EDN IZAZLE DOI 10.5281/zenodo.19202040
УДК 681.3

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ МИНИМАЛЬНОГО УРОВНЯ ТОКА СТАТОРА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ПИТАЮЩЕГО НАПРЯЖЕНИЯ

© 2026 ***Шелехова О.Г.***

Разработан метод определения минимального уровня тока статора асинхронного двигателя при изменении питающего напряжения.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, метод определения минимума уровня тока статора, изменение питающего напряжения.

Введение. Ежегодно на долю асинхронных двигателей (АД) приходится 20–25% общего числа повреждений электрооборудования [1]. В подавляющем большинстве случаев 85–95% отказы двигателей происходят из-за повреждения обмоток [2]. Статистика показывает, что до 80% отказов напрямую или косвенно связаны с авариями сетевого напряжения [2], из них до 60% – вследствие отклонения питающего напряжения [2].

Согласно ГОСТ 32144–2013 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная» отклонение от напряжения прямой последовательности не должно превышать 5 % длительно и 10% кратковременно $U_{пр} = (198 - 242)$ [3].

Одновременно в настоящее время действует ГОСТ 29322–2014 «Напряжения стандартные» [4], который вступил в действие 01.10.2015 г., который «повысил» напряжение до 230 В. При допустимых согласно ГОСТ 29322–2014 отклонениях напряжения ±10% диапазон допустимых значений питающего напряжения $U_{пр} = (207 - 253)$. В результате одновременного действия ГОСТ 32144–2013 и ГОСТ 29322–2014 в настоящее время диапазон допустимых значений напряжения расширяется до $U_{пр} = (198 - 253)$ [3, 4].

На практике рост удельной мощности нагрузок сети приводит к тому, что отклонение напряжения может достигать 15 % и более [5–13], что превышает допустимое значение [3, 4].

Изменение напряжения может привести к росту тока в обмотках асинхронного двигателя, к увеличению потерь, росту температуры обмоток АД и в результате – к досрочному выходу его из строя. Влияние отклонения питающего напряжения на эксплуатационные характеристики АД рассмотрено в работах отечественных и зарубежных авторов [5-18].

Напряжения прямой последовательности в разной степени влияет на различные АД [14-16]. Например, снижение напряжения может приводить как к снижению [14-16], так и к увеличению [14-15] тока статора в зависимости от параметров схемы замещения АД и нагрузки на валу электродвигателя. В результате тепловые нагрузки АД с различными параметрами схемы замещения будут различаться. Влияние величины питающего напряжения на уровень тока статора и ротора АД рассмотрено в работах [14-15].

Однако, существующие математические модели [14-15] для оценки влияния питающего напряжения на электромеханические характеристики содержат итерационный цикл (для определения скольжения, соответствующего заданному напряжению) [14–15] и предполагают использование компьютерной техники, что затрудняет их использование при решении задач связанных с рациональным выбором АД в условиях нестабильного питающего напряжения и данный вопрос требует дальнейшего изучения.

Целью данной работы была разработать метод определения минимального уровня тока статора асинхронного двигателя при изменении питающего напряжения.

В [16] получена аналитическая зависимость скольжения асинхронного двигателя от напряжения прямой последовательности:

$$s_U \approx \frac{s_н}{U_{пр}^{*2}}, \tag{1}$$

где $U_{пр}^* = \frac{U_{пр}}{U_н}$ – относительное значение напряжения прямой последовательности; $s_н$, s_U – скольжение АД в номинальном режиме и при отклонении напряжения прямой последовательности соответственно.

Выражение (1) позволило автору получить в предшествующих исследованиях [16] безитерационные зависимости токов АД от напряжения прямой последовательности $U_{пр}$ с использованием Т-образной или Г- образной (рис. 1) схем замещения.

