

О. Ю. БАЛІЙЧУК, Л. В. ДУБИНЕЦЬ, О. Л. МАРЕНИЧ, О. О. ЛИСЕНКО

Кафедра «Електротехніка та електромеханіка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 47, ел. пошта: lejbaliychuk@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0119-1446>, <https://orcid.org/0000-0003-0319-4544>, <https://orcid.org/0000-0003-3602-5851>

ПІДВИЩЕННЯ КОЕФІЦІЄНТУ ПОТУЖНОСТІ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ НЕСТАНДАРТНОГО ОБЛАДНАННЯ ПІДПРИЄМСТВ З РЕМОНТУ РУХОМОГО СКЛАДУ ЗАЛІЗНИЦЬ

Вступ

Енергія, і зокрема електрична, є одним з найважливіших продуктів у сучасному розвиненому суспільстві. Як і всі природні ресурси, енергетичні ресурси можуть виснажитися, тому важливо заощаджувати якомога більшу кількість енергії.

Енергозбереження як діяльність (організаційна, наукова, практична, інформаційна), спрямована на раціональне використання енергії і природних енергетичних ресурсів – державна проблема.

Серед споживачів електричної енергії значну частку складають електродвигуни різного призначення, що споживають суттєву частку виробленої енергії. Загальна встановлена потужність асинхронних двигунів (АД) в Україні складає близько 40...50 млн. кВт [1].

Постановка задачі

Значна кількість електроприводів встановлена на устаткуванні, яке використовується на підприємствах з ремонту залізничної техніки (локомотивні та вагонні депо, заводи з ремонту рухомого складу залізниць та ін.). Тому розробка рекомендацій з вибору раціональних режимів роботи електроприводів технологічних установок на вказаних підприємствах з точки зору їх енергетичних показників, до яких належать втрати потужності та енергії, коефіцієнт корисної дії (ККД), коефіцієнт потужності ($\cos \varphi$), є безумовно актуальним питанням.

В даній роботі досліджується доцільність підвищення коефіцієнта потужності при зменшенні коефіцієнта завантаження

електродвигуна привода $k_3 = \frac{P_r}{P_{\text{ном}}}$,

де P_r реальна фактична потужність, яку

розвиває електродвигун, а $P_{\text{ном}}$ номінальна потужність електродвигуна [2].

В технологічних установках вказаних підприємств у теперішній час досить широко застосовується низьковольтний (380 В) асинхронний електропривод. При цьому обмотки статора з'єднані в «трикутник». В роботі досліджується раціональний метод підвищення коефіцієнту потужності електроприводів нестандартного обладнання (конвеєри для ремонту букс, підшипників, мийні машини для миття різного обладнання та ін.), в якому використовуються асинхронні трифазні короткозамкнені двигуни потужністю до 90 кВт [3, 4].

При існуючих технологіях ремонту коефіцієнт k_3 може змінюватись від одиниці до декілька десятих долей одиниці. Відомо, що із зменшенням k_3 значення коефіцієнта потужності $\cos \varphi$ зменшується, що приводить до збільшення реактивного навантаження мережі живлення (при зменшенні активної потужності електродвигуна). Реактивне навантаження зумовлює значні втрати енергії в мережі. Для підвищення економічності електропостачання підприємства, покращення якості напруги і підвищення продуктивності електрифікованого обладнання потрібно зменшувати ці (реактивні) навантаження. Кількісно зменшення коефіцієнта потужності $\cos \varphi$ можна визначити з табл. 1 [2].

За табл. 1 видно, що при $0,6 \leq k_3 \leq 1$ значення $\cos(\varphi)_\Delta$ при нормальній схемі з'єднання обмоток статора (тобто по схемі «трикутник» при 380 В мережі) відрізняється від $\cos(\varphi)_{\text{ном}}$ в межах до 10% і задачу його корекції можна не ставити. При $k_3 \leq 0,5$ значення $\cos(\varphi)$ при схемі «трикутник» суттєво зменшується.

