

УДК 621.313

## КОМПЕНСАЦИЯ МОЩНОСТИ ИСКАЖЕНИЙ И РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ ТИРИСТОРНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОСРЕДСТВОМ АКТИВНОГО ФИЛЬТРА

*Волков А.В., д.т.н., проф., Бондаренко В.И., к.т.н., доц., Волков В.А., асп.*

*Запорожский национальный технический университет*

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

*E-mail: [nickanto@zntu.edu.ua](mailto:nickanto@zntu.edu.ua)*

Досліджені режими компенсації потужності викривляння та реактивної потужності для тиристорного електропривода постійного струму за допомогою активного фільтра.

**Ключові слова:** активний фільтр, тиристорний перетворювач, компенсація.

Behaviors of power distortion and reactive power compensation for thyristor electric drive of direct current by means of active filter were researched.

**Key words:** active filter, thyristor converter, compensation.

**Введение.** В условиях происходящего во всем мире удорожания электроэнергии стремительно развиваются средства ее энергосбережения. Одним из таких эффективных средств, безусловно, является активный фильтр (АФ) [1]. Применение АФ позволяет осуществить: рекуперацию (возврат) энергии в трехфазную питающую сеть, быстродействующую и точную компенсацию потребляемых из сети мощности искажений и реактивной мощности, симметрирование сетевых фазных токов и приближение их формы к синусоидальной, уменьшение потерь электроэнергии в сетях электроснабжения промышленных предприятий и улучшение качества сетевого напряжения. Опыт применения АФ в различных отраслях хозяйства, совершенствование автоматического управления ими и исследование эффективности компенсации посредством АФ мощности искажений и реактивной мощности различных электропотребителей представляют большой практический интерес.

**Анализ предыдущих исследований.** Несмотря на уделяемое в последние годы повышенное внимание в отечественной и зарубежной научно-технической литературе активным фильтрам [1-6], все известные публикации в данном направлении посвящены, как правило, автоматическому управлению АФ или исследованию эффективности компенсации посредством АФ мощности искажений и реактивной мощности применительно лишь к линейным и нелинейным пассивным (не содержащим электрических машин) нагрузкам. В то же время вопросы автоматического управления АФ и исследования эффективности компенсации посредством АФ мощности искажений и реактивной мощности применительно к активным нагрузкам, например, тиристорным электроприводам постоянного или переменного тока, остаются мало исследованными, но являются востребованными практикой и очень актуальными.

**Цель работы** – исследование эффективности

компенсации мощности искажений и реактивной мощности тиристорного преобразователя постоянного тока и электропривода на его основе посредством АФ, выполненного с прогнозирующим релейно-векторным управлением.

**Материал и результаты исследования.** Общая функциональная схема исследуемого электротехнического комплекса показана на рис.1 и содержит: АФ; трехфазный неререверсивный тиристорный преобразователь (ТП) постоянного тока; реверсивный тиристорный преобразователь (РТП) постоянного тока с отдельным управлением; электродвигатель постоянного тока (с якорем М и обмоткой ОВ независимого возбуждения); систему автоматического управления электроприводом (САУ ЭП); систему автоматического управления активным фильтром (САУ АФ); датчики тока (ДТ1 – ДТ3); датчики напряжения (ДН1 и ДН2); датчик скорости (ДС) двигателя; автоматические выключатели Q<sub>1</sub> и Q<sub>2</sub>.

