

УДК 631.37:621.313.13

АНАЛІЗ ВПЛИВУ НА РОБОТУ ТРИФАЗНИХ ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ НЕСИНУСОЇДНОСТІ ЖИВЛЕННЯ

Козак О. Я., здобувач вищої освіти СВО «Бакалавр»,

Носко С. С., здобувач вищої освіти СВО «Бакалавр»

*Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного,
м. Запоріжжя, Україна*

В електричних колах 0,4 кВ систем електропостачання об'єктів з нелінійними електричними навантаженнями спостерігається значне спотворення форм кривих напруги. Сучасні системи керування електроприводами використовують частотні перетворюючі установки, вентильні і частотно-керовані двигуни. При цьому в мережі живлення двигунів, у їхніх нелінійних струмах і напругах мають місце вищі гармонічні (ВГ) складові. Вони створюють в трифазній системі пряму послідовність (1-, 4-, 7, 13-у і таке інше), зворотну послідовність (2-, 5-, 8, 11-у і таке інше) і нульову послідовність (гармоніки, кратні трьом) [1]. Але ізоляційні матеріали електромеханічних динамічних навантажень розраховані на роботу при визначеній якості електричної енергії: номінальній напрузі, частоті, струмі та ін. У паспортних даних обов'язково вказано необхідний рівень якості електричної енергії в мережі, тому що в разі відхилення від цих показників у роботі електричного трифазного динамічного навантаження має місце прискорений знос ізоляції обмоток, зменшення строку служби, погіршення продуктивності та збої у роботі [2].

Коефіцієнти спотворення синусоїдних кривих фазних напруг в цих системах досягають 10-15 % и перевищують вимоги ДСТУ: EN 50160-2014 про характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загального призначення. Причому спектр вищих гармонічних складових напруги представлений 5, 7, 11 і 13 гармоніками.

Кожна гармоніка напруги створює в АД магнітне поле, яке обертається з частотою

$$n_{1k} = \frac{60 \times f_k}{p} = \left(\frac{60 \times f_1}{p} \right) \times k = k \times n_1, \quad (1)$$

де n_1 – синхронна кутова швидкість АД, обумовлена основною (першою) гармонікою, об/хв;

k – порядковий номер гармоніки;

p – кількість пар полюсів; $f_1 = 50$ Гц; $f_k = k \cdot f_1$.

Виняток становлять третя гармоніка і кратні трьом, які створюють пульсуюче поле.

Напрямок обертання магнітного поля, створеного ВГ струму, залежить від номера цієї гармоніки. П'ята і одинадцята ВГ магнітного потоку обертаються в сторону, протилежну напрямку обертання основного магнітного поля (поля першої гармоніки). Сьома і тринадцята ВГ магнітного поля обертаються згідно з основним магнітним полем [2]. Такий режим роботи систем електропостачання загострює проблему електромагнітної сумісності технічних засобів бо спостерігається вібрація робочих механізмів при деяких режимах роботи електромеханічних перетворювачів – асинхронних двигунів (АД).

При роботі АД в умовах несинусоїдної напруги виникають додаткові втрати активної потужності, обумовлені ВГ струму в колах статора і ротора [3, 4]. Ці втрати можна визначити за формулою

$$\Delta P_{АДk} = \Delta P_{м.н} \times a_{i=2}^k k_{\partial,k} \gg 0,2 \times \Delta P_{ном} \times a_{i=2}^k k_{\partial,k}, \quad (2)$$

де $\Delta P_{м.н}$ – номінальні втрати потужності в міді статора, Вт;

$\Delta P_{ном}$ – сумарні номінальні втрати АД, Вт;

$k_{\partial,k}$ – коефіцієнт, що враховує зростання втрат в міді за рахунок k -гармоніки.

Розрахунок додаткових втрат за формулою (2) від дії на АД 5, 7, 11 і 13 вищих гармонік показує, що $\Delta P_{АД} \approx 0,4 \cdot \Delta P_{ном}$. Розподіл втрат в АД наступний: обмотка статора – 14 %, коло

ротора – 41 %, торцеві зони – 19 %, асиметричні пульсації – 26 %. З цих даних слідує, найбільш вразливою частиною є коло ротора, таким чином від ВГ більшою мірою перегрівається ротор.

