

УДК 621.313

ОСОБЕННОСТИ РЕЖИМОВ РАБОТЫ МОДИФИЦИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ИМПУЛЬСНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ФАЗНЫМ РОТОРОМ

М. И. Коцур, П. Д. Андриенко, И. М. Коцур, Н. Н. Олейниченко

Запорожский национальный технический университет
ул. Жуковского, 64, г. Запорожье, 69063, Украина. E-mail: kotsur_m@ukr.net

Рассмотрены режимы работы модифицированной системы импульсного регулирования асинхронного двигателя с фазным ротором. Определены коэффициенты гармонических искажений тока статора и ротора асинхронного двигателя и их влияние на энергетические показатели асинхронного электропривода. Показана целесообразность использования модифицированной системы импульсного регулирования в режимах непрерывного тока без балластного резистора, непрерывного тока с балластным резистором, а также в режиме прерывистого тока без балластного резистора в зависимости от назначения механизма.

Ключевые слова: регулирование, асинхронный двигатель, гармоники, энергоэффективность, импульс.

ОСОБЛИВОСТІ РЕЖИМІВ РОБОТИ МОДИФІКОВАНОЇ СИСТЕМИ ІМПУЛЬСНОГО РЕГУЛЮВАННЯ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА З ФАЗНИМ РОТОРОМ

М. І. Коцур, П. Д. Андриєнко, І. М. Коцур, Н. М. Олейніченко

Запорізький національний технічний університет
вул. Жуковського, 64, м. Запоріжжя, 69063, Україна. E-mail: kotsur_m@ukr.net

Розглянуто режими роботи модифікованої системи імпульсного регулювання асинхронного двигуна з фазним ротором. Визначено коефіцієнти нелінійних спотворень струму статора й ротора асинхронного двигуна та їх вплив на енергетичні показники асинхронного електропривода. Показано доцільність використання модифікованої системи імпульсного регулювання в режимах безперервного струму без балластового резистора, безперервного струму з балластовим резистором, а також у режимі переривчастого струму без балластового резистора залежно від призначення механізму.

Ключові слова: регулювання, асинхронний двигун, гармоніки, енергоефективність, імпульс.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. В современных электротехнических комплексах кранового оборудования и конвейерных систем растет потребность в модернизации устаревших контакторных, резисторных схем управления, предназначенных для асинхронного двигателя (АД) с фазным ротором, составляющих значительный удельный вес во всем классе схем управления АД. Полная замена устаревших систем регулирования на системы частотно-регулируемого электропривода преобразователем (ЧРЭП) не всегда экономически целесообразна, особенно для механизмов, работающих в кратковременных и повторно-кратковременных режимах [1]. Кроме систем ЧРЭП, также большой интерес представляют энергосберегающие системы асинхронного вентильного каскада (АВК). Однако их использование ограничено высокой стоимостью и низким коэффициентом мощности привода. Поэтому АВК в основном используются для продолжительного режима работы в условиях редких пусков и торможений. Для регулирования частоты вращения АД с фазным ротором также применяется классическая система импульсного регулирования (ИР), которая сочетает в себе простоту схемного решения, хорошие регулировочные свойства и имеет относительно низкую стоимость. Однако при этом она имеет низкий КПД и поэтому используются в основном в повторно-кратковременных режимах работы [4].

В работах [2, 3] была предложена модифицированная система импульсного регулирования (ИРМ), которая объединяет в себе положительные свойства классической системы ИР и АВК (рис. 1). Отличительной особенностью данной системы ИР(м) является наличие импульсного регулятора в цепи

