

УДК 621.311

О.О. Ручка, О.С. Назарчук

Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

ШЛЯХИ ЗНИЖЕННЯ ВТРАТ ПРИ РОБОТІ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

В статті розглянуті варіанти зниження втрат при роботі електроприводу.

Ключові слова: асинхронний двигун; частотно-керований електропривод; втрати в двигуні; векторне управління.

Вступ

Втрати в частотно-керованому електроприводі рівні сумі втрат в двигуні і електроприводі. Розглянемо вплив вищих гармонійних складових на величину втрат в системі ПЧ-двигун. Момент двигуна, що крутить, обумовлений полями, створюваними вищими гармоніками, незначний. Це пов'язано з тим, що із зростанням частоти гармонійною складовою зменшується струм і збільшується ковзання ротора, викликаючи зростання зрушення фаз між струмом і магнітним потоком. Додаткові втрати в двигуні, що викликаються вищими гармонійними складовими, визначаються амплітудами фазної напруги і активної складової фазного струму v -х гармонік. В електроприводі в процесі регулювання частоти гармонійний склад практично не міняється.

Виклад основного матеріалу

В електродвигуні втрати можна зменшити шляхом збільшення несучої частоти, проте при цьому ростуть втрати в електроприводі. Несуча частота повинна вибиратися таким чином, щоб сума втрат в частотно-керованому електроприводі була мінімальною [1, 2].

На рис. 1 приведені графіки втрат в двигуні і електроприводі від вищих гармонійних складових і показана залежність втрат від співвідношення ε між несучою частотою і частотою електроприводу. Криві побудовані для серійних асинхронних двигунів з короткозамкнутим ротором серії А для варіанту їх роботи з частотою 50 Гц. Втрати в електроприводі зростають із збільшенням несучої частоти, практично по лінійному закону. Втрати в двигуні ростуть при зменшенні ε .

При відношенні ε несучої частоти до вихідної частоти електроприводу більшої 12 додаткові втрати в двигуні знижуються практично до нуля. Оптимальне співвідношення ε рівно 8 або 9. Робота з $\varepsilon < 6$ не рекомендується, оскільки сумарні втрати в системі ПЧ-двигун збільшуються через істотне зростання втрат в двигуні. Робота системи при $\varepsilon > 9$ допустима, але небажана у зв'язку з тим, що із зростанням ε відбувається недовикористання джерела живлення.

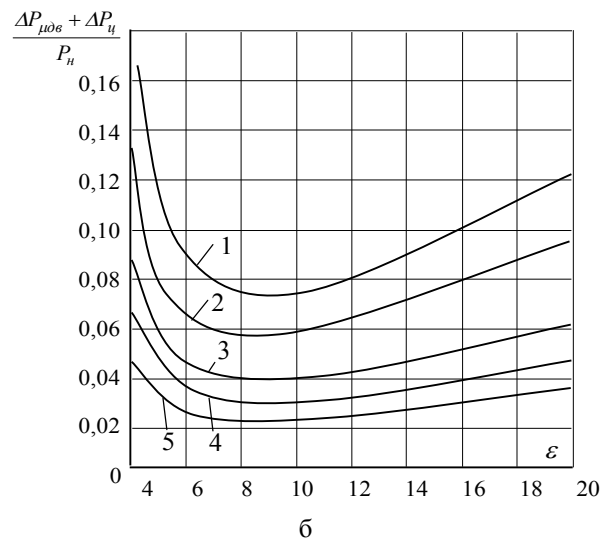
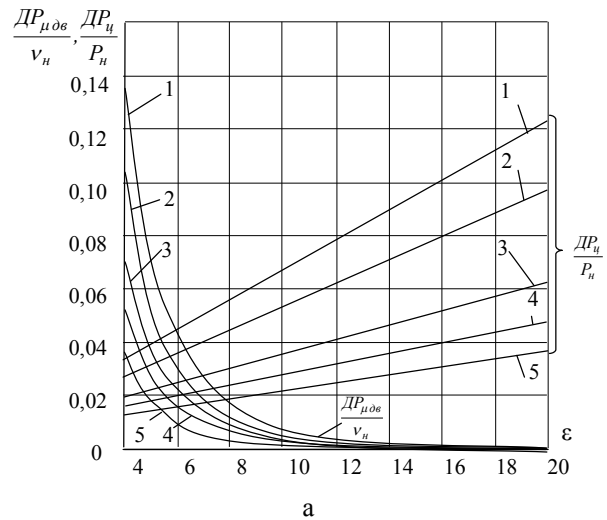