Орієнтовні значення $\cos(\varphi)_\Delta / \cos(\varphi)_{\text{ном}}$ асинхронних двигунів залежно від навантаження

k_3 , відн.од.	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$\cos(\varphi)_\Delta / \cos(\varphi)_{\text{ном}}$, відн. од.	0,34	0,56	0,7	0,79	0,87	0,93	0,97	1,0	1,0	1,0

$\cos(\varphi)_\Delta$ - значення коефіцієнта потужності при з'єднанні обмоток статора у « Δ ».

Якісно оцінити значення $\cos(\varphi)$ можна за табл.2 [5].

Таблиця 2

Якісна оцінка значення $\cos(\varphi)$

Оцінка значення $\cos(\varphi)$	Високе	Добре	Задовільне	Низьке	Незадовільне
cos	0,95...1	0,8...0,95	0,65...0,8	0,5...0,65	0...0,5

На думку авторів найбільш раціональним способом підвищення $\cos(\varphi)$ нерегульованих асинхронних приводів нестандартних технологічних установок на підприємствах по ремонту рухомого складу залізниць є перемикання обмоток статора з «трикутника» на «зірку».

Цей спосіб простий по виконанню, не потребує встановлення додаткового компенсуючого обладнання. Важливо й те, що легко здійснюється й зворотнє переключення обмоток статора з «зірки» на «трикутник». У теперішній час промисловість випускає асинхронні двигуни на 380 В, в яких передбачено з'єднання обмоток статора тільки в «трикутник», тобто при напрузі в мережі 380 В з'єднання в «зірку» не можливо. Але цілий ряд підприємств заявили про готовність виготовлювати електродвигуни з параметрами, які встановлені замовником.

Враховуючи тенденцію постійного суттєвого зростання вартості електроенергії, виготовлення спеціальних асинхронних трифазних двигунів для електропривода технологічного нестандартного обладнання підприємств з ремонту рухомого складу залізниць може бути ефективним.

Метою даної роботи є дослідження ефективності збільшення (шляхом перемикання обмоток статора з «трикутника» на «зірку») коефіцієнта потужності електродвигунів вказаного обладнання при $0,5 \leq k_3$ з точки зору оцінки якості $\cos(\varphi)$ та зменшення повної потужності.

Переключення обмоток статора з «зірки» на «трикутник» можливо при виконанні наступних умов:

У двигуна виведені всі шість кінців обмоток статора;

Обмотки статора нормально (у нашому випадку при 380 В у мережі живлення депо) ввімкнені у «трикутник»;

В конструкції передбачені приєднувальні отвори.

Для досягнення поставленої мети пропонується наступна методика:

При обраному значенні k_3 по рис.1 визначаємо коефіцієнт $K_\eta = \eta_r / \eta_{\text{ном}}$, де η_r ККД електродвигуна при обраному значенні k_3 , $\eta_{\text{ном}}$ номінальне значення ККД електродвигуна.

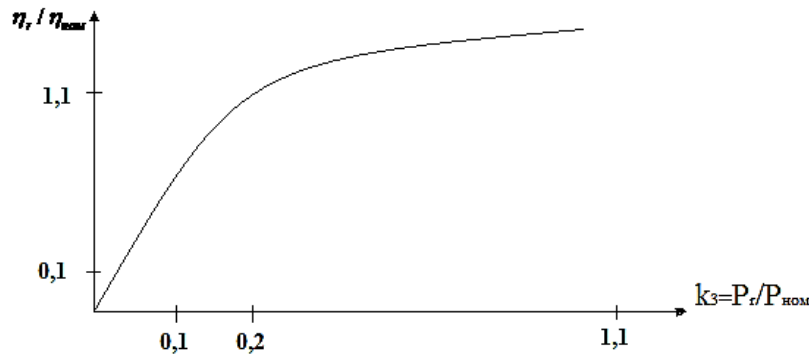


Рис.1. Усереднена залежність ККД електродвигуна від коефіцієнта завантаження [2]

