

УДК 621.313.018.24

О. М. Бесараб, к. т. н., доц.; В. М. Невольніченко, к. т. н., доц.;  
С. П. Савич, к. т. н.; М. Ю. Шабовта, к. т. н.

## ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ СХЕМ КОНТУРІВ РОТОРА АСИНХРОННОГО ДВИГУНА ДЛЯ РОЗРАХУНКІВ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ

На основі приведених розрахунків перехідних процесів у асинхронному двигуні з використанням одно- та багатоконтурних схем зроблено висновки щодо сфери їхнього застосування.

**Ключові слова:** асинхронний двигун, багатоконтурна схема, перехідний процес, струм короткого замикання, електромагнітний момент.

### Вступ

На сьогодні під час складання схем для моделювання перехідних процесів в системах електропостачання з асинхронними двигунами (АД) застосовують два різні підходи, у яких по-різному враховують зміну параметрів роторних контурів глибокопазних машин або машин з подвійною кліткою. У першому випадку АД представляють схемою з одним контуром на роторі. Для врахування насичення по шляхах розсіювання і явища витіснення струму вводять функціональну залежність параметрів ( $R$ ,  $X$ ) цього контуру від ковзання [1 – 3]. У другому – зміну параметрів враховують застосуванням багатоконтурних схем заміщення [4 – 8]. На жаль, у літературі не наведено порівняльного аналізу вказаних підходів.

Метою роботи є визначення сфери застосування одно- та багатоконтурних схем АД на основі порівняння результатів розрахунків електромагнітних та електромеханічних перехідних процесів.

### Результати дослідження

Для порівняння вказаних підходів розглядають дві моделі одного й того ж двигуна типу А 114-4 з такими параметрами:  $P_{\text{ном}} = 320$  кВт;  $U_{\text{ном}} = 6$  кВ;  $\cos\varphi = 0,89$ ; КПД = 0,928;  $n_{\text{ном}} = 2970$  об/хв;  $I_{\text{п}} = 6,6$  о. е.;  $M_{\text{п}} = 1,6$  о. е.;  $M_{\text{м}} = 2,8$  о. е.;  $T_j = 13$  с.

За методикою, викладеною в [1], визначено параметри одноконтурної схеми (рис. 1):  $X_s = 0,0714$ ;  $X_m = 3,2028$ ;  $X_{r0} = 0,1547$ ;  $X_{r1} = 0,0731$ ;  $R_s = 0,0192$ ;  $R_{r0} = 0,0085$ ;  $R_{r1} = 0,03173$ . Значення  $X_r(s)$  і  $R_r(s)$  визначають за виразами:

$$R_r = R_{r0} + (R_{r1} - R_{r0})\sqrt{s}, \quad (1)$$

$$X_r = \frac{X_{r0} X_{r1}}{X_{r1} + (X_{r0} - X_{r1})\sqrt{s}}. \quad (2)$$

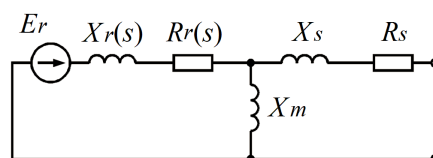


Рис. 1. Одноконтурна схема АД

Для розрахунку параметрів еквівалентної багатоконтурної схеми (рис. 2) за виразами (1), (2) за різних ковзань були визначені опори роторного контуру (табл. 1).

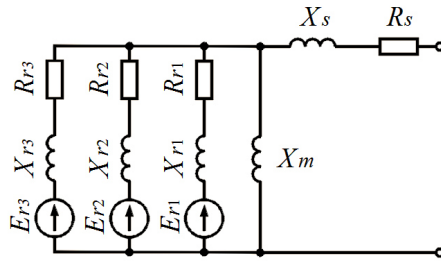


Рис. 2. Багатоконтурна схема АД

Таблиця 1

**Опори роторних контурів за різних значеннях ковзань**

$s$	$R_r$	$X_r$
0,9	0,030545187	0,075107336
0,4	0,023183133	0,090659567
0,09	0,015443282	0,115887414

Далі складають систему рівнянь (3), з якої знаходять параметри еквівалентної триконтурної схеми (табл. 2).

$$\frac{1}{\frac{R_{r(i)}}{s_{(i)}} + jX_{r(i)}} = \frac{1}{\frac{R_{r1}}{s_{(i)}} + jX_{r1}} + \frac{1}{\frac{R_{r2}}{s_{(i)}} + jX_{r2}} + \frac{1}{\frac{R_{r3}}{s_{(i)}} + jX_{r3}}, \quad (3)$$

де  $i = 1, 2, 3$ .