При этом активный фильтр АФ выполнен в виде: фильтровых реакторов L<sub>8</sub> – L<sub>10</sub> и конденсатора С, трехфазной мостовой схемы активного выпрямителя (АВ) на IGBT-транзисторах V<sub>19</sub> – V<sub>24</sub>, шунтированных обратными диодами; выход фильтра подключен к активной нагрузке R<sub>2</sub>. Неререверсивный преобразователь ТП состоит из токоограничивающих реакторов L<sub>4</sub> – L<sub>6</sub>, тиристоров V<sub>1</sub> – V<sub>6</sub>, соединенных в трехфазную мостовую схему и подключен выходом через сглаживающий реактор L<sub>7</sub> к активной нагрузке R<sub>1</sub>. Реверсивный преобразователь РТП с отдельным управлением выполнен в виде двух встречно-параллельно соединенных мостовых схем управляемых выпрямителей, состоящих из тиристоров V<sub>7</sub> – V<sub>18</sub>, токоограничивающих L<sub>1</sub> – L<sub>3</sub> и сглаживающего L<sub>11</sub> реакторов.

САУ ЭП реализована в виде двухконтурной САУ скорости с подчиненным регулированием: с внут-

ренним контуром регулирования якорного тока, внешним контуром – регулирования скорости двигателя, настроенными на модульный оптимум.

САУ АФ выполнена с прогнозирующим релейно-векторным управлением (схема и описание работы подробно рассмотрены в [2]). В схеме на рис. 1 используются дополнительные обозначения:  $U_A, U_B, U_C$  и  $I_{\Sigma A}, I_{\Sigma B}, I_{\Sigma C}$  – фазные сетевые напряжения и токи соответственно;  $I_A, I_B, I_C$  – входные фазные токи АФ;  $I_{1A}, I_{1B}, I_{1C}$  и  $I_{2A}, I_{2B}, I_{2C}$  –

входные фазные токи нереверсивного и реверсивного тиристорного преобразователей соответственно;  $I_d$  и  $I_H$  – выходной ток тиристорного преобразователя и ток нагрузки АФ соответственно;  $U_H^*$  и  $U_H$  – заданное и фактическое значения выходного напряжения АФ;  $\omega^*$  и  $\omega$  – заданное и фактическое значения скорости двигателя;  $I_{\Sigma y}^*$  – заданное значение реактивной составляющей обобщенного вектора сетевого тока.