Рис. 1. Втрати в системі ПЧ-двигун
а – криві втрат в двигуні від вищих гармонійних складових в електроприводі; б – сумарні втрати в системі ПЧ-двигун; 1 – привід з двигуном А31-6 (0,4 кВт); 2 – А42-6 (1,7 кВт); 3 – А62-6 (10 кВт); 4 – А81-6 (28 кВт); 5 – А92-6 (75 кВт).

$\Delta P_{\mu\delta v}$ – втрати в двигуні від вищих гармонійних складових;

$\Delta P_{\text{ц}}$ – втрати в електроприводі;

P_n – номінальна потужність двигуна

Аналіз результатів, приведених на рис. 1, показує, що додаткові втрати, що викликаються вищими гармоніками знижують коефіцієнт корисної дії частотно-керованого електроприводу на 2%–8%. При

цьому чим більше потужність, потрібна для приводу антени радіолокатора, тим більше зниження коефіцієнта корисної дії. Проте цей небажаний ефект може бути пом'якшений за рахунок зміни параметрів двигуна в процесі цільової розробки частотно-керуваного електроприводу з ПЧ.

Для асинхронних короткозамкнутих електродвигунів звичайних серій величина x_0 як правило, незмінна: $x_0 = 3,0$. Найбільш істотний вплив на вибір параметрів силової схеми надає величина індуктивного опору короткого замикання двигуна $x'_1 \approx (x_1 - x_0^2)/x_2$. Фізично це пояснюється тим, що потрібна для компенсації величина ємкості C визначається реактивною потужністю навантаження, яке характеризується параметром $x'_1(L'_1)$. Оскільки найбільші комутаційні перенапруження виникають в режимах номінального навантаження і перевантаження по струму, скористаємося для якісної оцінки наближеним виразом:

$$U_{Cm} \approx I_n \sqrt{2L'_1/C}. \quad (1)$$

Звідси очевидна доцільність зменшення величини L'_1 . При зменшенні величини L'_1 наприклад, в 2 рази (тобто $x'_1 = 0,1$ замість звичайного $x'_1 = 0,2$) виникають наступні варіанти рішень:

1. Можливе зменшення в 2 рази величини еквівалентної ємкості. При цьому напруга U_{Cm} залишається на незмінному рівні, але в два рази зменшується встановлена потужність комутуючих конденсаторів. Із зменшенням ємкості поліпшується гармонійний склад вихідного струму, або при тих же пульсаціях в струмі I_n можна вибрати менше значення індуктивності згладжуючого дроселя.

2. Можливе залишення незмінною величини ємкості C . При цьому напруга U_{Cm} зменшилася б в $\sqrt{2}$. Реально допустимо знижувати U_{Cm} не так

різко, щоб не порушувалася умова $U_{Cm}/\sqrt{3}E_2 \geq 1$, тобто необхідне хоч би невелике зниження ємкості. Вибір першого або другого варіанту визначається прийнятим критерієм оптимізації: зменшення величини L_n і ємкості конденсаторів або зниження комутаційних перенапружень на двигуні і напруги на елементах електроприводу. На практиці може бути рекомендований компромісний варіант, коли при зменшенні L'_1 проводиться деяке (але не пропорційне L'_1) зниження ємкості C і частково досягаються обидва бажані ефекти.