Таблиця 2

**Опори роторних контурів багатоконтурної схеми**

№ контуру	$Rr$	$Xr$
1	0,111355149	0,124238125
2	0,021299808	0,156805059
3	0,045201967	1,279714058

Застосовують три контури, оскільки менше число контурів не забезпечує задовільного збігу характеристик цих моделей, а за більшого з'являються корені зі знаком мінус, що зумовлює труднощі під час розв'язання диференціальних рівнянь такої моделі чисельними методами.

Пускові характеристики моделей показані на рис. 3 та рис. 4.

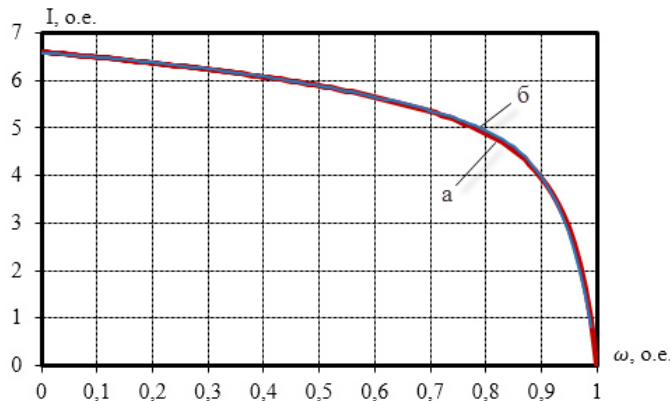


Рис. 3. Пускові характеристики моделей:  $I = f(s)$  одно- (а) та багатоконтурної моделі (б)

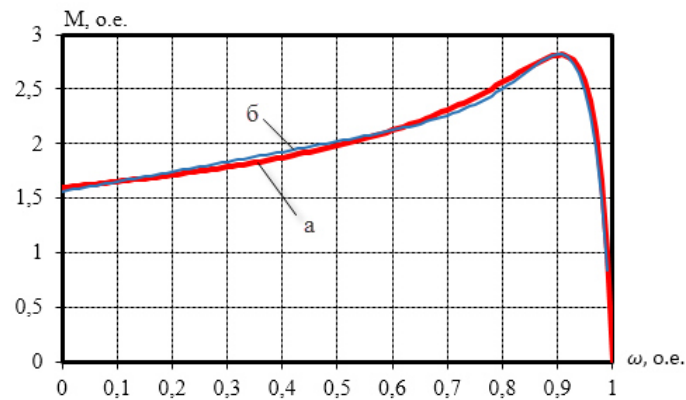


Рис. 4. Пускові характеристики моделей:  $M = f(s)$  одно- (а) та багатоконтурної моделі (б)

Для підтвердження еквівалентності моделей за розрахованими параметрами схем ротора був проведений розрахунок пуску АД і побудовані криві зміни діючого значення струму фази "А" статора (рис. 5) і криві зміни швидкості обертання ротора (рис. 6) у цьому режимі.

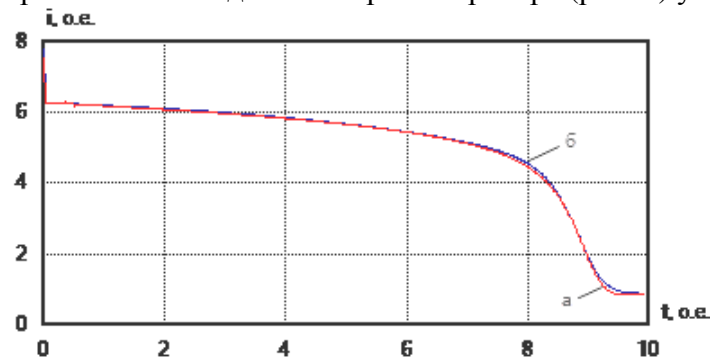


Рис. 5. Криві зміни діючого значення струму фази «А» статора під час пуску АД одно- (а) та багатоконтурної моделі (б)

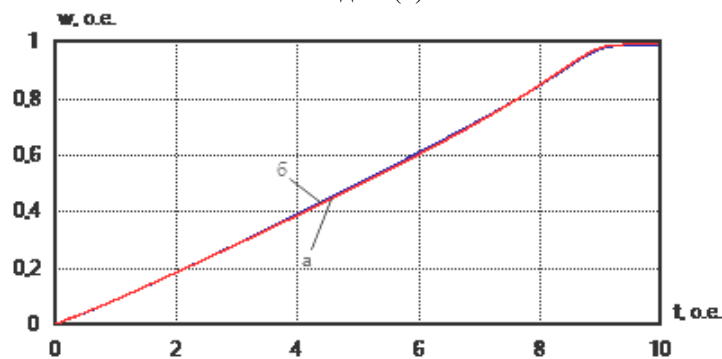


Рис. 6. Криві зміни швидкості обертання ротора під час пуску одно- (а) та багатоконтурної моделі (б)