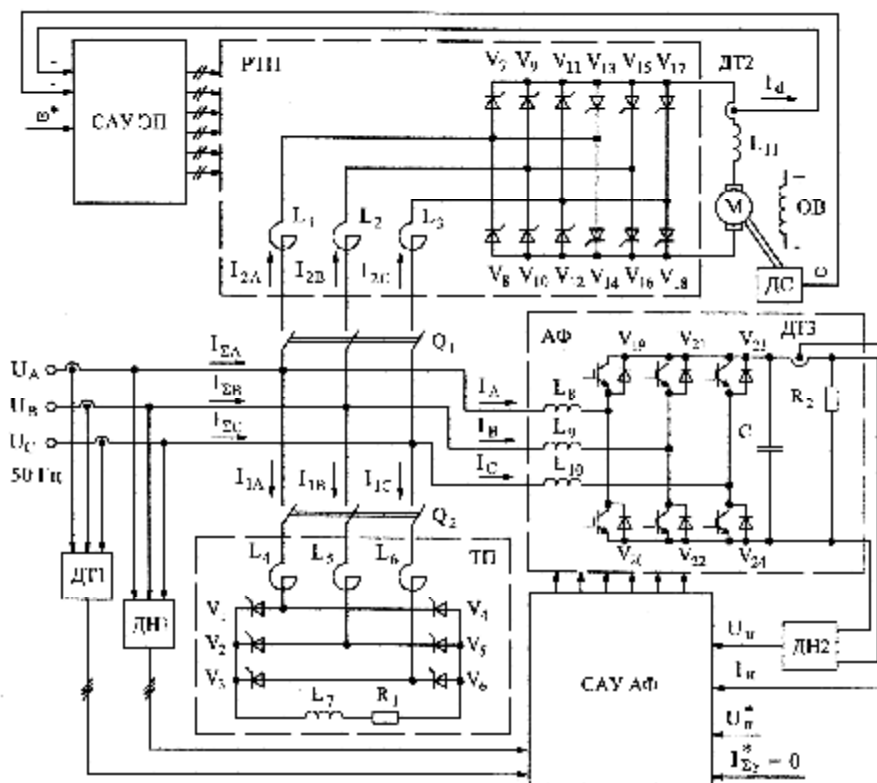


Рисунок 1 – Исследуемая схема электротехнического комплекса

На **первом этапе** проведено исследование (при замкнутом выключателе  $Q_2$ , рис. 1) электромагнитных процессов в исследуемом электротехническом комплексе при скачкообразном изменении угла управления  $\alpha$  нереверсивного ТП: от нуля до 45 эл. град. или от 30 до 60 эл. град. Соответствующие данным режимам временные диаграммы электромагнитных процессов показаны на рис. 2. Расчеты проводились для параметров электротехнического комплекса, приведенных в табл. 1.

На **втором этапе** выполнено исследование (при

замкнутом выключателе  $Q_1$ , рис. 1) электромагнитных процессов в рассматриваемом электротехническом комплексе при следующих режимах работы тиристорного электропривода постоянного тока: разгона до 0,8 от номинальной скорости, наброса и сброса номинальной нагрузки, торможения до пониженной (равной 0,1 от номинальной) скорости, наброса номинальной нагрузки при пониженной скорости. Соответствующие данным режимам электромеханические процессы показаны на рис. 3.

Таблица 1 – Параметры исследуемого комплекса

Элементы комплекса	ТП			РТП		Электродвигатель М типа 2ПН315ЛУХЛ4					АФ		
	$L_4 - L_6$	$L_7$	$R_1$	$L_1 - L_3$	$L_{11}$	$P_H$	$U_{ян}$	$I_{ян}$	$w_H$	$J$	$L_8 - L_{10}$	$C$	$R_2$
Название параметра	мГн	мГн	Ом	мГн	мГн	кВт	В	А	$c^{-1}$	$кг \cdot м^2$	мГн	мкФ	Ом
Значение	0,1	1	0,8	0,4	0,5	220	440	542	157	6,8	0,03	$55 \cdot 10^3$	600

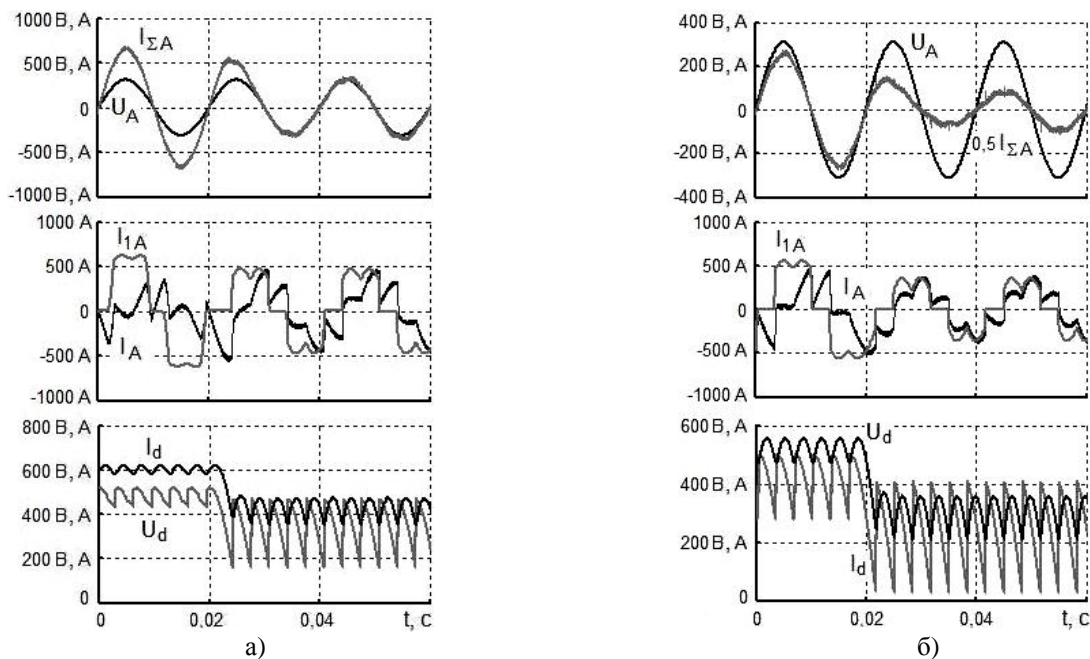


Рисунок 2 – Электромагнитные процессы для исследуемого комплекса при изменении угла управления ТП: а) от нуля до 45 эл. град.; б) от 30 до 60 эл град.