3. Зазвичай прийнято вважати, що обмеження величини $\alpha_{max} = \omega_{max}/\omega_n$ є принциповим для електроприводу. Проте, якщо при проектуванні спеціальних високооборотних двигунів (наприклад, на частоту $f_n = 100\text{Гц}$) буде виконано вимогу $x'_1/f_n = 100\text{Гц} = 0,2$, то можлива нормальна робота електроприводу на високій частоті з конденсаторами, що забезпечують звичайний рівень перенапружень. Таким чином, цільове проектування асинхронного електродвигуна знімає обмеження по верхній частоті для електроприводу. Розробка спеціального двигуна на частоту $f_n = 100\text{Гц}$ з пониженим значенням x'_1 в даний час виконується для перетворювача частоти для стенду навантаження випробування дизелів.

Розглянемо, як впливає величина x'_1 на вибір ємкості по умові (2):

$$\frac{2\pi}{3} - \delta < \frac{\pi}{3} + \frac{12}{\pi} \cdot \frac{x_0^2}{x_2} \cdot \frac{\alpha^2}{x_c} \times [\cos^2 Q - \cos(Q - \pi/3)] + \sqrt{2x'_1} \cdot \alpha / \sqrt{x_c}. \quad (2)$$

Виконання цієї умови забезпечує завершеність комутаційних процесів і принципову працездатність електроприводу. Залежності $\sqrt{x_c} \cdot \alpha = f(\omega_2)$ для $x'_1 = 0,1; 0,15; 0,2$ приведені на рис. 2.

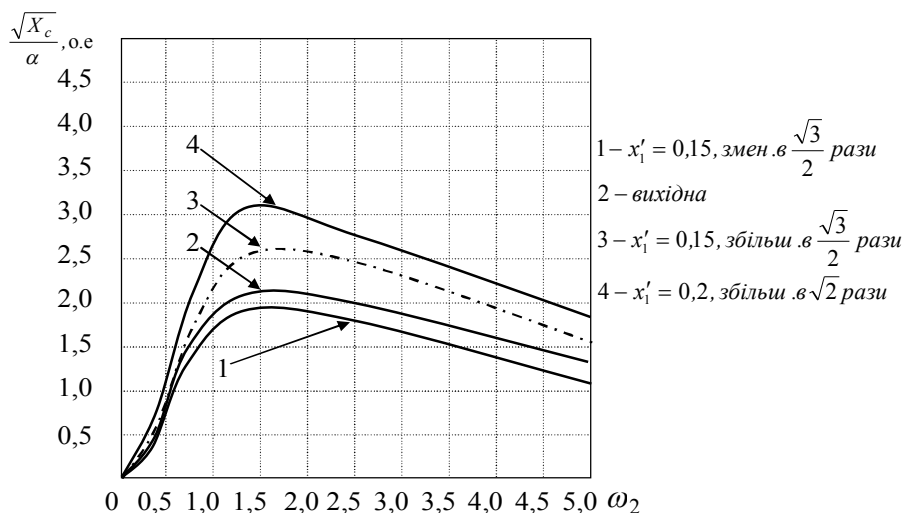


Рис. 2. Граничні залежності по умові додаткового відкриття ОД (криві 1 – 4) і умові завершеності комутаційних процесів (крива 5)

З рис. 2 витікає, що у визначальному режимі холостого ходу ($\omega_2 = 0$) значення $\sqrt{x_c}/\alpha$ міняється неістотно навіть при значній зміні x'_1 , тобто граничне значення ємкості по (2) практично не залежить від величини x'_1 . Необхідно вказати на принципову відмінність проектування асинхронного двигуна для системи з ПЧ і системами з автономним інвертором напруги. Якщо в першому випадку, як показано вище, необхідно прагнути до зменшення величини x'_1 , то для системи з інвертором напруги така міра негативно позначиться на гармонійному складі вихідного струму. При живленні двигуна від електроприводу

відносна амплітуда гармоніки кратності k по відношенню до основної рівна $I_k^* = 1/k$. При живленні від інвертора напруги приблизно:

$$I_k^* = \frac{1}{I_1/I_{1k}} \cdot \frac{U_k}{k} \cdot \frac{1}{k\alpha x'_1} \quad (3)$$

При зміні U пропорційно α отримуємо:

$$I_k^* = \frac{1}{I_1/I_{1k}} \cdot \frac{1}{k^2 x'_1} \quad (4)$$

На рис. 3 приведені графіки залежності $I_k^* = f(I_1/I_{1k})$ при $k = 5; 7; 11$ для значень $x_1 = 0,15$ и $x'_1 = 0,2$.

