

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ПАРАМЕТРАХ НЕСИММЕТРИИ ПИТАЮЩЕГО НАПРЯЖЕНИЯ

Пинчук О.Г.

Донецкий национальный технический университет

OlgaPinchuk@yandex.ru

The estimation of power indices of asynchronous motor by different parameters of supply voltage and different load on motor shaft is considered in paper. Outcomes of probes can be utilised at the substantiation of necessity of a deloading on the bank of a slip-ring motor at an asymmetry of power voltage.

Введение. Область использования асинхронных двигателей (АД) в промышленности, на транспорте и в быту постоянно растет [1]. В настоящее время свыше 50% всей производимой в мире электрической энергии потребляется АД [1]. В отдельных отраслях промышленности потребление электроэнергии асинхронными двигателями достигает 80 % [1]. Оценку основных затрат, связанных с преобразованием электрической энергии в механическую, отражают энергетические показатели асинхронного двигателя [2 - 4]: коэффициент полезного действия (η) и коэффициент мощности ($\cos \phi$) АД. Анализ затрат применительно к асинхронным двигателям серии 4А мощностью до 10 кВт показал [6, с. 13], что примерно 70% составляют расходы на эксплуатацию. Одним из факторов роста затрат на эксплуатацию АД является нарушение симметрии питающего напряжения. Несимметрия напряжения сети сопровождается ростом токов и температур обмоток АД, а также увеличением потребления электрической энергии. Повышение эффективности эксплуатации АД в подобных режимах связано со снижением эксплуатационных расходов, что свидетельствует об актуальности предлагаемых исследований.

Анализ предшествующих публикаций. Анализ научных работ показал, что влияние несимметрии питающего напряжения на температурное поле АД исследовано в многочисленных работах отечественных и зарубежных авторов. Однако оценка энергетических показателей АД при различных нагрузках на валу и несимметрии источника питания требует дополнительного исследования.

Постановка задачи. Целью данной работы была оценка энергетических показателей АД при питании от несимметричного напряжения.

Изложение основного материала. В качестве параметров несимметрии напряжения сети принято использовать [7, 8]: коэффициент несимметрии обратной последовательности (K_{2U}), напряжение прямой последовательности ($U_{пр}$) и сдвиг по фазе между симметричными составляющими напряжения прямой и обратной последовательности: $\Delta\psi = \psi_{пр} - \psi_{обр}$. Величина $\Delta\psi$ не влияет на суммарные потери в обмотках АД и его энергетические показатели, поэтому далее рассмотрено влияние параметров $U_{пр}$ и K_{2U} . Расчет рабочих характеристик выполнялся с помощью математической модели АД в фазных координатах статора и ротора [9]. В качестве

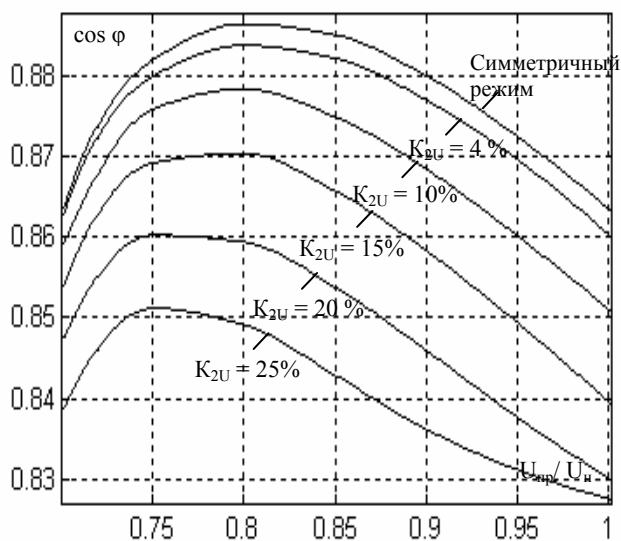


Рисунок 1-- Зависимости коэффициента мощности АД АИУМ225М4 от напряжения прямой последовательности $U_{пр}$ при различных значениях K_{2U}

