

УДК 621.313

**АСИНХРОННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД С АВТОНОМНЫМ ИНВЕРТОРОМ ТОКА
И УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫМ УПРАВЛЕНИЕМ**

И. А. КОСЕНКО

Запорожский национальный технический университет

Досліджено електромеханічні процеси, енергетичні показники та смуга пропускання для асинхронного електропривода з автономним інвертором струму

В настоящее время повышенный интерес вызывают асинхронные электроприводы (АЭП), выполненные на основе автономного инвертора тока (АИТ) с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ) [1,2,3]. Это связано с существенными достоинствами данного типа АЭП, основными из которых являются [2]: во-первых, – техническая простота реализации режима рекуперации энергии в питающую сеть; во-вторых, – формирование статорных напряжений с малой амплитудой перепада и уменьшенной крутизной фронтов (по сравнению с широко распространенными АЭП на основе автономного инвертора напряжения с ШИМ).

Объекты и методы исследования

Известно большое количество публикаций посвященных разработке и исследованию систем автоматического управления АЭП с АИТ-ШИМ, наиболее перспективными из которых являются системы прогнозирующего управления [1]. В частности, в работе [3] предложен способ прогнозирующего релейно-векторного управления (ПРВУ) обобщенным вектором статорного тока, однако построенная на его основе система управления характеризуется низкой полосой пропускания по скорости. В работах [1,3] предложены способы ПРВУ обобщенным вектором статорного напряжения, общим недостатком которых является сложность определения прогнозирующего функционала. При этом во всех известных работах недостаточно исследованными остаются энергетические показатели и электромагнитные процессы в АЭП с АИТ-ШИМ.

Постановка задания

Целью статьи является исследование электромеханических процессов, энергетических показателей и полосы пропускания по скорости для АЭП с АИТ-ШИМ, достигнутых при совершенствовании автоматического прогнозирующего управления.

Результаты и их обсуждение

Функциональная схема АЭП с АИТ-ШИМ, показанная на рис.1 содержит: токоограничивающие реакторы L_1-L_3 ; управляемый выпрямитель УВ, выполненный в виде трехфазной мостовой схемы на однооперационных тиристорах V_1-V_6 ; сглаживающий реактор L_d ; автономный инвертор тока АИТ, выполненный в виде трехфазной мостовой схемы на запираемых тиристорах V_7-V_{12} ; конденсаторы C_1-C_3 ; асинхронный двигатель АД; систему импульсно-фазового управления СИФУ; датчик выпрямленного тока ДВТ; регулятор выпрямленного тока РВТ; блоки датчиков тока БДТ и напряжения БДН.

В системе ПРВУ [2] прогнозирование направления изменения обобщенного вектора приращения

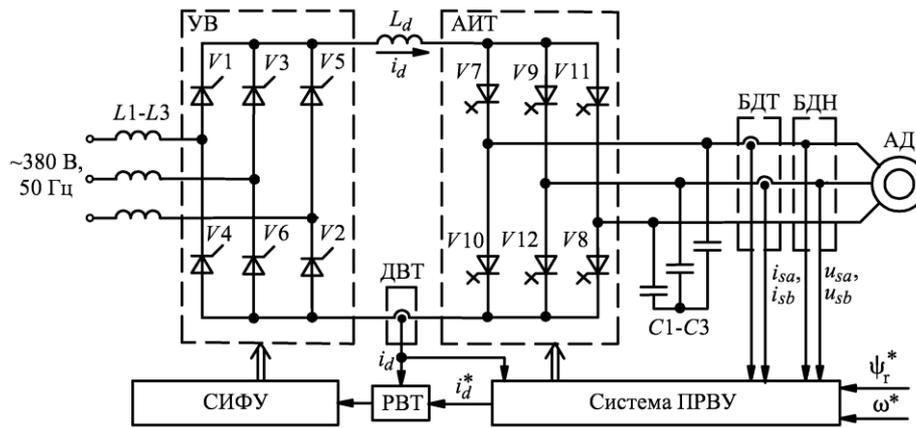


Рис.1. Функциональная схема АЭП с АИТ-ШИМ.