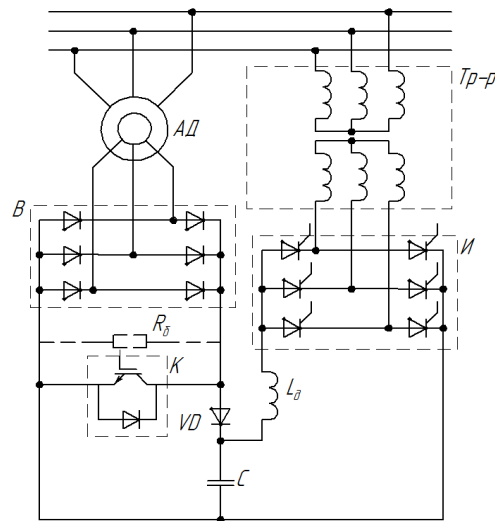


Рисунок 1 – Модифицированная система ИР АД

выпрямленного тока ротора, представленного в виде преобразователя повышающего типа и инвертора, который, в отличие от АВК, работает с постоянным минимальным углом инвертирования. За счет этого обеспечивается высокий коэффициент мощности в широком диапазоне скольжения АД, а также появляется возможность рационального выбора параметров оборудования с учетом желаемого КПД и режимов работы ИР(м).

Целью работы является исследование и проведение сравнительного анализа энергоэффективности привода ИР(м) в различных режимах работы.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. В зависимости от параметров системы ИР(м), возможны три режима работы: режим непрерывного тока

ротора без балластного резистора (режим 1), режим непрерывного тока с балластным резистором (режим 2), а также режим прерывистого тока без балластного резистора (режим 3).

При работе системы ИР(м) в режиме 1 обеспечивается непрерывная рекуперация полезной энергии ротора в сеть. При этом накопленная энергия в обмотке ротора W_L , вызванная коммутацией силового ключа, сбрасывается на конденсатор, исключая перенапряжение в роторе [2].

Накопленная энергия в обмотке ротора описывается следующим выражением:

$$W_L = \frac{L \left(i_{d \max} - i_{d \min} \right)^2}{2} f_k, \quad (1)$$

где L – полная индуктивность АД, Гн; $i_{d \max}$ – максимальная величина мгновенного значения выпрямленного тока ротора, А; $i_{d \min}$ – минимальная величина мгновенного значения выпрямленного тока ротора, А; f_k – частота коммутации силового ключа, Гц.

Второй режим работы системы ИР(м) обеспечивается за счет введения в цепь выпрямленного тока ротора балластного резистора R_σ (рис. 1). Изменение величины R_σ приводит к перераспределению полезной энергии ротора. Часть энергии рассеивается в виде тепла на R_σ , а остальная ее часть, вместе с запасенной энергией в обмотке ротора, рекуперирована

в сеть. Важной особенностью данного режима является возможность рационального выбора величины R_σ , при которой запасенная энергия в обмотке ротора W_L должна быть полностью сброшена в сеть [3].

Работа системы ИР(м) входит в режим 3 при согласовании напряжений выпрямителя и инвертора, а также при выполнении условия:

$$(1 - \gamma)T \leq T_{er}, \quad (2)$$

где γ – коэффициент заполнения импульса; $T = f_k^{-1}$ – период коммутации ключа; T_{er} – электромагнитная постоянная ротора.

Для исследования электромагнитных и энергетических процессов системы ИР(м) в структуре средств Simulink в среде Matlab была разработана имитационная модель.

В табл. 1 приведены расчетные значения пульсации выпрямленного тока ротора (ΔI_d) и коэффициента гармонических искажений тока статора (THDs) и ротора (THDr) в квазиустановившемся состоянии АД (МТФ-111-6, $P_H=3,5$ кВт) при $s=0,2; 0,5; 0,9$ (для режима 1 – $f_k=3$ кГц, угол управления инвертором $\beta=10^\circ$, емкость конденсатора $C=400$ мФ; для режима 2 – $f_k=3$ кГц, $\beta=10^\circ$, $C=400$ мФ, $R_\sigma=50 \Omega$; для режима 3 – соответственно для $s f_k=90, 160, 120$ Гц, $\beta=10^\circ$, $C=400$ мФ).

