

УДК 621.314

ГАРМОНІЙНИЙ СКЛАД СТРУМІВ В ОБМОТЦІ СТАТОРА АСИНХРОННОГО ДВИГУНА ЗА НАЯВНОСТІ ДЕФЕКТІВ У СТРИЖНЯХ КЛІТКИ РОТОРА

М.А. Яцун¹, А.М. Яцун², О.І. Шуплат²

1) Національний університет «Львівська політехніка», вул. С. Бандери, 12, м. Львів, 79013, тел. (032) 237-36-72

2) Львівський національний аграрний університет, вул. В. Великого, 1, м. Дубляни, Львівська обл., 80381, тел. (032) 224-23-35

Визначений гармонійний склад додаткових струмів в обмотці статора асинхронного двигуна за наявності дефектів у декількох стрижнях короткозамкненої клітки ротора в залежності від кількості дефектів, їх взаємного розташування, ковзання двигуна і кількості пар полюсів.

Ключові слова: клітка ротора, стрижень, дефект, асинхронний двигун, обмотка статора, діагностування.

Определен гармонический состав дополнительных токов в обмотке статора асинхронного двигателя при наличии дефектов в нескольких стержнях короткозамкнутой клетки ротора в зависимости от количества дефектов, их взаимного расположения, скольжения двигателя и количества пар полюсов.

Ключевые слова: клетка ротора, стрижек, дефект, асинхронный двигатель, обмотка статора, диагностирования.

Are defined the harmonic composition of additional currents in the stator windings of induction motor at presence of defects in a few bars of rotor squirrel-cage winding dependence from quantity of defects, them mutual location, sliding of motor and number of pair of poles.

Keywords: cage of rotor, hair-cuttings, defect, asynchronous engine, puttee of statora, diagnosing.

Метою дослідження є отримання інформативних параметрів і величин для діагностування (визначення) технічного стану клітки ротора асинхронного двигуна під час експлуатації за параметрами і характеристиками модуляції струмів в обмотці статора при дефектах у кількох (трьох) стрижнях клітки ротора, різних навантаженнях (ковзаннях) двигуна, параметрах обмотки статора і клітки ротора і різній кількості пар полюсів.

Розподіл додаткових струмів у клітці ротора за наявності дефектів у декількох її стрижнях досліджений у літературі [1], де несиметрія клітки зумовлена збільшенням комплексних опорів Z_c декількох стрижнів (першого, i -го, m -го) на величину відповідно Z_{d1} , Z_{di} і Z_{dm} . Звичайно зростають переважно лише активні опори цих стрижнів, тобто $Z_{d1} = R_{d1}$, $Z_{di} = R_{di}$ і $Z_{dm} = R_{dm}$. Відповідно зменшуються комплексні струми в дефектних стрижнях порівняно зі струмами I_{c1c} , I_{cic} і I_{cmc} у цих стрижнях за відсутності дефектів, а також змінюється струми в усіх інших елементах короткозамкненої клітки ротора. Дефекти суттєво впливають на розподіл

струмів і техніко-економічні характеристики асинхронних двигунів.

При пошкодженні стрижнів клітки ротора асинхронних короткозамкнених двигунів виникає модуляція струмів, які споживає із мережі обмотка статора. Для оцінки можливості діагностування технічного стану клітки ротора під час експлуатації потрібно виявити (отримати і дослідити) інформативні параметри і характеристики модуляції струмів у обмотці статора від кількості, розмірів і розміщення дефектів у стрижнях. Відомі аналітичні залежності за наявності дефектів у клітці ротора і модуляції струмів [2], але кількісні співвідношення відсутні, тобто не досліджені інформативні параметри і величини, зокрема гармонічний склад і амплітуди додаткових струмів у обмотці статора.