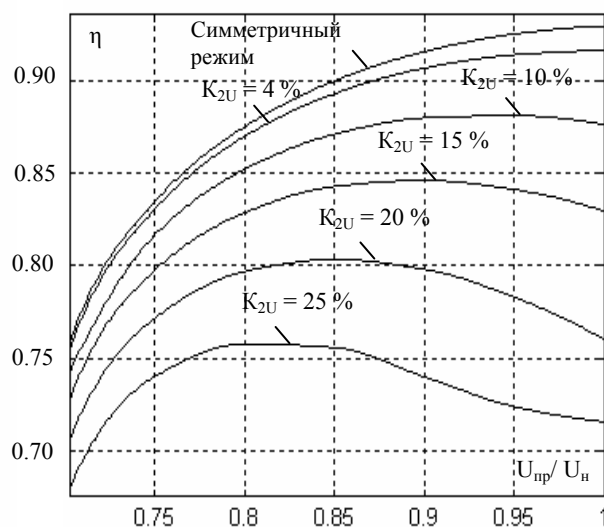


Рисунок 2 - Зависимости коэффициента полезного действия АД АИУМ225М4 от напряжения прямой последовательности $U_{пр}$ при различных значениях K_{2U}

примера на рис. 1, 2 представлены зависимости коэффициента полезного действия и коэффициента мощности при различных параметрах несимметрии питающего напряжения ($U_{пр}$, K_{2U}).

Из анализа результатов, представленных на рис. 1, 2, следует, что для АД АИУМ225М4 при симметричном питающем напряжении снижение $U_{пр}$ на 10 - 20% приводит к уменьшению коэффициента полезного действия на 1.5 - 5%, при снижении $U_{пр}$ до $0.7U_n$ снижение коэффициента полезного действия электродвигателя составит 21%. С ростом асимметрии напряжения сети максимумы коэффициента мощности двигателя и коэффициента полезного действия смещаются в область более низких значений $U_{пр}$ (рис. 1, 2). При этом экстремальные значения коэффициента полезного действия и коэффициента мощности достигаются при различных значениях $U_{пр}$. Например, для АД АИУМ225М4 при $K_{2U} = 4\%$ максимальное значение коэффициента мощности достигается при $U_{пр} = 0.8 U_n$ и равно 0.89, а максимальное значение коэффициента полезного действия достигается при $U_{пр} = U_n$ и равно 0.93. При $K_{2U} = 15\%$ максимальное значение коэффициента мощности достигается при $U_{пр} = 0.78 U_n$ и равно 0.88, а максимальное значение коэффициента полезного действия достигается при $U_{пр} = 0.9 U_n$ и равно 0.85 и т. д.

Необходимо отметить, что токи и потери в обмотках АД существенно зависят как от характеристик несимметрии источника питания, так и от параметров схемы замещения рассматриваемого АД [10]. В [10] показано, что наибольшее влияние на составляющие токов прямой последовательности оказывает X_o^* [10], а токи обратной последовательности при одинаковой несимметрии токов K_{2I} можно считать неизменными. Так как потери являются исходными данными для расчета энергетических показателей АД, то отличие их величин также можно объяснить различными значениями симметричных составляющих токов статора и ротора (табл. 1). Результаты расчета, представленные в табл. 1 позволяют оценить ухудшение энергетических показателей асинхронных двигателей различного типоразмера при номинальной нагрузке и различных параметрах несимметрии питающего напряжения. В качестве базовых (табл. 1) приняты значения соответствующих величин при симметричном напряжении сети.

Таблица 1 - Энергетические показатели АД различного типоразмера при номинальной нагрузке и различных параметрах несимметрии напряжения (K_{2I} , $U_{пр}$)

$U_{пр}$	Энергетические показатели.	$K_{2I} = 0\%$			$K_{2I} = 40\%$			$K_{2I} = 80\%$		
		$X_o^* = 2$	$X_o^* = 3$	$X_o^* = 4$	$X_o^* = 2$	$X_o^* = 3$	$X_o^* = 4$	$X_o^* = 2$	$X_o^* = 3$	$X_o^* = 4$
U_n	η / η_B	1.00	1.00	1.00	0.94	0.94	0.94	0.79	0.79	0.79
	$\cos \varphi / \cos \varphi_B$	1.00	1.00	1.00	0.98	0.98	0.98	0.94	0.94	0.94
$0.9U_n$	η / η_B	0.97	0.97	0.98	0.94	0.94	0.95	0.82	0.85	0.87
	$\cos \varphi / \cos \varphi_B$	1.03	1.03	1.02	1.03	1.02	1.01	1.01	0.99	0.98

В процессе эксплуатации асинхронные двигатели работают с нагрузками на валу от холостого хода до номинального значения и выше [3, 4]. В качестве примера на рис. 3 - 6 представлены зависимости коэффициента полезного действия и коэффициента мощности АД АИУМ225М4 от нагрузки на валу двигателя при различных параметрах $U_{пр}$ и K_{2U} .

