплитуда колебания скорости).

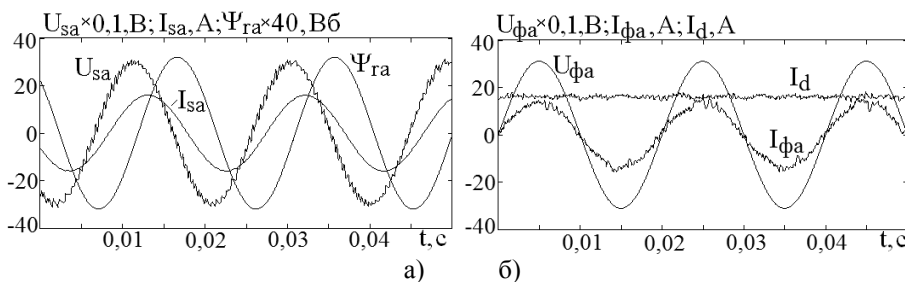


Рис. 4. Стационарные электромагнитные процессы АЭП с АИТ при номинальных скорости и моменте двигателя

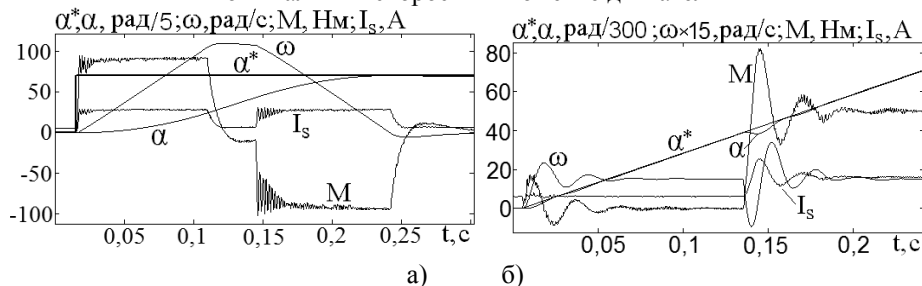


Рис. 5. Переходные электромеханические процессы регулирования положения при отработке:

а – больших перемещений; б – линейно-нарастающего сигнала задания $\omega \times 30$, рад/с; М, Нм; I_s , А; $\Psi_r \times 30$, Вб

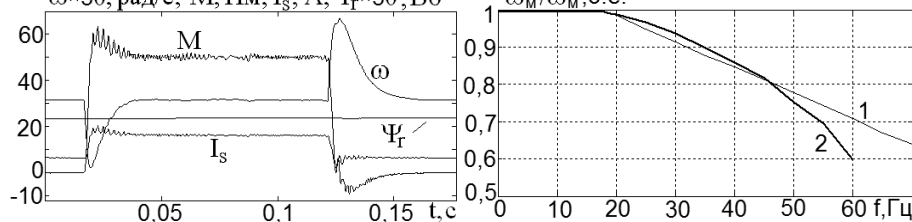


Рис. 6. Приложение ударного номинального момента нагрузки (при скорости $\omega = 0,01\omega_H$)

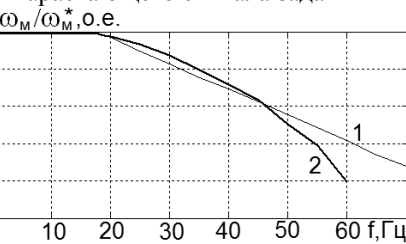


Рис. 7. Полоса пропускания:
1 – при $\omega = 0$; 2 – при $\omega = 0,8\omega_H$

На рисунках и в таблицах приняты следующие обозначения: M, ω – электромагнитный момент и угловая скорость АД; I_s, Ψ_r – соответственно модули обобщенных векторов статорного тока и потокосцепления ротора двигателя; $U_{фа}, I_{фа}$ – фазные значения сетевых напряжения и тока соответственно; U_{sa}, I_{sa} и $\Psi_{га}$ – фазные значения статорных напряжения и тока, потокосцепления ротора АД соответственно; I_d – выходной ток АВТ; α^*, α – заданное и фактическое значения угла поворота вала двигателя; M_H, ω_H – номинальные значения электромагнитного момента и угловой скорости АД; M_c – момент сопротивления АД.