Таблица 1 – Расчетные значения ΔI_d , THDs, THDr системы ИР(м) с МТФ-111-6 ($P_H=3,5$ кВт) при различных режимах работы

	ИР(м) в режиме непрерывного тока ($R_\sigma=0$), при $f_k=3$ кГц			ИР(м) в режиме прерывистого тока			ИР(м) в режиме непрерывного тока ($R^*_\sigma=6,8$), при $f_k=3$ кГц		
	s, o.e								
	0,2	0,5	0,9	0,2	0,5	0,9	0,2	0,5	0,9
$\Delta I_d, A$	0,6	1,5	1,3	17	23	25	0,7	1,8	1,2
THDs, o.e	0,017	0,066	0,086	0,28	0,30	0,43	0,018	0,067	0,086
THDr, o.e	0,045	0,115	0,132	0,39	0,63	0,105	0,117	0,132	0,137

Анализ табл. 1 показал, что величина пульсации выпрямленного тока ротора прямо пропорциональна величинам THDs и THDr. Режим прерывистого тока, в отличие от остальных, приводит к наибольшей пульсации тока. Значение W_L в 10–12 раз выше по сравнению с другими режимами, что приводит к существенным токовой и тепловой нагрузкам АД и как следствие – к низкому КПД привода (кривая 2, рис. 2). При этом, в отличие от режима 1, параметры оборудования ИР(м) могут быть выбраны с меньшей установленной мощностью. В отличие от режима 3, режим 2 дает возможность, в зависимости от назначения механизма, рационально подобрать параметры оборудования с требуемой установленной мощностью.

На рис. 3 приведены зависимости КПД привода и установленной мощности инвертора от величины балластного резистора (R^*_σ), приведенного к номинальному сопротивлению ротора ($R_{\sigma_{н.р}}=6\Omega$) АД

МТФ-111-6 при рабочем скольжении $s=0,9$. Увеличение значения R^*_σ приводит к перераспределению полезной энергии ротора, при котором доля возвращаемой в сеть увеличивается.

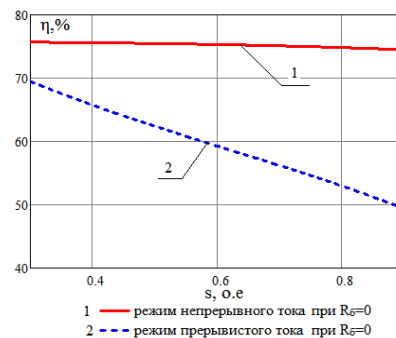


Рисунок 2 – Зависимость КПД привода от рабочего скольжения АД

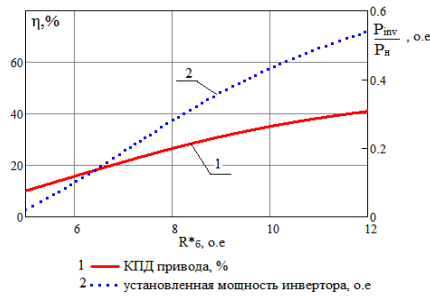


Рисунок 3 – Зависимости КПД и установленной мощности инвертора системы ИР(м) в режиме непрерывного тока от R^*_{δ}

В случае, когда $R^*_{\delta} \rightarrow \infty$, работа системы ИР(м) переходит в режим 1.

На рис. 4 приведена зависимость коэффициента мощности привода от рабочего скольжения для исследуемых режимов работы. За счет фиксирования величины минимального угла инвертирования обеспечивается высокое значение коэффициента мощности привода для всех трех режимов работы на всем диапазоне изменения скольжения.