$\Delta \bar{U}_s$ статорного напряжения возможно осуществлять по следующей зависимости:

$$\bar{U}_\Sigma = K_1 \bar{I} \langle \rangle + K_2 \bar{I}_s \langle \rangle, \quad (1)$$

где $\bar{I} \langle \rangle$ и $\bar{I}_s \langle \rangle$ – обобщенные векторы соответственно выходного тока инвертора и статорного тока двигателя в момент времени начала текущего межкоммутационного интервала (МИ); K_1 и K_2 – весовые коэффициенты, определяемые из зависимостей [2]:

$$\begin{aligned} K_1 &= \left[\frac{-j2T_\sigma \omega_0 \cdot \langle \rangle^{-t} \langle \rangle^{2T_\sigma + j\omega_0} \langle \rangle^{-1} \langle \rangle + j2T_\sigma \omega_0 \cdot \langle \rangle^{-t} \langle \rangle^{2T_\sigma - j\omega_0} \langle \rangle^{-1} \langle \rangle}{2C\omega_0(4T_\sigma^2 \omega_0^2 + 1)} \right], \\ K_2 &= \left[\frac{-t \langle \rangle^{2T_\sigma + j\omega_0} \langle \rangle - e^{-t} \langle \rangle^{2T_\sigma - j\omega_0} \langle \rangle}{j2C\omega_0} \right]. \end{aligned} \quad (2)$$

В зависимостях (2): ω_0 и T_σ – соответственно собственная (резонансная) частота колебаний и электромагнитная постоянная времени рассеяния двигателя; t – продолжительность МИ; $j = \sqrt{-1}$ – мнимая единица. На рис.2,а приведены графики изменения во времени весовых коэффициентов K_1 и K_2 , имеющие вид затухающих синусоид. Поскольку для прогнозирования направления изменения обобщенного вектора приращения статорного напряжения ΔU_s достаточно лишь информации об аргументе θ_Σ обобщенного вектора суммарного напряжения \bar{U}_Σ , то, как следует из выражения:

$$\bar{U}_\Sigma = K_2 \left(\frac{K_1}{K_2} \bar{I} \langle \rangle + \bar{I}_s \langle \rangle \right), \quad (3)$$

важным является оценка отношения рассматриваемых весовых коэффициентов K_1 и K_2 . Изменение данного отношения во времени показано на рис.2,б. Следует отметить, что с учетом результатов исследований в [3] максимальное время t продолжительности МИ инвертора при ПРВУ для АЭП с АИТ ШИМ не превышает 2000 мкс). Исходя из малого изменения модуля отношения весовых коэффициентов K_1/K_2 , предложено осуществлять прогнозирование направления изменения приращения обобщенного вектора статорного напряжения $\Delta \bar{U}_s$ по суммарному вектору тока, вычисляемому в виде:

$$\bar{I}_\Sigma = \bar{I} - \bar{I}_s, \quad (4)$$

Из рис.2,б, следует, что при увеличении продолжительности МИ увеличивается модуль отношения весовых коэффициентов K_1/K_2 , влияние которого на точность прогнозирования предложено оценить по