Визначити:

$$\eta_r = \eta_{\text{ном}} k_\eta$$

1.1. Реальну практичну потужність $P_r = (P_{\text{ном}} k_3)$ кВт

1.2. Повну активну потужність, яка споживається з мережі електродвигуном

$$P_M = \frac{P_r}{\eta_r} \text{ кВт}$$

1.3. $K_{\cos \varphi_\Delta} = \frac{\cos \varphi_\Delta}{\cos \varphi_{\text{ном}}}$ (табл. 1) при обраному

k_3 , де $\cos \varphi_\Delta$ коефіцієнт потужності

електродвигуна при даному k_3 і з'єднанні обмоток статора в «трикутник».

$$1.4. \cos \varphi_\Delta = K \cos \varphi_\Delta \cdot \cos \varphi_{\text{ном}}$$

1.5. Повну потужність, яку споживає електродвигун із мережі при з'єднанні обмоток статора у «трикутник» $S_\Delta = \frac{P_M}{\cos \varphi_\Delta}$ кВА

$$1.6. \cos \varphi_r = \frac{\cos \varphi_r}{\cos \varphi_\Delta}$$

Таблиця 3

Залежність зміни номінального коефіцієнта потужності $\cos \varphi_{\text{ном}}$ електродвигуна під час перемикання обмоток статора з «трикутника» на «зірку»

$\cos \varphi_{\text{ном}}$	Відношення $\frac{\cos \varphi_r}{\cos \varphi_\Delta}$ за коефіцієнтів завантаження k_3				
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
0,78	1,94	1,8	1,64	1,49	1,35
0,8	1,85	1,73	1,58	1,43	1,3
0,82	1,78	1,67	1,52	1,37	1,26
0,84	1,72	1,61	1,46	1,32	1,22
0,86	1,66	1,55	1,41	1,27	1,18
0,88	1,6	1,49	1,35	1,22	1,14
0,9	1,57	1,43	1,29	1,17	1,1
0,92	1,5	1,36	1,29	1,11	1,06

1.7. Повну потужність, яка споживається електродвигуном при з'єднанні обмоток

статора в «зірку» $S_r = \frac{P_M}{\cos \varphi_r}$ кВА

$$1.8. \Delta S = (S_\Delta - S_r) \text{ кВА}$$

1.9. Ефективність перемикання обмоток статора з «трикутника» на «зірку».

$$\frac{S_\Delta - S_r}{S_\Delta} \cdot 100\%$$

$$1.10. \left| \frac{\cos \varphi_\Delta - \cos \varphi_r}{\cos \varphi_\Delta} \cdot 100\% \right|$$

1.11. Якісну оцінку значення коефіцієнтів $\cos \varphi_r$ та $\cos \varphi_\Delta$ згідно табл. 2.

Для прикладу приймаємо електродвигун типу ЕД5АМ250М4, який має номінальну потужність 90кВт, що достатньо для електропривода мийної машини тягових двигунів [3,4].

Технічні характеристики ЕД5АМ250М4:

$\cos \varphi_{\text{ном}} = 0.89$, $P_{\text{ном}} = 90$ кВт, $\eta_{\text{ном}} = 0.94$,
 $n_c = 1500$ об/хв.

Згідно запропонованої вище методики при
 $k_3 = 0.5$ маємо:

1. $K_\eta = 1.01$

2. $\eta_r = 0.94 \cdot 1.01 = 0.949$

3. $P_r = 90 \cdot 0.5 = 45$ кВт

4. $P_M = \frac{45}{0.949} = 47.42$ кВт

5. $K_{\cos \varphi_\Delta} = 0.87$

6. $\cos \varphi_\Delta = 0.87 \cdot 0.94 = 0.818$

7. $S_\Delta = \frac{47.42}{0.818} = 57.97$ кВА

8. $\cos \varphi_r = 0.818 \cdot 1.12 = 0.916$

$K \cos \varphi_r = 1.12$

9. $S_r = \frac{47.42}{0.916} = 51.77$ кВА

10. $\Delta S = 57.97 - 51.77 = 6.2$ кВА

11. $\frac{57.97 - 51.77}{57.97} \cdot 100\% = 10.7\%$

12. $\left| \frac{0.818 - 0.916}{0.818} \right| \cdot 100\% = 10.7\%$

13. Оцінка якості $\cos \varphi_r$ - «добре», $\cos \varphi_\Delta$ - «добре».