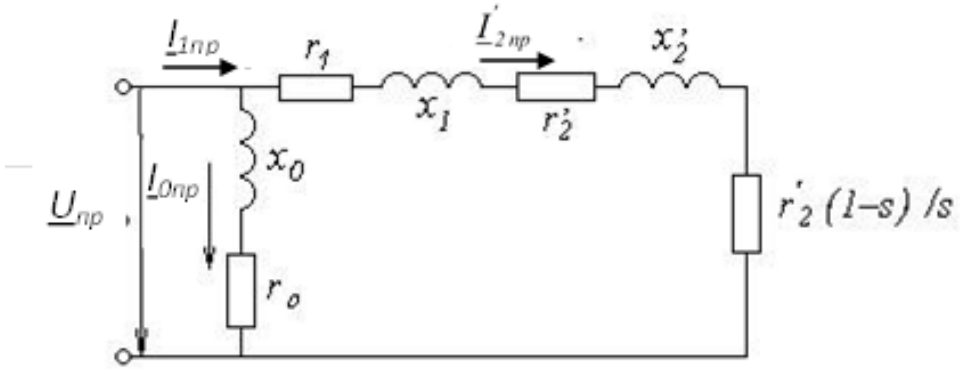

Рис. 1. Г-образная схема замещения АД

Например, для Г-образной (рис. 1) схемы замещения и соответствующей векторной диаграммы (рис. 2) [16]:

$$I_{0пр}^* = \frac{U_{пр}^*}{\sqrt{R_0^* + X_0^*}}; \tag{2}$$

$$I_{2пр}^* = \frac{U_{пр}^*}{\sqrt{\left(X_1^* + X_2'^*\right)^2 + \left(R_1^* + \frac{R_2'^* U_{пр}^{*2}}{s_н}\right)^2}}, \tag{3}$$

$$\mathrm{I}_{1пр}^* = \sqrt{\mathrm{I}_{0пр}^{*2} + \mathrm{I}_{2пр}'^{*2} - 2 \cdot \mathrm{I}_{0пр}^* \cdot \mathrm{I}_{2пр}'^* \cos(180^0 - (\varphi_0 - \varphi_2))}, \tag{4}$$

где: $I^*_{0пр}, I'^*_{2пр}, I^*_{1пр}$ – относительные значения токов; $X^*_o, R^*_o, X^*_1, X'^*_2, R^*_1, R'^*_2$ – относительные значения параметров схемы замещения АД (рис. 1). В качестве базового значения сопротивления в (2–4) принято $Z_б = \frac{U_н}{\sqrt{3} \cdot I_{1н}}$; φ_0, φ_2 – углы сдвига фаз между вектором напряжения $U^*_{пр}$ и векторами токов $I^*_{0пр}$ и $I'^*_{2пр}$ соответственно.

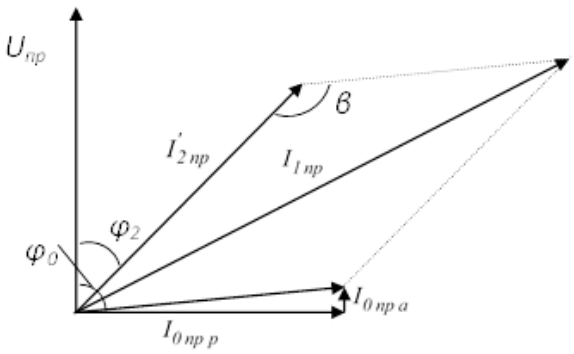

Рис. 2. Векторная диаграмма токов и напряжений АД

Используя формулу приведения $\cos(180^0 - (\varphi_0 - \varphi_2)) = -cos(\varphi_0 - \varphi_2)$, выражение (4) примет вид:

$$\mathrm{I}^*_{1пр} = \sqrt{\mathrm{I}^{*2}_{0пр} + \mathrm{I}'^{*2}_{2пр} + 2 \cdot \mathrm{I}^*_{0пр} \cdot \mathrm{I}'^*_{2пр} \cos(\varphi_0 - \varphi_2)}\,. \tag{5}$$

Возведем левую и правую часть выражения (6) в квадрат:

$$\mathrm{I}^{*2}_{1пр} = \mathrm{I}^{*2}_{0пр} + \mathrm{I}'^{*2}_{2пр} + 2 \cdot \mathrm{I}^*_{0пр} \cdot \mathrm{I}'^*_{2пр} \cos(\varphi_0 - \varphi_2)\,. \tag{6}$$