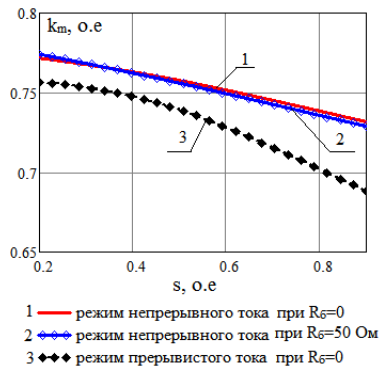


Рисунок 4 – Зависимость коэффициента мощности привода от рабочего скольжения

OPERATION MODES FEATURES OF MODIFICATE PULSE CONTROL SYSTEM OF ASYNCHRONOUS MOTOR WITH PHASE ROTOR

M. Kotsur, P. Andrienko, I. Kotsur, N. Oleynichenko

Zaporizhzhya National Technical University

ul. Zhukovskogo, 64, Zaporozhye, 69063, Ukraine. E-mail: kotsur_m@ukr.net

Operation modes of the inoculated system of asynchronous motor with the phase rotor pulse control system are observed. Total harmonic distortion coefficient of currents of asynchronous motor and their influence on control system energy efficiency are defined. The expediency of use of asynchronous motor with the phase rotor pulse control system in continuous current with ballast resistance, continuous current with outballast resistance and discontinuous current without ballast resistance modes depending on device appointment is shown.

Key words: regulation, asynchronous motor, harmonics, energy efficiency, pulse.

REFERENCES

1. Onishchenko G.B., Aksenov M.I., Grehov V.P. and oth. *Automatic electric drive of industrial plants*. – M.: Agricultural Sciences, 2001. – 520 p. [in Russian]

2. Kotsur M.I. An increase of impulsive chart energy efficiency is in the chain adjusting of the straightened current rotor // *Electromechanics and energysaving systems*. – Kremenchuk: KrNU, 2011. – № 2 (14). – PP. 86–89 [in Russian]

3. Kotsur M.I. Ballast resistance for pulse control system in chain of straightened current of the rotor choice

ВЫВОДЫ. Рассмотрена работа модифицированной системы ИР АД с фазным ротором в режимах непрерывного тока без балластного резистора, непрерывного тока с балластным резистором, а также в режиме прерывистого тока без балластного резистора.

Определены ТНД тока статора и ротора АД и их влияние на энергетические показатели привода.

Установлено, что для механизмов, работающих в продолжительном режиме, а также в повторно-кратковременных режимах с большим значением ПВ наиболее оптимальным является режим непрерывного тока без балластного резистора. Для механизмов, работающих в повторно-кратковременных режимах с малым значением ПВ, в условиях частых пусков и торможений, а также имеющих повышенные требования к допустимому уровню вибрации, оптимальным является режим непрерывного тока с балластным сопротивлением. Режим прерывистого тока без балластного резистора модифицированной системы ИР АД с фазным ротором наиболее рационально использовать в кратковременном режиме работы механизма.

ЛИТЕРАТУРА

1. Онищенко Г.Б., Аксенов М.И., Грехов В.П. и др. *Автоматизированный электропривод промышленных установок*. – М.: РАСХН, 2001. – 520 с.

2. Коцур М.И. Повышение энергоэффективности схемы импульсного регулирования в цепи выпрямленного тока ротора // *Електромеханічні і енергозберігаючі системи*. – Кременчук: КрНУ, 2011. – № 2 (14). – С. 86–89.

3. Коцур М.И. Особенности выбора балластного сопротивления для схемы импульсного регулирования в цепи выпрямленного тока ротора // *Електротехнічні системи і комп'ютерні системи*. – 2011. – № 04 (80). – С. 56–61.

4. Соколов М.М., Данилов П.Е. *Асинхронный электропривод с импульсным управлением в цепи выпрямленного тока ротора*. – М.: Энергия, 1972. – 72 с.

peculiarities // *Electrotechnic and computer systems*. – K.: Technica. – 2011. – № 04 (80). – PP. 56–61. [in Russian]

4. Sokolov M.M., Danilov P.E. *Asynchronous electric drive with impulse control in the rectified-current circuit of the rotor*. – M.: Energiya, 1972. – 72 p. [in Russian]

Стаття надійшла 13.07.2012.

Рекомендовано до друку
д.т.н., проф. Бештою О.С.