Аналогічні розрахунки виконані для
 $k_3 = 0.4; 0.3; 0.2; 0.1$.

Результати зведені в табл.4.

Таблиця 4

Кінцеві результати розрахунків

k_3	$\cos \varphi_\Delta$	S_Δ кВА	$\cos \varphi_r$	S_r кВА	ΔS кВА	$\frac{\Delta S}{S_\Delta} \%$	$\frac{\cos \varphi_\Delta - \cos \varphi_r}{\cos \varphi_\Delta} \%$	Оцінка якості	
								$\cos \varphi_r$	$\cos \varphi_\Delta$
0,5	0,818	57,97	0,916	51,77	6,2	10,7	12	Добре	Добре
0,4	0,73	55,66	0,864	46,36	9,3	16,7	20	Добре	задовільне
0,3	0,623	50,69	0,822	38,42	12,27	36	31,9	Добре	низьке
0,2	0,498	50,62	0,727	34,68	15,94	31,49	46	задовільне	незадовільне
0,1	0,3	66,67	0,475	42,1	24,57	36,85	58,3	незадовільне	незадовільне

Дані табл. 4 можуть бути орієнтиром при розробці технології ремонту рухомого складу з раціональним використанням нестандартного обладнання (в даному випадку мийної машини тягових двигунів) і забезпечення оцінки значення $\cos \varphi$ не нижче «добре» (тобто забезпечити значення $\cos \varphi$ не менше 0,8 – див. табл. 2). Звернемо увагу, що вже при $k_3 = 0.4$ маємо $\cos \varphi_\Delta = 0.73$, що не відповідає оцінці «добре». Знайдемо мінімальне значення k_3 , при якому $\cos \varphi_r = 0.8$. Для цього по даним табл.4 побудуємо $\cos \varphi_r = f(k_3)$ (рис.2).

Із рис.2 видно, що для забезпечення значення $\cos \varphi$ не менше 0,8 мийну машину для тягових двигунів можна завантажити іншими деталями вага яких забезпечує $0.28 \leq k_3 \leq 0.5$. Таке рішення зменшує кількість технологічних установок (відпадає необхідність в мийних машинах для деталей, яку по габаритам можна розмістити в даній машині) і досягається суттєва економія електроенергії за рахунок «доброго» $\cos \varphi_r$.

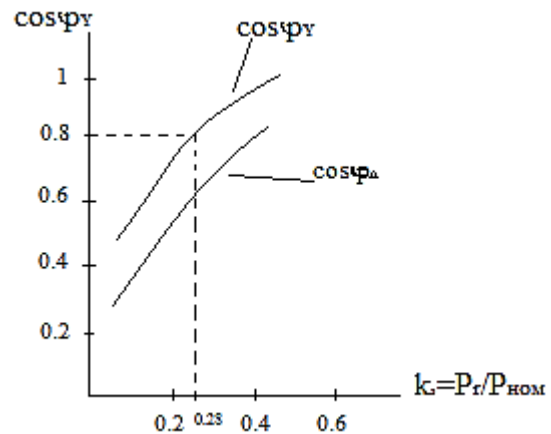


Рис.2. Значення $\cos \varphi$ при з'єднанні обмоток статора в «трикутник» та «зірку»

Враховуючи, що на підприємствах по ремонту рухомого складу залізниць використовується значна кількість нестандартного обладнання і в майбутньому при механізації і автоматизації праці кількість цього обладнання буде зростати, підвищення $\cos \varphi$ електроприводів технологічного обладнання до рівня не менше, ніж «добре», може дати суттєву економію електроенергії.