Оскільки для ВГ АД знаходиться в режимі короткого замикання, приблизно можна прийняти, що ЕРС статора $E_k \approx 0,5 U_k$ [3, 4]. Тоді, відносне значення магнітного потоку k -ї гармоніки Φ_{km} в порівнянні з магнітним потоком основної гармоніки Φ_{1m} , складе

$$\frac{\Phi_{km}}{\Phi_{1m}} \approx \frac{E_k \times f_1}{U_1 \times f_k} \approx 0,5 \times \left(\frac{U_k}{U_1}\right) \times \left(\frac{f_1}{f_k}\right). \quad (3)$$

Розрахунок додаткових втрат в колах статора і ротора по (2) і у сталі АД показує, що втрати невеликі. Наприклад втрати від 5-ї гармоніки складає 0,5 % від втрат 1-ї гармоніки, від 7-ї – 0,2%, від 11-ї – 0,1 %, хоча ці втрати сприяють підвищенню температури ізоляції обмоток АД [3]. Обертаючий і тормозний моменти від дії ВГ, що називають додатковими моментами у АД, за своєю природою, аналогічні основному електромагнітному моменту, лише пов'язані з взаємодією ВГ магнітного поля статора зі струмами, що індукуються ними в обмотках ротора.

Враховуючи, що гармонічні складові магнітного поля статора АД створюють асинхронні моменти, бо 5 ВГ обертається у зворотному напрямі, 7 ВГ обертається в напрямі обертання поля основної гармоніки, то результуючий асинхронний електромагнітний момент знаходиться як сума моментів 1-ї, 5-ї 7-ї гармонік та ін.

Асинхронні електромагнітні моменти від ВГ спотворюють криву основного електромагнітного моменту АД. Найбільше спотворення спостерігається в зоні малих швидкостей обертання АД, де додаткові асинхронні моменти, пов'язані з ВГ, максимальні [5, 6]. Реальну небезпеку ВГ викликають у випадку короткозамкненої обмотки ротора, оскільки опір стрижнів і ділянок кілець дуже малий., а струми ВГ значні, викликає вібрації ротора.

Наявність ВГ призводить до незатухаючих коливальних процесів як моменту на валу, так і частоти обертання ротора, а також вібрації АД. В залежності від значення визначеної гармоніки і при достатньо великому статичному моменті на валу може наступити стійкий момент роботи при великому ковзанні і малій частоті обертання в процесі пуску, що може призвести до перегріву АД.

Список використаних джерел

1. Попова І. О. Аналіз впливу вищих гармонійних складових на роботу електромеханічних перетворювачів. *Сучасний стан та перспективи розвитку електротехнічних систем*. III Всеукр. наук.-практ. інтернет-конф. пам'яті В.В. Овчарова: зб. тез доповідей. Мелітополь, 2021. С. 34-35.
2. ДСТУ EN 50160:2014 Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загальної призначеності. Київ: Мінекономрозвитку України, 2014. 36 с.
3. Кононов Б. Т. Куравська Н.М. Вплив вищих гармонік на роботу дугостаторного асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2016. Вип. 4(40). С. 21-23. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/suntz_2016_4_8 (дата звернення 01.02.2026).
4. Попова І. О., Попрядухін В. С. Параметри контролю несиметричних режимів роботи асинхронних двигунів для розробки ефективного захисту. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2019. Вип. 9, т. 1(41).
5. Попова І. О., Курчанов А. А. Система компенсації реактивної потужності в сільських мережах як засіб скорочення витрат *Сучасний стан та перспективи розвитку електротехнічних систем*. III Всеукр. наук.-практ. інтернет-конф. пам'яті В.В. Овчарова: зб. тез доповідей. Мелітополь, 2021. С. 34-35.
6. Omar Sh. Al-Yozbaky Ye., Kadir Z. Influence of non-sinusoidal power supply on the performance of a single-phase capacitor induction motor. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*. 2022. Vol. 25(3). P. 1246. <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v25.i3.pp.1246-1257>

Науковий керівник: Попова І. О., к.т.н., доц.