Для указанных (рис. 3) режимов работы электропривода рассчитаны электромагнитные процессы в исследуемом электротехническом комплексе, которые показаны: на рис. 4 (а – при разгоне на интервале времени от 0,24 с до 0,3 с; б – при торможении на интервале времени от 0,84 с до 0,90 с) и на рис. 5 при изменении момента  $M_c$  нагрузки от нуля до номинального значения (а – на интервале времени от 0,48 с до 0,54 с при скорости, равной 0,8 от номинальной; б – на интервале времени от 1,28 с до 1,34 с при пониженной скорости).

На **третьем этапе** из зависимостей, приведенных в [2] и учитывающих собой несинусоидальную форму изменения фазных сетевых токов комплекса

и входных токов тиристорных преобразователей ТП и РТП, были рассчитаны текущие значения коэффициентов мощности указанных тиристорных преобразователей и в целом исследуемого электротехнического комплекса в рассматриваемых режимах работы. Результаты данных расчетов представлены в табл. 2 и 3.

На **четвертом этапе** было осуществлено вычисление значений общего коэффициента гармоник  $K_r$  для комплекса, ТП и РТП, которые приведены в табл. 4 (причем, в схеме с РТП значения  $K_r$  рассчитаны при номинальной нагрузке двигателя).

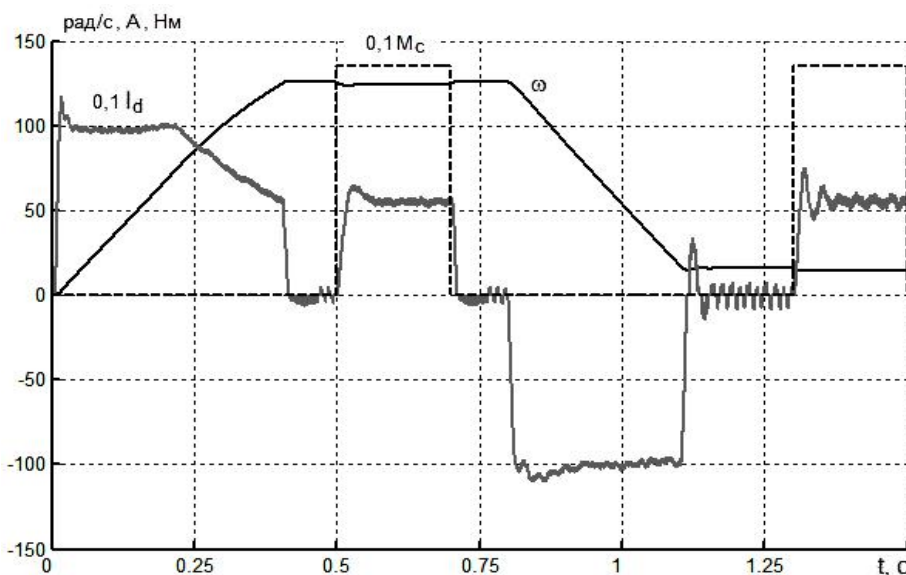


Рисунок 3 – Электромеханические процессы тиристорного электропривода постоянного тока