Висновки

1. На підприємствах з ремонту рухомого складу залізниць використовується велика кількість нестандартного технологічного обладнання з потужністю асинхронного нерегульованого трифазного електропривода, що значну кількість часу працює при коефіцієнті завантаження менше 0,5 до 90кВт. Забезпечення експлуатації цього обладнання з коефіцієнтом потужності не менше, ніж $\cos\varphi = 0,8$, може дати значну економію електроенергії.

2. Доведено, що раціональним способом підвищення $\cos\varphi$ вказаного електропривода є перемикання обмоток статора з «трикутника» на «зірку», який є простий по виконанню, не

потребує встановлення додаткового компенсуючого обладнання.

3. Запропоновано методику по визначенню мінімального коефіцієнта завантаження електропривода технологічної установки, при якому коефіцієнт потужності не менше 0,8, якщо обмотки статора з'єднані за схемою «зірка».

4. Для двигуна типу ЕД5АМ250М4 потужністю 90 кВт проведено аналіз оцінки якості $\cos\varphi$. Встановлено, що $\cos\varphi$ двигуна матиме оцінку «добре» при з'єднанні «зірка» при $k_3 = 0,5 \dots 0,3$, а при «трикутнику» - лише при $k_3 = 0,5$, чим доведено доцільність перемикання обмоток статора на схему «зірка» при малих завантаженнях двигуна.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Закладний, О. М. Энергоббереження засобами промислового електропривода: навчальний посібник [текст] / О. М. Закладний, А. В. Праховник, О. І. Соловей, - К: Кондар, 2005. – 408 с.
2. ДСТУ 3886 – 99. Энергоббереження. Системи електроприводу. Метод аналізу та вибору [текст]. – Надано чинності 2000-07-01. – Київ: Держстандарт України, 2000. – 54 с.
3. Поточные линии ремонта локомотивов в депо [текст] / Н. И. Фильков, Е. А. Дубинский, М. М. Майзель, И. Б. Стерлин. – М.: Транспорт, 1983. – 302 с.
4. Нестандартное технологическое оборудование для ремонта локомотивов, вагонов и моторвагонного подвижного состава. ООО «Транс-Атом» [електронний ресурс]. Режим доступу: <https://trans-atom.com/page/about.html>
5. Коэффициент мощности Типовые оценки качества электропотребления [електронний ресурс]. Режим доступу: http://energetika.vipsekret.ru/a_energetika&koeffitsient-moshnosti&1.htm

REFERENCES

1. Zakladnyy, O. M. Enerhozberezhennya zasobamy promyslovoho elektropyvoda: navchal'nyy posibnyk [tekst] / O. M. Zakladnyy, A. V. Prakhovnyk, O. I. Solovey, - K: Kondar, 2005. – 408 s.
2. DSTU 3886 – 99. Enerhozberezhennya. Systemy elektropyvodu. Metod analizu ta vyboru [tekst]. – Nadano chynnosti 2000-07-01. – Kyiv: Derzhstandart Ukrainy, 2000. – 54 s.
3. Potochnye linii remonta lokomotivov v depo [tekst] / N. I. Fil'kov, E. A. Dubinskij, M. M. Majzel', I. B. Sterlin. – M.:Transport, 1983. – 302 s.
4. Nestandardnoe tekhnologicheskoe oborudovanie dlya remonta lokomotivov, vagonov i motor-vagonnogo podvizhnogo sostava. ООО «Trans-Atom» [elektronnij resurs]. Rezhim dostupu: <https://trans-atom.com/page/about.html>
5. Koeffficient moshchnosti Tipovye ocenki kachestva ehlektropotrebleniya [elektronnij resurs]. Rezhim dostupu: http://energetika.vipsekret.ru/a_energetika&koeffitsient-moshnosti&1.htm

Електрична енергія є одним з найважливіших продуктів у сучасному розвиненому суспільстві. Серед споживачів електричної енергії значну частку складають електродвигуни різного призначення. Розробка рекомендацій з вибору раціональних режимів роботи електроприводів технологічних установок з точки зору їх енергетичних показників, до яких належать втрати потужності та енергії, коефіцієнт корисної дії (ККД), коефіцієнт потужності ($\cos\varphi$), є безумовно актуальним питанням.