Из анализа результатов, представленных на рис. 3 - 6 следует, что для АД АИУМ225М4 при номинальной нагрузке, $U_{пр} = U_n$ и несимметрии напряжения $K_{2U} = 10\%$ снижение коэффициента полезного действия составит 10%, коэффициента мощности – 1.5%, при $\beta = 1.5$ коэффициент полезного действия и коэффициент мощности снизятся на 2.5% и 5% соответственно. При $U_{пр} = \text{const}$ максимумы коэффициента полезного действия и коэффициента мощности с ростом несимметрии уменьшаются и смещаются в область более низких нагрузок. Например (рис. 5, 6), для исследуемого АД АИУМ225М4 коэффициент полезного действия достигает своего максимума при $\beta = 0.8$ в случае симметричного напряжения, а при $K_{2U} = 5\%$ достигает своего максимума при $\beta = 1.0$, при $K_{2U} = 15\%$ – при $\beta = 1.3$. Коэффициент мощности достигает своего максимума при $\beta = 1.5$ в случае симметричного напряжения, а при несимметрии напряжения 5% коэффициент мощности достигает своего максимума при $\beta = 1.6$, при $K_{2U} = 15\%$ - при $\beta = 1.7$ и т. д.

При $K_{2U} = \text{const}$ экстремальные значения коэффициента полезного действия и коэффициента мощности остаются постоянными при изменении $U_{пр}$. При снижении $U_{пр}$ (рис. 3, 4) диапазон значений нагрузки на валу АД, при которых коэффициент полезного действия и коэффициент мощности близок к максимальному значению уменьшается, а максимум смещается в область более низких нагрузок. Например, для исследуемого АД АИУМ225М4 при $U_{пр} = U_n$ и $K_{2U} = 5\%$ максимальное значение коэффициента полезного действия равно 0.81 и достигается при $\beta = 1.0, 0.75, 0.65, 0.5$ для $U_{пр} = U_n, 0.9U_n, 0.8U_n, 0.7U_n$ соответственно. Аналогично при $U_{пр} = U_n$ и $K_{2U} = 5\%$ максимальное значение коэффициента мощности равно 0.88 и достигается при $\beta = 1.6, 1.2, 1.0, 0.75$ для $U_{пр} = U_n, 0.9U_n, 0.8U_n, 0.7U_n$ соответственно.

Поскольку несимметрия питающего напряжения сопровождается ростом температур обмоток АД, то в [11] предложено снижать нагрузку на валу электродвигателя. Значительный интерес представляет оценка энер-

гетических показателей АД при условии, что температура обмоток АД не превышает допустимую ($\theta^* = 1$) и различных параметрах несимметрии напряжения (табл. 2).

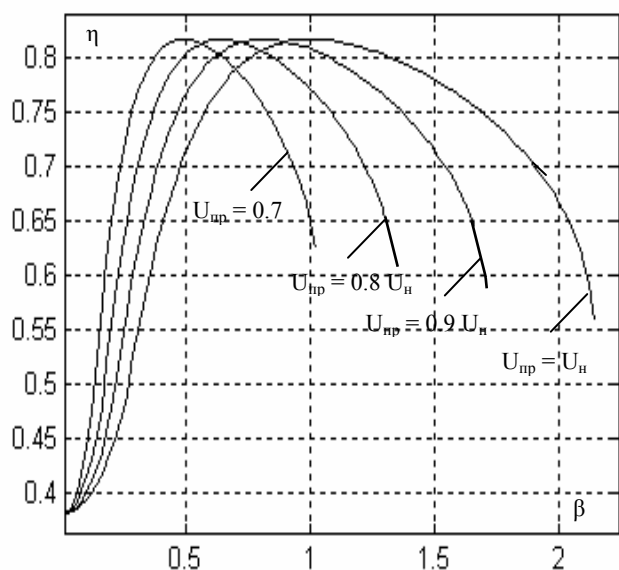


Рисунок 3 – Зависимость коэффициента полезного действия АД АИУМ225М4 от нагрузки β при $K_{2U} = 15\%$ и различных значениях $U_{пр}$