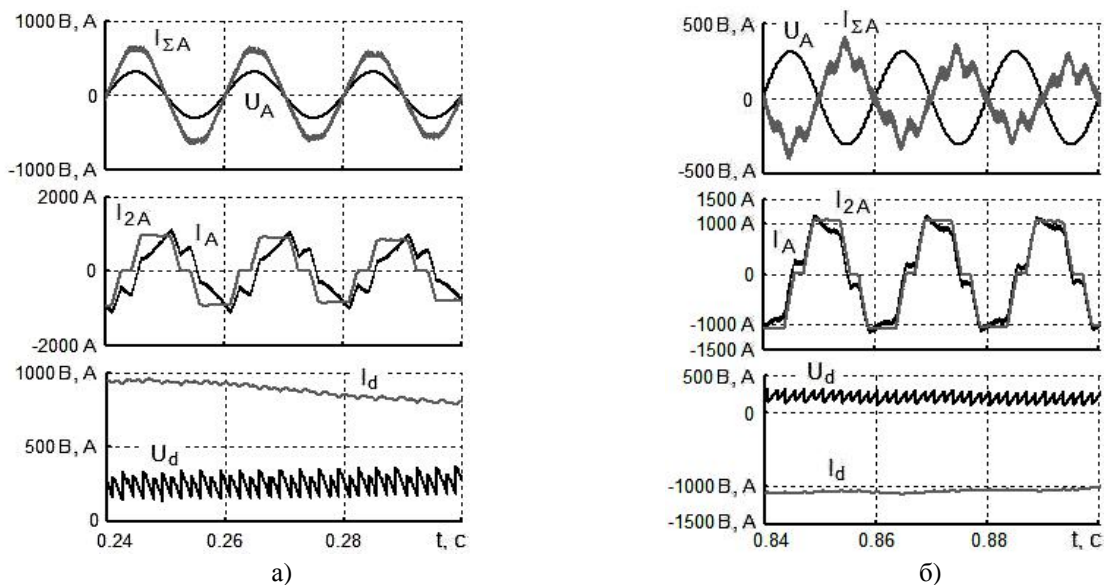


Рисунок 4 – Электромагнитные процессы для комплекса с РТП:  
а) при разгоне; б) при торможении

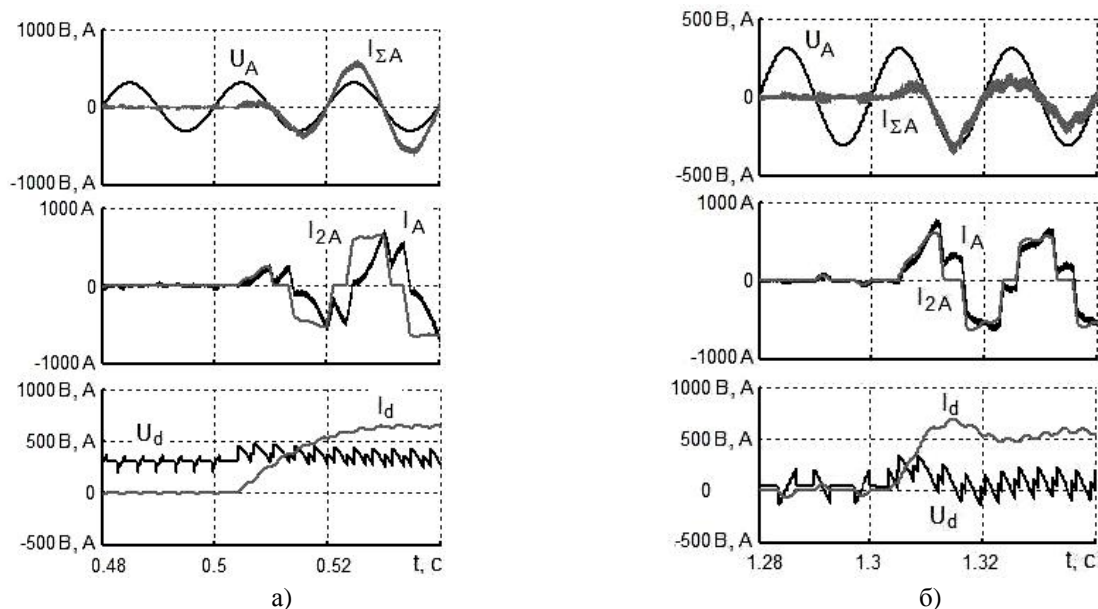


Рисунок 5 – Электромагнитные процессы для комплекса с РТП при набросе нагрузки для скорости, равной:  
а) 0,8 от номинальной; б) при 0,1 от номинальной

