УДК 631.37:621.313.13

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ВИЩИХ ГАРМОНІЙНИХ СКЛАДОВИХ НА РОБОТУ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

Попова І.О., к.т.н. irinapopova54@gmail.com
Таврійський державний агротехнологічний університет імен Дмитра Моторного

Актуальність та постановка проблеми. 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, 2].

Основні матеріали дослідження. 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

$$n_{1k} = \frac{60 \cdot f_k}{p} = (\frac{60 \cdot f_1}{p}) \cdot k = k \cdot n_1, \qquad (1)$$

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; $f_1 = k \cdot f_1$.

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

Напрям обертання магнітного поля, створеного ВГ струму, залежить від номера цієї гармоніки. П'ята і одинадцята ВГ магнітного потоку обертаються в сторону, протилежну напряму 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 несиносоїдної напруги виникають додаткові втрати активної потужності, обумовлені ВГ струму в колах статора і ротора. Ці втрати можна визначити за формулою

$$\Delta P_{АДk} = \Delta P_{м.н} \cdot \sum_{i=2}^{k} k_{д.k} \approx 0{,}2 \cdot \Delta P_{ном} \cdot \sum_{i=2}^{k} k_{д.k}\,, \qquad (2)$$

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

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

$k_{д.k}$ – 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–й гармоніки Φ_{km} в порівнянні з магнітним потоком основної гармоніки Φ_{km}, складе

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

Магнітні втрати у сталі можна оцінити співвідношенням

$$\frac{\Delta P_{м.k}}{\Delta P_{м.1}} = \frac{0{,}25}{k^2 \cdot \sqrt{k}}, \quad (4)$$

де $P_{1.k}$, $P_{м.k}$ – відповідні втрати в магнітопроводі (сталі), обумовлені 1-й і *k*-й гармоніками магнітного потоку, Вт.

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. Електромагнітний момент від дії ВГ можна приблизно розрахувати, якщо прийняти $S_k \approx 1$ (момент пуску M_n) за виразом [4, 5]

$$M_k \approx \frac{M_n}{k^4} \cdot \quad (5)$$

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 [6]

$$M = M_1 + M_5 + M_7 \cdot \quad (6)$$

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.

Висновок. 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. Визначення параметрів активно-ємнісного фільтра напруги зворотної послідовності. *Сучасний стан та перспективи розвитку електротехнічних систем*: зб. тез доповідей І Всеукр. наук.-практ. інтернет-конф. пам'яті В.В. Овчарова:. Мелітополь, 2020. С. 18-19.

2. Донской Н.В. Асинхронный двигатель в системах автоматического управления. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2012. 284 с.

3. Немцев, Г. А. Немцев Г. А., Селезнев Е. А., Шестакова Л. А. Влияние высших гармонических составляющих на работу асинхронных двигателей. *Вестн*. Чуваш. ун-т. 2014. № 2. С. 46–51.

4. Попова І.О., Попрядухін В.С. Параметри контролю несиметричних режимів роботи асинхронних двигунів для розробки ефективного захисту. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. Вип. 9. Т. 1 (41), 2019.

5. Попова І.О. Контроль режимів роботи асинхронних двигунів при несиметрію напруг мережі. /Автореф. дис. кандидата техн. наук. Мелітополь: 2003. 20 с.

6. Жежеленко, И. В. Высшие гармоники в системах электроснабжения предприятий М: Энергоатомиздат, 2000. 331 с.