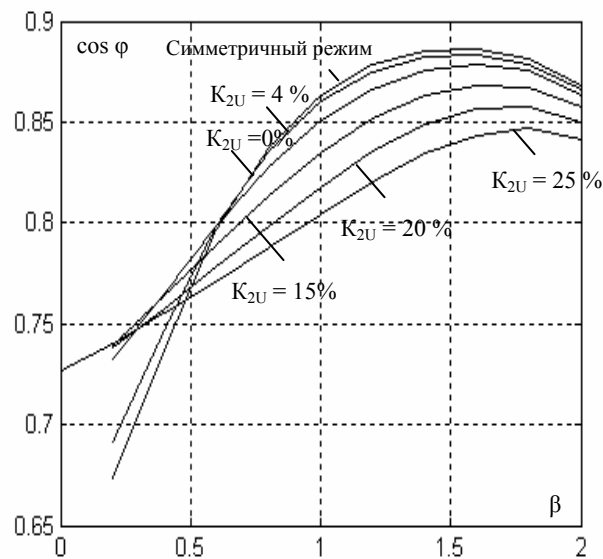


Рисунок 5 – Зависимости коэффициента мощности АД АИУМ225М4 от нагрузки на валу двигателя β при $U_{пр} = U_n$ и различных значениях K_{2U}

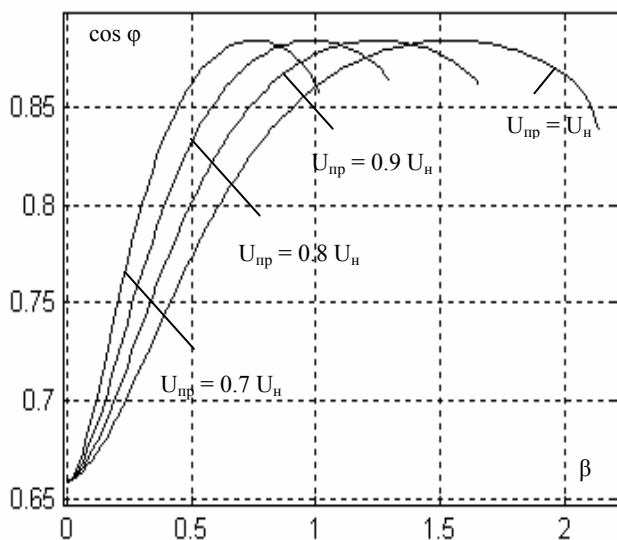


Рисунок 4 – Зависимость коэффициента мощности АД АИУМ225М4 от нагрузки β при $K_{2U} = 15\%$ и различных значениях $U_{пр}$

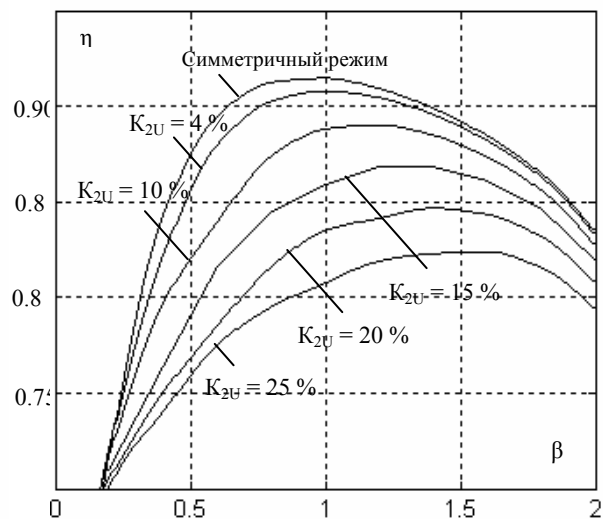


Рисунок 6 – Зависимость коэффициента полезного действия АД АИУМ225М4 от нагрузки на валу двигателя β при $U_{пр} = U_n$ и различных значениях K_{2U}

Таблица 2 – Энергетические показатели асинхронных двигателей различного типоразмера при условии, что температура наиболее нагруженного узла АД не превышает допустимое значение ($\theta^* = 1$) и различных параметрах несимметрии напряжения (K_{21} , $U_{пр}$)

$U_{пр}$	Энергетические показатели.	$K_{21} = 0\%$			$K_{21} = 40\%$			$K_{21} = 80\%$		
		$X_o^* = 2$	$X_o^* = 3$	$X_o^* = 4$	$X_o^* = 2$	$X_o^* = 3$	$X_o^* = 4$	$X_o^* = 2$	$X_o^* = 3$	$X_o^* = 4$
U_n	η / η_B	1.00	1.00	1.00	0.92	0.92	0.92	0.73	0.73	0.73
	$\cos \varphi / \cos \varphi_B$	1.00	1.00	1.00	0.79	0.79	0.79	0.78	0.78	0.78
$0.9U_n$	η / η_B	0.99	0.97	0.96	0.92	0.91	0.90	0.89	0.85	0.82
	$\cos \varphi / \cos \varphi_B$	1.00	1.01	1.02	0.99	1.02	1.03	0.96	0.95	0.93