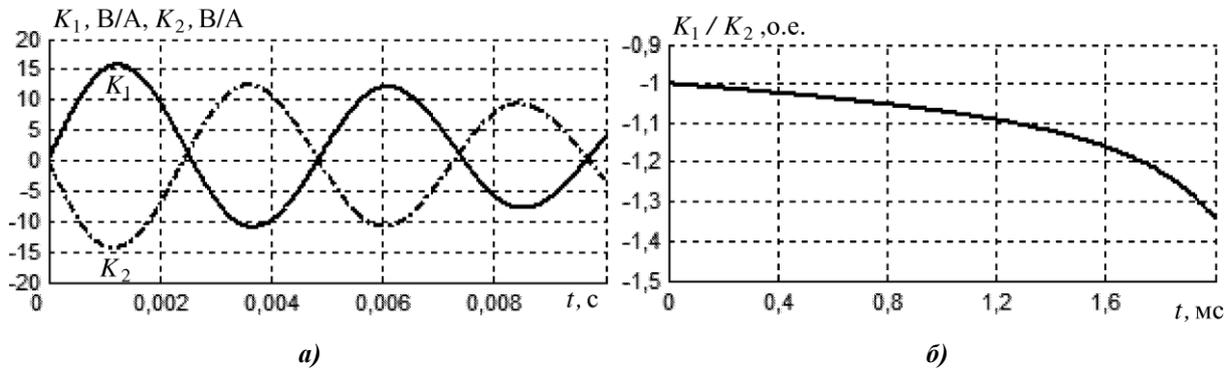


Рис.2. Графики изменения весовых коэффициентов и их отношения в зависимости от продолжительности МИ.

значению погрешности $\Delta\theta$, вычисляемой согласно выражению:

$$\Delta\theta = |\theta_{U\Sigma} - \theta_{I\Sigma}|, \quad (5)$$

где $\theta_{U\Sigma}$ и $\theta_{I\Sigma}$ – аргументы обобщенных векторов напряжения \bar{U}_Σ и тока \bar{I}_Σ соответственно.

На рис.3,а,б представлены рассчитанные на имитационной модели АЭП с АИТ-ШИМ графики, соответствующие стационарному режиму работы АЭП (при трех значениях момента сопротивления M_c). Из анализа этих графиков следует, что при продолжительности МИ, равной 2000мкс, максимальная погрешность $\Delta\theta$ составит примерно 20 эл.град при номинальном значении момента нагрузки, что соответствует значению отношения весовых коэффициентов, равному -1,35.

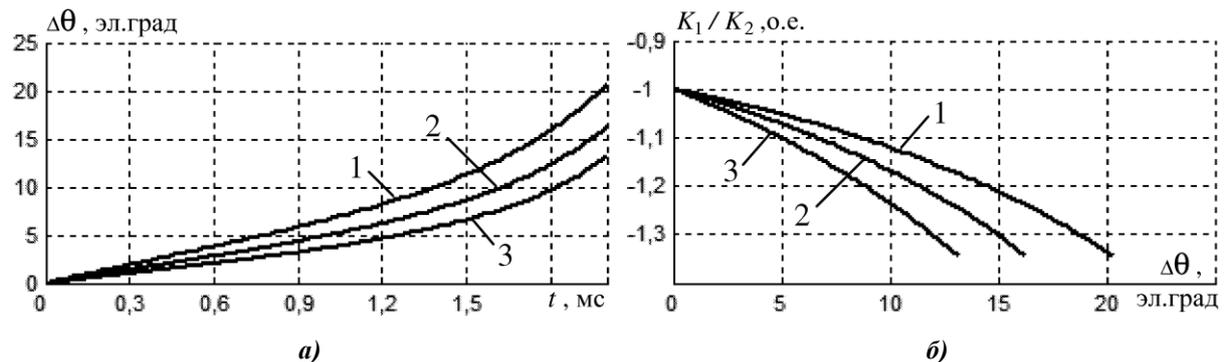


Рис.3. Графики оценки значений погрешности $\Delta\theta$ при различных значениях момента сопротивления (1 – при $M_c = M_H$; 2 – при $M_c = -M_H$; 3 – при $M_c = 0$).

На основе предложенного способа прогнозирования разработано ПРВУ асинхронным электроприводом с АИТ-ШИМ и создана его имитационная модель с предложенным управлением со следующими параметрами силовой цепи: $C1 = C2 = C3 = 50 \mu\text{кФ}$; $L1 = L2 = L3 = 1 \text{ мГн}$; $L_d = 0,15 \text{ Гн}$;

двигатель типа 4A132S6У3 мощностью 5,5 кВт. Как показали результаты моделирования, переходные и стационарные электромагнитные процессы, полученные для вариантов прогнозирования направления изменения вектора приращения статорного напряжения по зависимостям (1) и (4), совпадают между собой с отклонением менее 1%. На рис.4, рис.5 и в табл.1 представлены результаты расчетов (на созданной имитационной модели АЭП с АИТ-ШИМ) электромагнитных процессов и энергетических