Таблица 2 – Значения коэффициента мощности для нереверсивного ТП и исследуемого комплекса

Коэффициент мощности	Угол управления, эл. град.			
	0	30	45	60
для ТП	0,942	0,805	0,667	0,471
для комплекса	0,985	0,986	0,983	0,981

Таблица 3 – Значения коэффициента мощности для РТП и исследуемого комплекса

Коэффициент мощности	Вид режима работы электропривода			
	Разгон	Установившийся режим с номинальной нагрузкой для скорости		Торможение
		0,8 от номинальной	0,1 от номинальной	
для РТП	0,3709	0,6124	0,1177	-0,3752
для комплекса	0,9797	0,9932	0,9824	-0,9539

**Таблица 4 – Значения общего коэффициента гармоник**

Наименование параметра	схема с ТП				схема с РТП		
	0	30	45	60	–	–	
Угол управления, эл. град.	0	30	45	60	–	–	
Скорость (по отношению к номинальной)	–	–	–	–	0,8	0,1	
K <sub>Г</sub> , %	для ТП или РТП	33,1	39,7	36,2	36,1	73,1	36,4
	для комплекса	15,9	15,7	24,1	26,8	12,0	22,8

**Выводы.** 1. Применение АФ с прогнозирующим релейно-векторным регулированием позволяет осуществить эффективную компенсацию мощности искажений и реактивной мощности тиристорных преобразователей постоянного тока. При этом в динамических режимах работы поддерживается коэффициент мощности электротехнического комплекса не менее 95 %, а в установившихся режимах – выше, чем 98 %.

2. Посредством применения АФ удается получить усредненное (за интервал времени от нуля до 1,5 с на диаграмме электромеханических процессов на рис. 3) значение сетевого коэффициента мощности, равное 97,5 %, для исследуемого электротехнического комплекса с РТП.

3. С использованием АФ достигается улучшение и приближение к синусоидальной форме, потребляемых из сети, фазных токов исследуемым электротехническим комплексом (с коэффициентом гармоник менее 26,8 %), содержащим тиристорные преобразователи постоянного тока.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Шрейнер Р.Т., Ефимов А.А. Активный фильтр как новый элемент энергосберегающих систем

электропривода // *Электричество*. – 2000. – № 3. – С. 46-54.

2. Волков А.В., Бондаренко В.И., Волков В.А. Релейное регулирование тока в активном фильтре напряжения // *Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету*. – Вип. 4 (45). – Ч. 1. – Кременчук: КДПУ, 2007. – С. 70- 74.

3. Колб А.А. Силовые активные компенсаторы в системах группового питания электроприводов // *Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету*. – Вип. 3 (44). – Ч. 2. – Кременчук: КДПУ, 2007. – С. 44-48.

4. Bor-Ren L, Yung-Chuan L. Three-phase power quality compensator under the unbalanced sources and nonlinear loads // *IEEE Transactions on industrial electronics*. – 2004. – Vol. 51. – N 5. – P. 1009-1017.

5. Wojciechowski D. Estimator of complex harmonics of grid EMF for control system of shunt active filter // *Техн. електродинаміка. Тем. випуск: Проблеми сучасної електротехніки*. – 2006. – Ч. 8. – С. 65-70.

6. Остриев В.Н., Мосин Р.В. Экспериментальные исследования трехфазного активного фильтра для применения в современных электронных преобразователях // *Электричество*. – 2003. – №7. – С. 63-66.

Стаття надійшла 17.04.2008 р.