При снижении напряжения прямой последовательности потери в стали снижаются и максимумы коэффициента мощности и коэффициента полезного действия смещаются в область более низких нагрузок (рис. 3, 4). Поэтому при снижении напряжения прямой последовательности уменьшение нагрузки на валу электродвигателя для выполнения условия $\theta^* = 1$ приводит к незначительному ухудшению энергетических показателей. Например, при $U_{пр} = 0.9U_n$ и несимметрии токов 40% наблюдается снижение коэффициента полезного действия на 5 - 6% при номинальной нагрузке и на 5 - 8% при нагрузке, которая соответствует номинальному нагреву ($\theta^* = 1$).

Выводы.

1. Исследования, представленные в статье, позволяют оценить влияние параметров несимметрии напряжения питания на энергетические показатели АД различного типоразмера. По результатам исследований установлено:

- рост несимметрии питающего напряжения сопровождается снижением энергетических показателей электродвигателя. При номинальной нагрузке с ростом несимметрии максимумы коэффициента несимметрии и коэффициента полезного действия смещаются в область более низких значений напряжения прямой последовательности;
- при несимметрии питающего напряжения снижении напряжения прямой последовательности максимумы коэффициента мощности и коэффициента полезного действия смещаются в область более низких нагрузок. Поэтому при снижении напряжения прямой последовательности уменьшение нагрузки на валу электродвигателя для выполнения условия $\theta^* = 1$ приводит к незначительному ухудшению его энергетических показателей.

2. Результаты исследований могут быть использованы для выборе нагрузки на валу асинхронных двигателей в продолжительном режиме работы при несимметрии питающего напряжения, как на этапе проектирования, так и в условиях их эксплуатации. В дальнейших исследованиях планируется оценить ухудшение энергетических показателей АД в повторно-кратковременных режимах при несимметрии питающего напряжения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Черный А.П., Калинов А.П., Мамчур Д.Г. Применение показателей качества преобразования энергии для оценки состояния и надежности электромеханических систем // Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика: IV международн. науч.-техн. конф. Днепропетровск, 2006. - С. 245.
2. Попович А.Н., Шуруб Ю.В., Бибик Е.Б. Определение и учет коэффициента мощности при улучшении технико-экономических характеристик асинхронных электроприводов в динамических режимах с учетом несимметрии // Техническая электродинамика. - №6. - 2003. - С.42 - 47.
3. Дмитрієва О.М., Сидоренко О.О. Енергетичні співвідношення при живленні двигунів несиметричною напругою // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: «Електротехніка і енергетика»: 36. наук. праць, випуск 7 (128). - Донецьк, 2007. - С. 193 - 196.
4. Яковлев А.И., Стеценко Ю.М., Стеценко Ю.Ю. Надійність занурюваних електродвигунів та їхня економічна оцінка / Науково-виробниче видання. - Харків: Бурун Книга, 2007. - 96с.
5. Копылов И.П. Электрические машины. - М.: Высшая школа. - 2000. - 607 с.
6. Яшков В.А., Конарбаева А.А., Кабдешова Г.К. Экономическая оценка последствий снижения качества электроэнергии // Промышленная энергетика. - 2005. - №2. - С. 44 - 45.
7. ГОСТ 13109 - 97. Межгосударственный стандарт. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Введен в Украине с 01.01.2000.
8. Жежеленко И.В. Показатели качества электроэнергии и их контроль на промышленных предприятиях. - М: Энергоатомиздат. - 1986. - 174с.
9. Толочко О.І., Чекавський Г.С., Мірошник Д.М. Векторні моделі асинхронного двигуна у середовищі пакета Matlab // праці Кременчуцького державного політехнічного університету. - 2003, Том 1, №2 (19) - С.199 - 202.
10. Иванов-Смоленский А.В. Электрические машины. - М: Энергия. - 1980. - 928 с.
11. Федоров М.М., Пинчук О.Г. Тепловое состояние асинхронных двигателей в повторно-кратковременном режиме при асимметрии источника питания // Праці Донецького національного технічного університету. Серія: „Електротехніка і енергетика”: 36. наук. праць, випуск 98. - Донецьк, 2004. - С. 31 - 34.

Рекомендовано д.т.н. Сивокобиленко В.Ф.