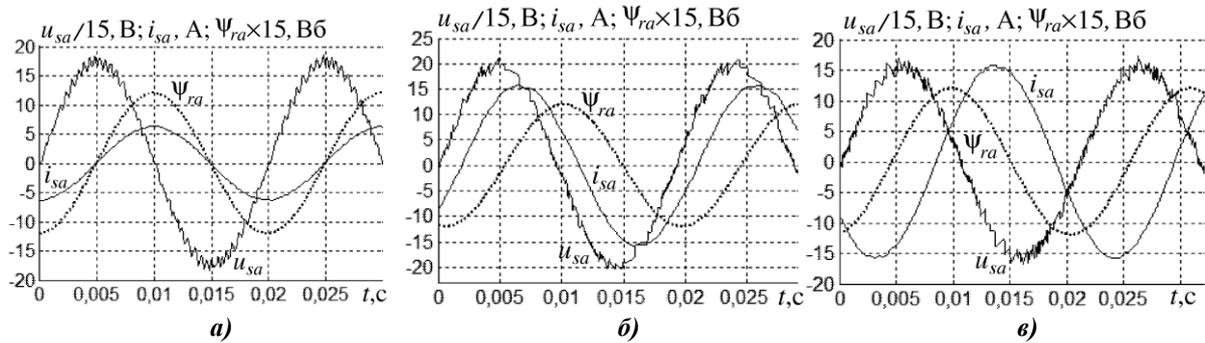


Рис. 4. Стационарные электромагнитные процессы АЭП с АИТ-ШИМ:

a – для $M_c=0$; *б* – для $M_c=M_n$; *в* – для $M_c=-M_n$.

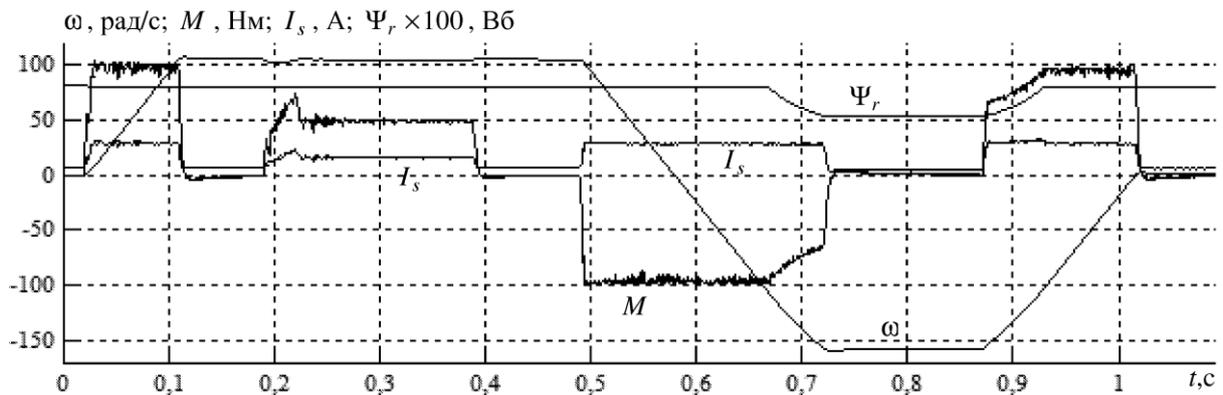


Рис.5. Переходные электромагнитные и электромеханические процессы АЭП с АИТ-ШИМ.

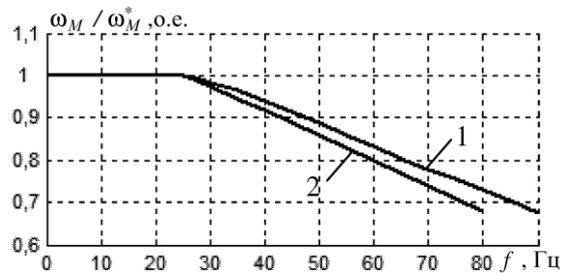


Рис. 6. Полоса пропускания по скорости: 1 – для $\omega = 0$; 2 – для $\omega = 0,9\omega_n$