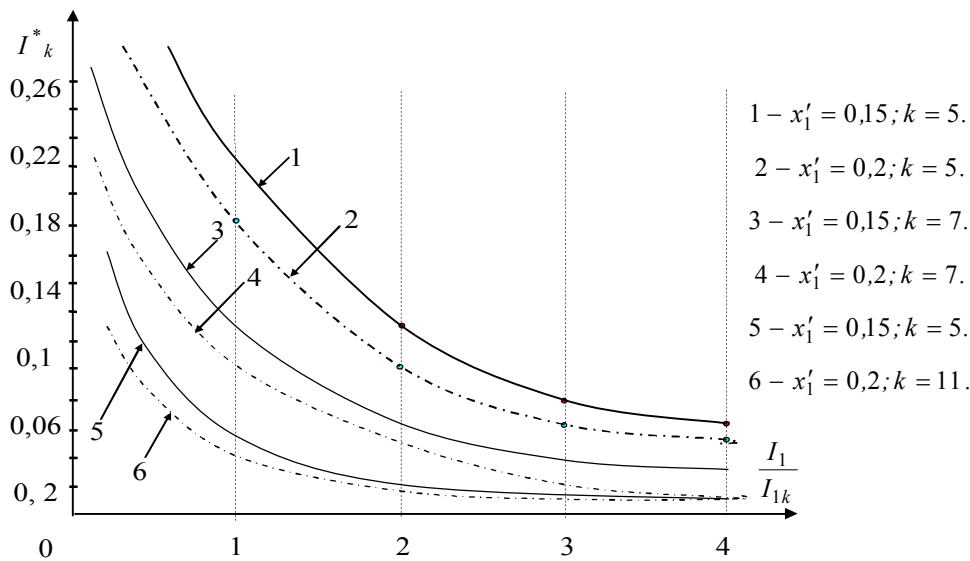


Рис. 3. Графік залежності $I_k^* = f(I_1/I_{1k})$

Висновки

З рис. 3 видно, що зменшення x'_1 істотно погіршує гармонійний склад вихідного струму для паралельної схеми, причому для струмів, менших номінального значення I_k^* для паралельної схеми більш ніж в послідовній схемі.

Таким чином, для електроприводу необхідно проектувати асинхронний двигун із зниженими значеннями x'_1 , а для інвертора напруги — з підвищеними.

Список літератури

1. Современный частотно-регулируемый электропривод / Горбань Р.Н., Янукович А.Т. – под редакцией Гаврилова А.В. – С.-Пб.: СПЭК, 2001.
2. Дартау В.А. Асинхронные электроприводы с векторным управлением / В.А. Дартау, В.В. Рудаков, И.М. Столяров. – Л.: Энергоатомиздат, Л.О., 1987.

Надійшла до редколегії 10.09.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Б.Т. Кононов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

ПУТИ СНИЖЕНИЯ ПОТЕРЬ ПРИ РАБОТЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

А.Е. Ручка, О.С. Назарчук

В статье рассмотрены варианты снижения потерь при работе электропривода.

Ключевые слова: асинхронный двигатель; частотно управляемый электропривод; потери в двигателе; векторное управление.

WAYS OF DECLINE OF LOSSES DURING WORK OF ELECTRIC DRIVE

O.O. Ruchka, O.S. Nazarchuk

In the article the variants of decline of losses are considered during work of electric drive.

Keywords: asynchronous engine; frequency guided electric drive; losses are in an engine; vectorial control.