Незважаючи на збіг кривих під час пуску, розрахунок трифазного КЗ на виводах обмотки статора показав розбіжність у зміні параметрів режиму для цих моделей (рис. 7, рис. 8). Розбіжність у максимальних значеннях струму склала 16 %, електромагнітного моменту – 30 %. Також відрізняється швидкість згасання перехідного процесу.

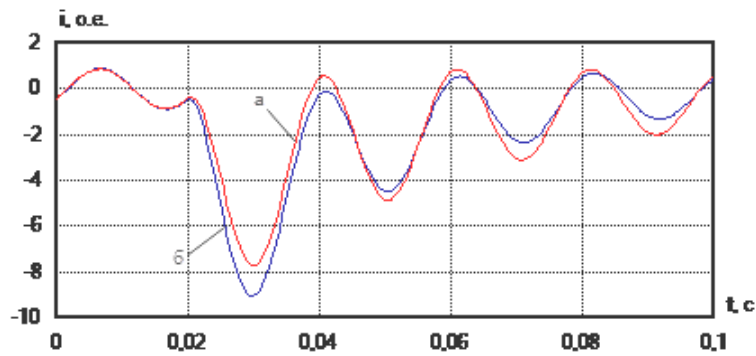


Рис. 7. Криві зміни миттєвого значення струму фази «А» статора під час трифазного КЗ на виводах АД одно- (а) та багатоконтурної моделі (б) (початок КЗ з 0,02 с)

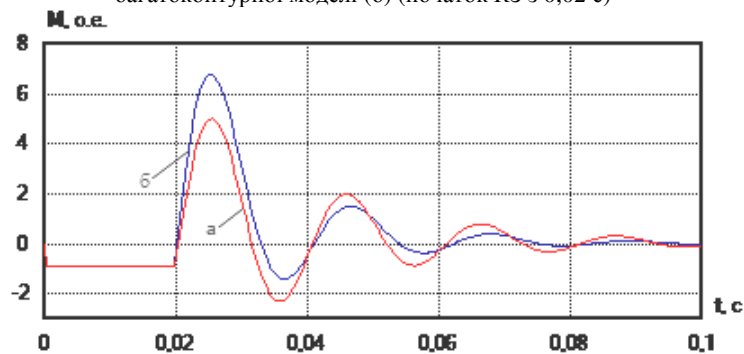


Рис. 8. Криві зміни електромагнітного моменту під час трифазного КЗ на виводах АД одно- (а) та багатоконтурної моделі (б) (початок КЗ з 0,02 с)

Причина такої значної розбіжності в отриманих результатах полягає в прийнятому для одноконтурної моделі допущенні, що частота струму в роторі пов'язана з ковзанням. Під час пуску частота струму в роторі змінюється пропорційно ковзанню, тому моделі поведуться однаково. Якщо подивитися на рис. 9, то можна побачити, що завдяки наявності аперіодичного складника в струмі статора під час КЗ на виводах АД у струмі ротора з'являється складник, що змінюється з частотою, близькою до 50 Гц, тоді як ковзання (рис. 10) за цей час практично не змінилося, а значить, параметри роторного контуру також залишилися без зміни. На багатоконтурну схему вказане допущення не поширюється, тому остання в цьому випадку поведеться більш адекватно.

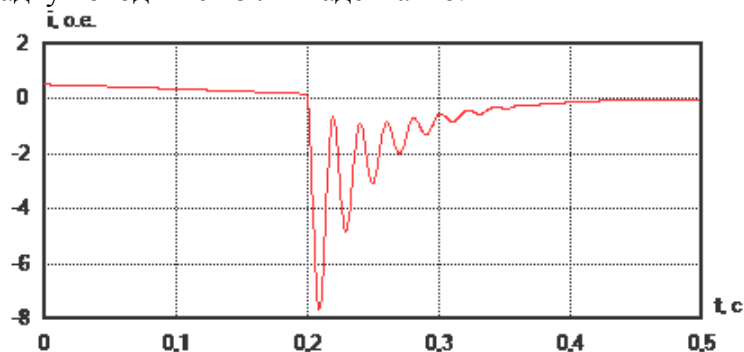


Рис. 9. Крива зміни миттєвого значення струму еквівалентного контуру ротора під час трифазного КЗ на виводах АД (початок КЗ з 0,2 с)