Табл. 1. Показатели ЭМС при $L_d=0,15Гн$

ω , рад/с	M_c , Нм	THD ₁ , %	THD ₂ , %	K_M , о.е.	f_{ABT} , Гц	$f_{AИТ}$, Гц
$\omega = \omega_H$	$M_c = 0,5M_H$	6,59	1,56	0,995	3530	1350
	$M_c = M_H$	6,07	2,08	0,997	3250	1100
	$M_c = -M_H$	6,4	4,72	-0,994	4500	790
$\omega = 0,5\omega_H$	$M_c = 0,5M_H$	5,5	1,67	0,99	4400	1060
	$M_c = M_H$	4,38	1,8	0,996	4500	980
	$M_c = -M_H$	14,83	3,54	-0,945	5080	800
$\omega = 0,1\omega_H$	$M_c = 0,5M_H$	11,44	1,18	0,955	4800	960
	$M_c = M_H$	8,03	1,48	0,979	5060	900
	$M_c = -M_H$	16,3	1,22	0,916	5100	950

Табл. 2. Показатели ЭМС при $L_d=0,03Гн$

ω , рад/с	M_c , Нм	THD ₁ , %	THD ₂ , %	K_M , о.е.	f_{ABT} , Гц	$f_{AИТ}$, Гц
$\omega = \omega_H$	$M_c = 0,5M_H$	11,5	0,47	0,988	3320	1800
	$M_c = M_H$	11,1	0,65	0,993	3040	1650
	$M_c = -M_H$	94	9,88	-0,735	4340	570
$\omega = 0,5\omega_H$	$M_c = 0,5M_H$	8,49	0,66	0,987	4240	1380
	$M_c = M_H$	5,86	1,11	0,994	4370	1350
	$M_c = -M_H$	54,66	9,59	-0,839	5060	570
$\omega = 0,1\omega_H$	$M_c = 0,5M_H$	15,4	0,82	0,946	4640	1210
	$M_c = M_H$	9,29	0,75	0,977	4950	1210
	$M_c = -M_H$	18,86	0,92	0,908	5060	1060

Выводы.1. Предложенное авторами управление для АЭП с АИТ и АВТ позволяет при уменьшении (до пяти раз) индуктивности сглаживающего дросселя сохранить работоспособность электропривода и поддержать нормированное высокое качество регулирования его электромеханических процессов.

2. При предложенном управлении с уменьшением (в 5 раз) упомянутой индуктивности сглаживающего дросселя достигается:

- сокращение времени нарастания (при отработке двукратного значения) статорного тока – в 4 раза;

- увеличивается с 32 Гц до 60 Гц полоса пропускания по скорости электропривода;

- обеспечивается быстродействующая отработка положения в позиционном и следящем электроприводах (с нормированным характером переходных процессов, соответствующих системам подчиненного регулирования);

- поддержание относительно высоких значений показателей ЭМС электропривода с питающей сетью (в номинальном режиме работы: сетевого коэффициента мощности – выше 0,993, THD₁ – менее 11,1%, THD₂ – менее 0,65%).

3. С уменьшением индуктивности сглаживающего дросселя ухудшаются значения показателей электромагнитной совместимости (THD₁ и K_M) АЭП.

4. Полученное качество электромеханических процессов и ЭМС с питающей сетью свидетельствует о возможности применения АЭП с АИТ и АВТ не только в общепромышленном электроприводе, но и – в позиционном и следящих электроприводах.

Табл. 3. Время нарастания при отработке двукратного тока

ω , рад/с	t_n , мс	
Знак I_{sy}^*	+	-
$\omega = 0,1\omega_H$	2,5	2,5
$\omega = 0,5\omega_H$	5	2,5
$\omega = 0,9\omega_H$	9	2

ЛИТЕРАТУРА

1. Rodríguez J. R. PWM regenerative rectifiers: state of the art// J. R. Rodríguez, J. W. Dixon, J. R. Espinoza, J. Pontt, P. Lezana // IEEE Trans. IE. – 2005. – Vol. 52. – №1. – P.5-21.

2. Leonhard W. Control of electrical drives / W. Leonhard. – Springer Verlag, 1996. – 420p.

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

4. Пат. 30471 Украина, МПК6, Н 02 Р 7/00, Н 02 Р 21/00. Спосіб векторного регулювання струму в асинхронному електроприводі з трифазним автономним інвертором струму на тиристорах, що замикаються [Текст] / Волков А.В., Косенко И. А.; заявитель и патентообладатель Запорожский национальный технический университет. – № u200712888; заявл. 15.11.2007; опубл. 25.02.2008, Бюл. №4. – 18 с.: ил.

5. Пат. 45720 Украина, МПК 2009, Н 02 Р 7/00, Н 02 Р 21/00. Спосіб керування трифазним активним випрямлячем струму [Текст] / Волков А.В., Косенко И. А.; заявитель и патентообладатель Запорожская государственная инженерная академия. – № u200905117; заявл. 25.05.2009; опубл. 25.11.2009, Бюл. №22. – 18 с.: ил.