У випадку дефектів у трьох стрижнях (1, i , m) клітки ротора для відносного миттєвого часу t залежність значення повного струму i_c^* від частоти ω і інших параметрів у фазі А статора [2] є такою:

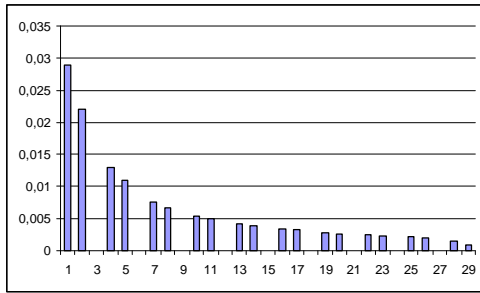


Рисунок 1 – Гістограма амплітуд гармонік відносних додаткових струмів прямих і зворотних послідовностей при ковзанні $s = 0,02$ і кількості пар полюсів $p = 1, 2, 4, 5, \dots$ (крім 3 і кратному 3) у випадку обриву трьох розташованих симетрично по колу ротора стрижнів клітки

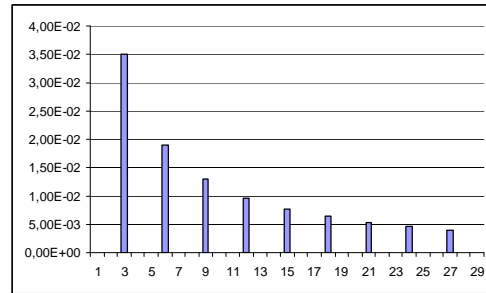
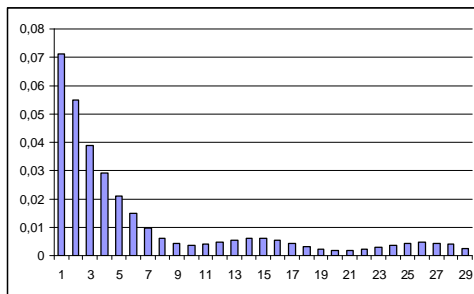
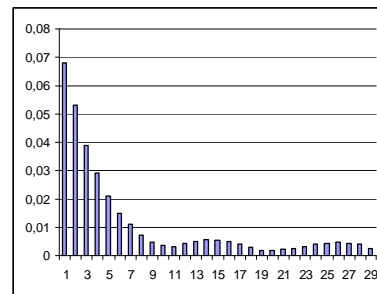


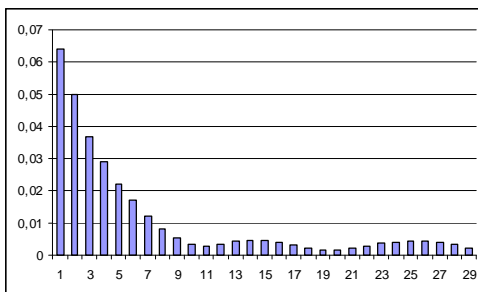
Рисунок 2 – Гістограма амплітуд гармонік відносних додаткових струмів прямих і зворотних послідовностей при ковзанні $s = 0,02$ і кількості пар полюсів $p = 3, 6, \dots$ (кратному 3) у випадку обриву трьох розташованих симетрично по колу ротора стрижнів клітки



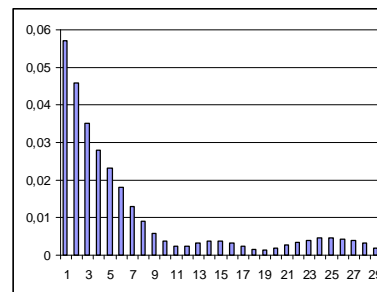
a)



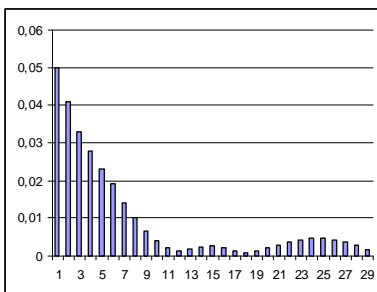
б)



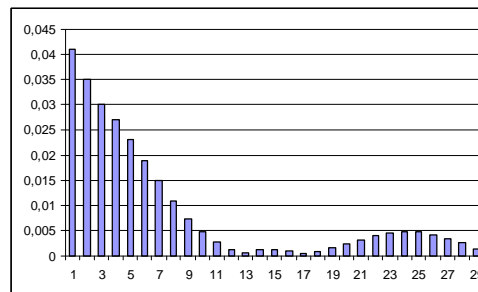
в)



з)



д)



е)