Формула косинуса разности $cos(\varphi_0 - \varphi_2)$, с учетом соотношений активных, реактивных и полных сопротивлений, выраженная через треугольник сопротивлений АД:

$$\cos(\varphi_0 - \varphi_2) = \cos\varphi_0 \cos\varphi_2 + \sin\phi_0 \sin\phi_2 = \frac{r^*_0}{Z^*_0} \frac{r^*_1 + \frac{r'^*_2 U^{*2}_{пр}}{s_н}}{Z^*} + \frac{X^*_0}{Z^*_0} \frac{\left(X^*_1 + X'^*_2\right)}{Z^*}, \tag{7}$$

где $Z_0 = \sqrt{R^{*2}_0 + X^{*2}_0}$, $Z = \sqrt{\left(X^*_1 + X'^*_2\right)^2 + \left(R^*_1 + \frac{R'^*_2 U^{*2}_{пр}}{s_н}\right)^2}$.

Тогда выражение (7) примет вид:

$$\mathrm{I}^{*2}_{1пр} = \frac{U^{*2}_{пр}}{Z^{*2}_0} + \frac{U^{*2}_{пр}}{Z^{*2}} + 2 \cdot \frac{U^{*2}_{пр}}{Z^*_0 Z^*} \cdot \left[\frac{r^*_0}{Z^*_0} \frac{r^*_1 + \frac{r'^*_2 U^{*2}_{пр}}{s_н}}{Z^*} + \frac{X^*_0}{Z^*_0} \frac{\left(X^*_1 + X'^*_2\right)}{Z^*} \right]. \tag{8}$$

Для нахождения точки минимума тока статора в функции напряжения прямой последовательности, продифференцируем выражение (8) по напряжению прямой последовательности: $I'^{*}_{1пр}\left(U^{*}_{пр}\right) = f'\left(U^{*}_{пр}\right)$:

$$U^{*}_{пр\min} = \sqrt{\frac{s_н}{R_2^{*'}}\left(\sqrt{X_0^{*2} + R_0^{*2} + 2X_0^{*}\left(X_1^{*} + X_2^{'*}\right) - 2R_1^{*}R_0^{*}} - 2R_1^{*}\right)}. \quad (9)$$

Их выражения (9) следует, что на величину точки минимума функции $I^{*}_{1пр} = f\left(U^{*}_{пр}\right)$ ($U^{*}_{пр} = U^{*}_{пр\min}$) влияют все параметры схемы замещения и скольжение АД.

Для АД параметры $\left(X_1^{*} + X_2'^{*}\right)^2 \ll X_0^{*}$; $X_1^{*2} \ll X_0^{*}$; $X_2'^{*2} \ll X_0^{*}$; $R_1^{*2} \ll X_0^{*}$ [19–22]. Если пренебречь параметрами схемы замещения АД $\left(X_1^{*} + X_2'^{*}\right)^2 \approx 0$; $X_1^{*2} \approx 0$; $X_2'^{*2} \approx 0$; $R_1^{*2} \approx 0$, то выражение (9) примет вид, что совпадает с полученными ранее автором [16] результатом:

$$U^{*}_{пр\min} = \sqrt{\frac{s_н}{R_2^{*'}} X_0^{*}}. \quad (10)$$

Полученное аналитическое выражение (9) позволяет снизить погрешность нахождения $U^{*}_{пр\min}$ по сравнению с формулой (10), которая связана с ненулевыми значениями параметров $X_1^{*}, X_2'^{*}, R_1^{*}$ реальных АД.

В качестве примера для нескольких АД соответствии с формулой (9) определены значения $U^{*}_{пр\min}$ (табл. 1).