параметров. При этом на рис. 5. показаны следующие процессы: разгон АД до номинальной скорости, наброс и сброс номинального момента нагрузки, реверс до полуторократного от номинального значения скорости (с ослаблением поля) и останов. При варьировании частоты f гармонически изменяющегося сигнала задания скорости (с амплитудой ω_M^*) определена и показана на рис.6 полоса пропускания по скорости для рассматриваемого АЭП. На рис. 4 – рис. 6 и в табл. 1 приняты следующие обозначения:

u_{sa}, i_{sa} – фазные статорные напряжение и ток АД соответственно;

ψ_{ra} – фазное потокосцепление ротора; ω ,

M – скорость АД и его электромагнитный момент;

I_s, Ψ_r – модули обобщенных векторов соответственно статорного тока и потокосцепления ротора двигателя;

$K_{Г1}, K_{Г2}$ и $K_{Г3}$ – коэффициенты гармоник сетевого тока и статорных тока и напряжения соответственно;

K_M и $K_{П}$ – сетевой коэффициент мощности и коэффициент пульсаций выпрямленного тока;

$f_{АИТ}$ – частота коммутации силовых ключей АИТ.

Таблица 1. Энергетические показатели АЭП с АИТ-ШИМ

ω , рад/с	M_c , Нм	$K_{Г1}$, %	$K_{Г2}$, %	$K_{Г3}$, %	K_M , о.е.	$f_{АИТ}$, Гц	$K_{П}$, о. е.
$\omega = \omega_n$	$M_c = 0,5M_n$	35,33	1,85	4,04	0,592	1660	0,1035
	$M_c = M_n$	32,11	1,96	4,13	0,7417	1890	0,0516
	$M_c = -M_n$	33,1	1,04	5,32	-0,4772	2350	0,0509
$\omega = 0,5\omega_n$	$M_c = 0,5M_n$	37,45	2,64	7,34	0,3238	1570	0,1014
	$M_c = M_n$	35,1	2,98	8,73	0,411	1840	0,071
	$M_c = -M_n$	33,88	2,28	13,71	-0,1878	1930	0,064
$\omega = 0,1\omega_n$	$M_c = 0,5M_n$	37,54	4,15	26,36	0,1201	1540	0,1226
	$M_c = M_n$	33,63	3,24	24,54	0,1655	1760	0,0746
	$M_c = -M_n$	35,15	3,00	106	0,0492	1770	0,0718

Выводы.

1. Полученное качество стационарных и переходных электромагнитных процессов, достигнутая полоса пропускания по скорости (равная 75 Гц) позволяют применять АЭП с АИТ-ШИМ с предложенным управлением в общепромышленных электроприводах широкого назначения. При этом коэффициент гармоник статорного тока двигателя не превышает 4,2 % при частоте ключей инвертора, не превышающей 2,4 кГц.

2. Существующие недостатки АЭП с АИТ-ШИМ, заключающиеся в невысоком значении сетевого коэффициента мощности (ниже 0,75) и увеличенном значении коэффициента гармоник сетевого тока (более 32 %) устраняются установкой фильтро-компенсирующего устройства или использованием активного (вместо управляемого) выпрямителя [1].

ЛИТЕРАТУРА

1. Шрейнер Р. Т. Прогнозирующее релейно-векторное управление активными токовыми преобразователями частоты в системах электроснабжения и электропривода / Р. Т. Шрейнер, А. А. Ефимов, И. А. Мухаматшин // Электроприводы переменного тока: Труды международной XIII научно-технической конф. — Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2005. — С.137–140.
2. Волков, А. В. Анализ электромагнитных процессов асинхронного двигателя при питании от автономного инвертора тока с широтно-импульсной модуляцией / А. В. Волков, И. А. Косенко // Техн. електродинаміка. – 2009. – № 1. – С. 12 – 19.
3. Волков, А. В. Асинхронный электропривод на основе автономного инвертора тока на запираемых тиристорах с прогнозирующим релейно-векторным регулированием статорного тока / А. В. Волков, И. А. Косенко // Электротехника. – 2008. – №10. – С.6–17.