Рисунок 3 – Гістограми амплітуд гармонік відносних додаткових струмів прямих і зворотних послідовностей при ковзанні $s = 0,02$ у випадку трьох підряд обірваних стрижнів клітки ротора та різній кількості пар полюсів p : а) – 1, б) – 2, в) – 3, з) – 4, д) – 5, е) – 6

$$i_c^* = \sin(\omega t) + \sum_{v=1}^{\infty} \left\{ I_{c01m}^* \left[\sin \left\{ \left(-\frac{p}{v} \right) s \omega t \right\} \cos \{ (1-s)\omega t + \varphi_{v1} \} \right] + I_{c02m}^* \left[\cos \{ (1-s)\omega t + \varphi_{v2} \} \cos \left\{ \left(\frac{p}{v} \right) s \omega t \right\} \right] \right\}. \quad (1)$$

Нижче наведені результати розрахунків у програмному середовищі MathCAD за виразом (1) гармонійного складу v амплітуд відносних додаткових струмів прямих I_{c01m}^* і зворотних

I_{c02m}^* послідовностей (при відповідних початкових фазах φ_{v1} і φ_{v2}) у фазі А обмотки статора асинхронного двигуна за наявності дефектів (обривів) у стрижнях короткозамкненої клітки ротора в залежності від взаємного розташування дефектів, ковзання двигуна s і кількості пар полюсів p для випадку, коли співвідношення комплексних опорів елемента короткозамкненого кільця Z_k і стрижня Z_c клітки ротора $Z^* = Z_k/Z_c = 0,02 \exp(-j0,06)$ і кількість стрижнів $n = 30$.