Таблица 1. Значения $U^{*}_{пр\min}$ для АД различной мощности

	4АА56В2У3	4АА63В2У3	4А71В2У3	4А80В2У3	4А100L2У3	4А132М4У3	4А180S2У3	4А200L2У3	4А250М2У3	4А315S2У3
P_1, кВт	0,25	0,55	1,1	2,2	5,5	11	22	45	90	160
$U^{*}_{пр\min}$	0,55	0,60	0,76	0,90	1,20	1,47	1,67	1,95	2,01	2,79

Из анализа результатов, представленных в табл. 1 следует, что точки минимума функции $I^{*}_{1пр} = f\left(U^{*}_{пр}\right)$ могут наблюдаться при изменении напряжения прямой последовательности в широких пределах. Например (табл. 1), для АД 4АА56В2У3 минимум тока статора наблюдается при $U^{*}_{пр\min} = 0.55U^{*}_{пр}$, для АД 4А71В2У3 – при $U^{*}_{пр\min} = 0.76U^{*}_{пр}$, для 4А80В2У3 – при $U^{*}_{пр\min} = 0.90U^{*}_{пр}$, для 4А100L2У3 – при $U^{*}_{пр\min} = 1.2U^{*}_{пр}$ и т. д.

Подкоренное выражение (9) для нахождения $U^{*}_{пр\min}$ обозначим, как коэффициент сопротивления:

$$K^{*}_{R\min} = \frac{s_н}{R_2^{*'}}\left(\sqrt{X_0^{*2} + R_0^{*2} + 2X_0^{*}\left(X_1^{*} + X_2^{'*}\right) - 2R_1^{*}R_0^{*}} - 2R_1^{*}\right). \quad (11)$$

В предшествующих исследованиях [16] получено упрощенное выражение для нахождения коэффициента сопротивления (без учета параметров $X_1^*, X_2'^*, R_1^*$) и обосновано, что коэффициент $K_{R\min}^*$ может быть использован в качестве критерия для оценки токовых и тепловых нагрузок в обмотках АД при отклонении питающего напряжения [16].

Полученное в статье выражение (11) позволяет уточнить, полученное ранее упрощенное аналитическое выражение для определения коэффициента $K_{R\min}^*$ путем учета ненулевых значений параметров $X_1^*, X_2'^*, R_1^*$.

В качестве примера на рис. 3 представлены зависимости тока статора от напряжения прямой последовательности асинхронных двигателей с различными значениями критерия $K_{R\min}^*$.

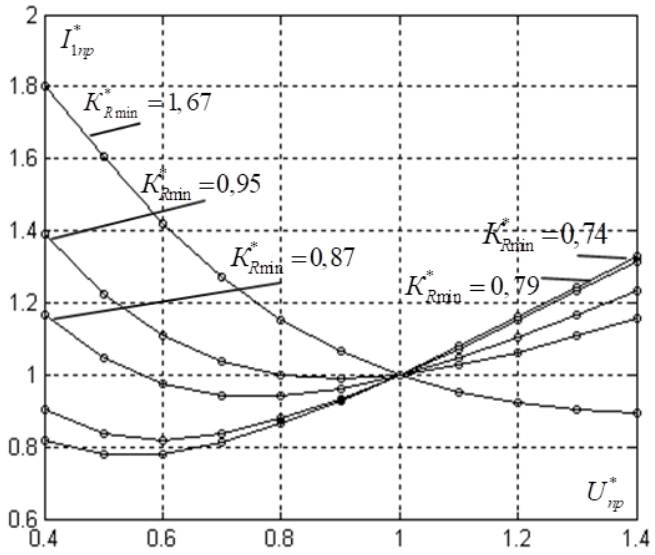

Рис. 3. Зависимости тока статора от напряжения прямой последовательности ($U_{пр}^*$) при различных значениях коэффициента $K_{R\min}^*$

Из анализа результатов, представленных в табл. 1 и на рис. 3 следует, что снижение напряжения прямой последовательности сопровождается снижением тока статора для АД с $K_{R\min}^* < 1$. В АД с $K_{R\min}^* < 1$ при снижении питающего напряжения до величины $U_{пр}^* = U_{пр\min}^*$ (рис. 3) ток статора также снижается до некоторой величины $I_{1пр\min}^*$.

Меньшим значениям $K_{R\min}^*$ соответствуют более интенсивные темпы снижения тока первичной обмотки. Затем (рис. 3), при дальнейшем снижении напряжения ниже величины $U_{пр\min}^*$ ток статора опять растет. Для АД с $K_{R\min}^* > 1$ снижение питающего напряжения сопровождается монотонным увеличением тока статора, а минимум тока $I_{1пр\min}^*$ наблюдается при повышении напряжения питания выше номинального значения.