В даній роботі досліджується доцільність підвищення коефіцієнта потужності при зменшенні коефіцієнта завантаження електродвигуна привода.

Проаналізовано широкий спектр технологічних процесів по ремонту рухомого складу залізниць, в ході чого встановлено, що більша частина обладнання тривалий час працює із коефіцієнтом завантаження меншим за 0,5. Доведено, що раціональним способом підвищення вказаних електроприводів є перемикання обмоток статора з «трикутника» на «зірку».

Запропоновано методику із визначення мінімального коефіцієнта завантаження електропривода технологічної установки, при якому коефіцієнт потужності лежить в межах оцінки якості «добре» і «відмінно».

Ключові слова: коефіцієнт потужності; енергозбереження; ремонт рухомого складу залізниць; коефіцієнт завантаження; зірка; трикутник.

УДК 621.3.018.14:629.4.083

А. Ю. БАЛИЙЧУК, Л. В. ДУБИНЕЦ, О. Л. МАРЕНИЧ, О. О. ЛЫСЕНКО

Кафедра «Электротехника и электромеханика», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днипро, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 47, эл. почта: lejikbaliychuk@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0119-1446>, <https://orcid.org/0000-0003-0319-4544>, <https://orcid.org/0000-0003-3602-5851>

Электрическая энергия является одним из важнейших продуктов в современном развитом обществе. Среди потребителей электрической энергии значительную долю составляют электродвигатели различного назначения. Разработка рекомендаций по выбору рациональных режимов работы электроприводов технологических установок с точки зрения их энергетических показателей, к которым относятся потери мощности и энергии, коэффициент полезного действия (КПД), коэффициент мощности, является безусловно актуальным вопросом.

В данной работе исследуется целесообразность повышения коэффициента мощности при уменьшении коэффициента загрузки электродвигателя привода.

Проанализирован широкий спектр технологических процессов по ремонту подвижного состава, в ходе чего установлено, что большая часть оборудования длительное время работает с коэффициентом загрузки меньше 0,5. Доказано, что рациональным способом повышения указанных электроприводов является переключение обмоток статора с «треугольника» на «звезду».

Предложена методика по определению минимального коэффициента загрузки электропривода технологической установки, при котором коэффициент мощности лежит в пределах оценки качества «хорошо» и «отлично».

Ключевые слова: коэффициент мощности; энергосбережение; ремонт подвижного состава; коэффициент загрузки; звезда; треугольник.

УДК 621.3.018.14:629.4.083

О. Yu. BALIICHUK, L. V. DUBYNETS, O. L. MARENYCH, O. O. LYSENKO

Department of Electric Engineering and Electromechanics, Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 47, e-mail: lejikbaliychuk@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0119-1446>, <https://orcid.org/0000-0003-0319-4544>, <https://orcid.org/0000-0003-3602-5851>

Electric energy is one of the most important products in a modern developed society. Electric motors of various purposes are considerable proportion among electric power consumers. The development of recommendations for the selection of rational operating modes for electric drives of process units in terms of their energy parameters, which include power and energy losses, efficiency factor, power factor, is certainly a topical issue.

In the article, the feasibility of increasing the power factor with a decrease in the load factor of the drive motor is investigated.

Wide range of technological processes for the repair of rolling stock was analyzed, during which was established that most of the equipment works with a load factor of less than 0.5 for a long time. It is proved that a rational way to increase of these electric drives is to switch the stator windings from the "triangle" to the "star".

Method for determining the minimum load factor for the electric drive of a process equipment, at which the power factor lies within the limits of the quality assessment "good" and "excellent" is proposed.

Keywords: power factor; energy saving; rolling stock repair; load factor; star; triangle.

Received 07.09.2017; accepted in revised form 11.12.2017.