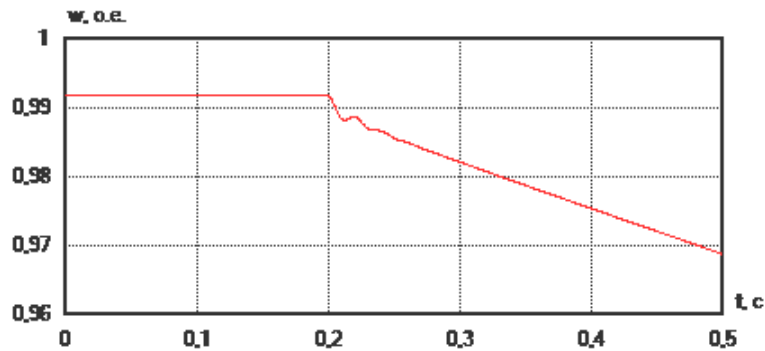


Рис. 10. Крива зміни швидкості обертання під час трифазного КЗ на виводах АД (початок КЗ з 0,2 с)

### Висновки

Розглянуто одноконтурну модель АД, у якій насичення шляхів розсіювання й витіснення струму в роторі враховується шляхом уведення функціональних залежностей між параметрами роторного контуру й ковзанням. Показано, що одноконтурну модель АД доцільно застосовувати у випадках, коли частота струму в роторі пропорційна ковзанню, а саме: у режимах пуску і самозапуску. Під час моделювання електромагнітних перехідних процесів під час КЗ, короткочасних порушеннях електропостачання вказана умова порушують, і в цьому випадку доцільно застосовувати багатоконтурні моделі. Очевидно, що ці рекомендації також можна розповсюдити й на синхронні машини.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гамазин С. И. Переходные процессы в системах электроснабжения с электродвигательной нагрузкой / С. И. Гамазин, Т. А. Садыкбеков. – Алма-Ата : Гылым, 1991. – 302 с.
2. Сыромятников И. А. Режимы работы асинхронных и синхронных двигателей / И. А. Сыромятников; под ред. Л. Г. Мамиконянца. – [4-е изд.]. – М.: Энеогаотомиздат, 1984. – 240 с.
3. Казовский Е. Я. Переходные процессы в электрических машинах переменного тока / Е. Я. Казовский. – М.: Изд. АН СССР, 1962. – 624 с.
4. Сивокобыленко В. Ф. Математическое моделирование переходных процессов на электрических станциях / В. Ф. Сивокобыленко, М. А. Меженкова // Электричество. – 2004. – № 4. – С 5 – 9.
5. Сивокобыленко В. Ф. Переходные процессы в многомашинных системах электроснабжения электрических станций / В. Ф. Сивокобыленко. – Донецк : ДПИ, 1984. – 116 с.
6. Сивокобыленко В. Ф. Расчёт параметров схем замещения и пусковых характеристик широкодиапазонных асинхронных машин / В. Ф. Сивокобыленко, В. А. Павлюков // Электричество. – М.: – № 10 – 1979. – С. 35 – 39.
7. Larin A. Computer simulation of the transient in AC machines at short-circuits and connections to a network on the basis of the experimental frequency response characteristics / A. Larin, A. Abdessalem // 9<sup>th</sup> International Symposium on Short-circuit currents in power systems, SCC'2000, Cracow, October 11 – 13, 2000. – P. 39 – 45.
8. Рогозин Г. Г. Визначення електромагнітних параметрів машин змінного струму: нові експериментальні методи / Г. Г. Рогозин. – К : Техніка, 1992. – 168 с.
9. Шабовта М. Ю. Повышение эффективности защиты и автоматики на предприятиях с непрерывным технологическим циклом: 05.09.03 / Шабовта Михаил Юрьевич. – Одесса: 2013. – 276 с.

**Бесараб Олександр Миколайович** — канд. техн. наук, доцент, завідувач кафедри електропостачання та енергетичного менеджменту, e-mail: al\_besarab@ukr.net.

**Невольніченко Валентин Миколайович** — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри електропостачання та енергетичного менеджменту, e-mail: vn\_n@ukr.net.

**Савич Світлана Павлівна** — канд. техн. наук, доцент кафедри електропостачання та енергетичного менеджменту, e-mail: savichsp@gmail.com.

**Шабовта Михайло Юрійович** — канд. техн. наук, доцент кафедри електропостачання та енергетичного менеджменту, e-mail: poststudent@ukr.net.

Одеський національний політехнічний університет.