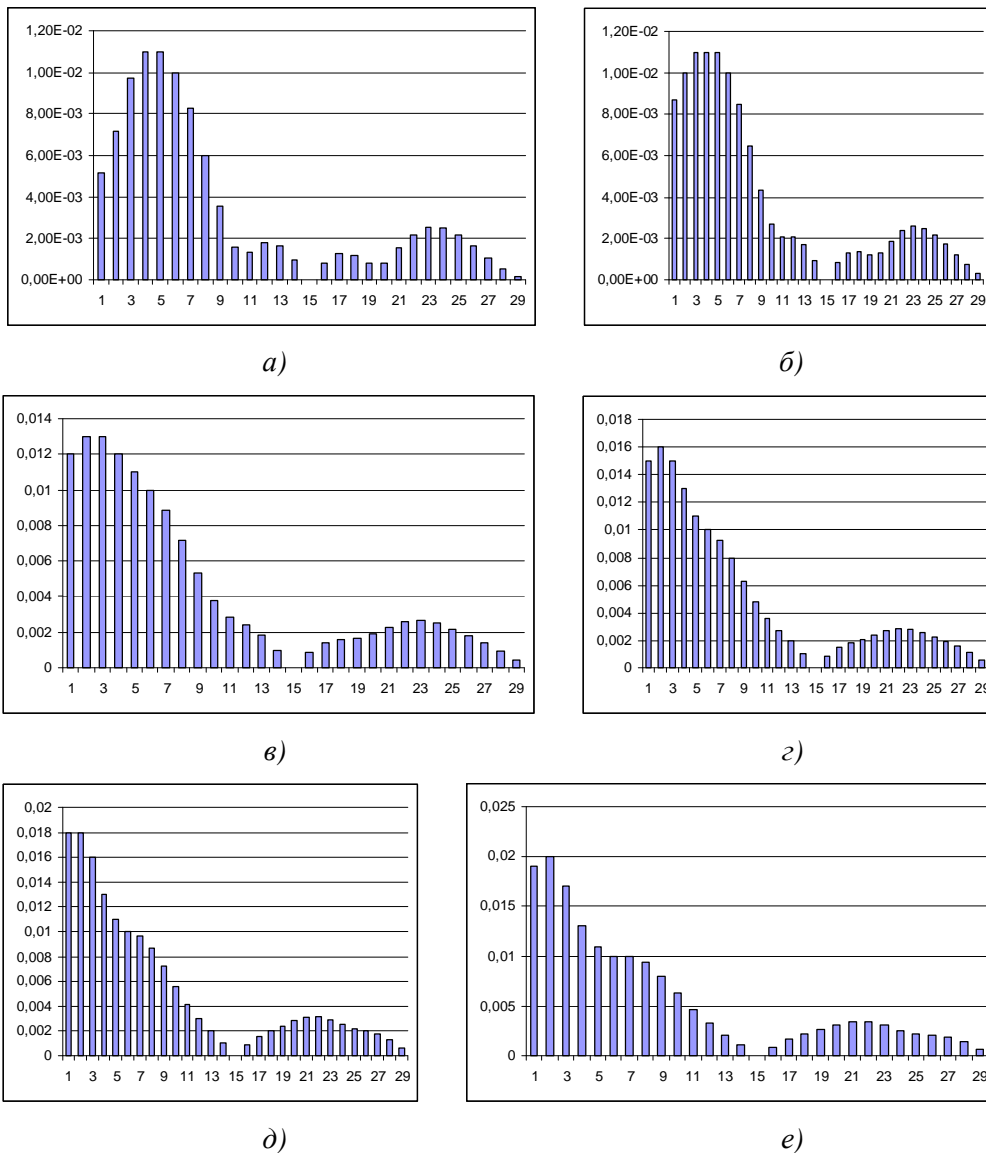


Рисунок 4 – Гістограми амплітуд гармонік відносних додаткових струмів зворотних послідовностей при ковзанні $s = 0,02$ у випадку трьох підряд обірваних стрижнів клітки ротора та різній кількості пар полюсів p : а) – 1, б) – 2, в) – 3, г) – 4, д) – 5, е) – 6

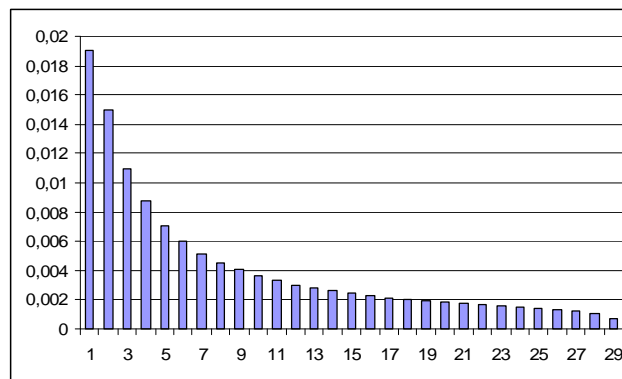


Рисунок 5 – Гістограма амплітуд гармонік відносних додаткових струмів при ковзанні $s = 0,02$ у випадку одного обірваного стрижня клітки ротора незалежно від послідовності і кількості пар полюсів

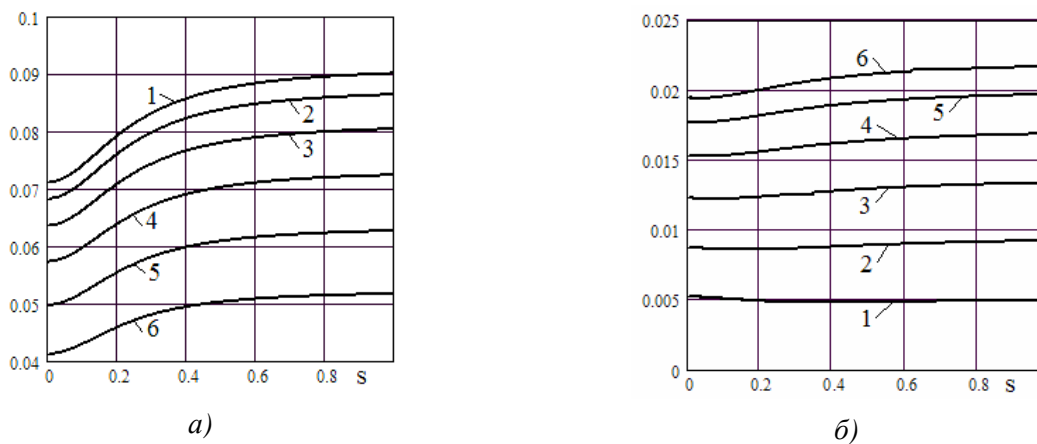


Рисунок 6 – Залежності амплітуд перших гармонік відносних додаткових струмів від ковзання при різній кількості пар полюсів ($p = 1-6$) для прямих (а) і зворотних (б) послідовностей у випадку трьох підряд обірваних стрижнів клітки ротора

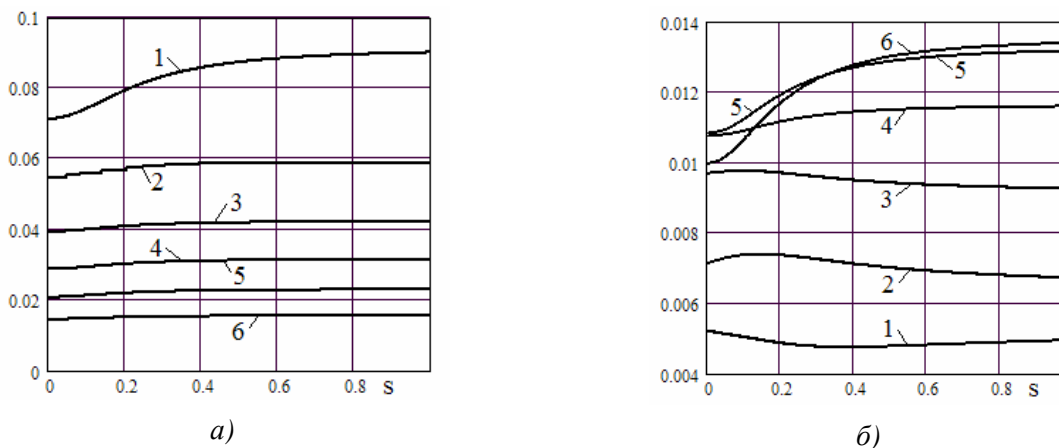


Рисунок 7 – Залежності амплітуд початкових гармонік ($n = 1-6$) відносних додаткових струмів від ковзання для прямих (а) і зворотних (б) послідовностей у випадку однієї пари полюсів і трьох підряд обірваних стрижнів клітки ротора

ВИСНОВКИ

Якщо кількість пар полюсів $p \neq 3, 6, 9, \dots$, то при симетричному розташуванні трьох обірваних стрижнів короткозамкненої клітки ротора і ковзанні $s = 0,02$ треті і кратні трьом гармоніки прямої і зворотної послідовностей відсутні, а амплітуди решти гармонік прямої і зворотної послідовностей однакові і швидко та монотонно падають із зростанням порядкового номера гармонік, що видно з рис. 1. Якщо ж $p = 3, 6, 9, \dots$, то наявні тільки треті і кратні трьом гармоніки прямої послідовності, які також швидко падають зі зростанням порядкового номера гармонік, що видно з рис. 2. Тоді гармоніки зворотної послідовності практично відсутні.

При розташуванні підряд трьох обірваних стрижнів короткозамкненої клітки ротора і ковзанні $s = 0,02$ наявні всі гармоніки прямої і зворотної послідовностей. Амплітуди цих гармонік значно більші і також швидко падають із зростанням порядкового номера гармонік, що видно з рис. 3, *a-e*, однак, які вже не монотонні, а модульовані в межах певної обгинаючої кривої в залежності від кількості пар полюсів.

Вплив кількості пар полюсів на амплітуди гармонік незначний (рис. 4, *a-e*), але пульсації додаткових струмів у статорі зростають приблизно пропорційно кількості пар полюсів.

Якщо обірваний тільки один стрижень

короткозамкненої клітки ротора, то при ковзанні $s = 0,02$ наявні всі гармоніки прямої послідовностей з однаковими відносними амплітудами незалежно від кількості пар полюсів, які також швидко і монотонно падають із зростанням порядкового номера гармонік (рис. 5). Тоді гармоніки зворотної послідовності практично відсутні.

Із збільшенням ковзання відносні амплітуди гармонік змінюються мало (рис. 6, *a; б; 7, a; 7, б*), а глибина пульсації суттєво зменшується.

1 Додаткові струми у клітці ротора асинхронного двигуна за наявності дефектів у декількох стрижнях / М.А. Яцун., А.М. Яцун., В.М. Ігнатюк., М.М. Євсюк // Методи та прилади контролю якості. - 2002. - № 9. - С. 11-14. 2. Модуляція струмів в обмотці статора асинхронного двигуна за наявності дефектів у декількох стрижнях клітки ротора / Яцун М.А., Яцун А.М., Ігнатюк В.М., Євсюк М.М. // Вісн. НУ «Львівська політехніка». - 2003. - № 485. - С. 170-176.

Поступила в редакцію 28.05.2010 р.

**Рекомендував до друку докт. техн. наук,
проф. Костишин В.С.**