В работе получено аналитическое выражение для нахождения величины $I_{1пр\min}^*$ в функции $K_{R\min}^*$:

$$\mathrm{I}^*_{1\text{пр}\min} = \sqrt{\frac{K^*_{R\min}}{Z^{*2}_0} + \frac{K^*_{R\min}}{Z^{*2}} + 2\cdot\frac{K^*_{R\min}}{Z^{*2}_0 Z^{*2}}\cdot\left[r^*_0\left(r^*_1 + \frac{r^{'*}_2 K^*_{R\min}}{s_н}\right) + X^*_0\left(X^*_1 + X^{'*}_2\right)\right]}. \quad (12)$$

Из анализа результатов, представленных на рис. 3 и выражения (12) следует, что при $K^*_{R\min} < 1$ более низким значениям $K^*_{R\min}$ соответствуют меньшие значения $\mathrm{I}^*_{1\text{пр}\min}$.

Снижение питающего напряжения ниже номинального значения сопровождается более низкими значениями токов статора для АД с более низкими значениями коэффициента $K^*_{R\min}$. Повышение напряжения прямой последовательности сопровождается более низкими токовыми перегрузками в обмотках статора для АД с более высокими $K^*_{R\min}$.

Выводы. В данной работке благодаря исследованию функции $\mathrm{I}^*_{1\text{пр}} = f\left(U^*_{\text{пр}}\right)$ на экстремум разработан алгоритм расчета значения напряжения, при котором ток статора $\mathrm{U}^*_{\text{пр}} = \mathrm{U}^*_{\text{пр}\min}$ принимает минимальное значение по известным параметрам схемы замещения электродвигателя и его скольжению. Предложенная модель позволяет учесть не только параметры цепи статора и намагничивающего контура электродвигателя, но и его скольжение и параметры цепи ротора двигателя.

Уточнен, разработанный ранее метод определения минимального уровня тока статора асинхронного двигателя при изменении напряжения питающего напряжения. Предложенный метод позволяет определить точку минимума тока статора с учетом всех параметров схемы замещения и скольжения АД. В результате чего уточнено аналитическое выражение для определения коэффициента сопротивления ($K^*_{R\min}$), который может быть использован в качестве критерия для оценки токовых и тепловых нагрузок в обмотках АД при отклонении питающего напряжения. Установлено влияние

Полученные результаты могут быть использованы при создании алгоритмов работы защитных устройств АД от тепловых перегрузок, а также при выборе АД в условиях отклонения питающего напряжения.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Беспалов, А. В. Проектирование асинхронного двигателя общего назначения с короткозамкнутым ротором: учебное пособие для курсового проектирования / А. В. Беспалов. – Нижневартовск: Изд-во Нижневарт. гуманит. ун-та, 2012. – 154 с.
2. Дайнеко, В. А. Методы диагностики асинхронных электродвигателей в рабочих режимах и перспективы их применения / В. А. Дайнеко, Ж. Г. Юрковец // Энергетика и транспорт: Агропанорама. – 2021. – С. 22–25.
3. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения: межгосударственный стандарт: введен 2014-07-01. – М.: Стандартинформ, 2014 – 15 с.
4. ГОСТ 29322-2014. Напряжения стандартные: межгосударственный стандарт: введен 2015-10-01. – М.: Стандартинформ, 2015 – 9 с.
5. Влияние отклонения напряжения на потери мощности в электрооборудовании электрических сетей и потребителей / Д. Г. Сафонов, А. Г. Лютаревич, С. Ю. Долингер, С. В. Бирюков // Электротехника и энергетика: Омский научный вестник – № 2 (120) – 2013. – С. 203–206.
6. Кучумов, Л. А. Зависимость нагрузки и потерь напряжения от напряжения, Новости электротехники / Л. А. Кучумов, А. А. Кузнецов // Энергосберегающее регулирование напряжения в узлах нагрузки. – 2018. – №2. –С.48–53.
7. Ананичева, С. С. Качество электроэнергии. Регулирование напряжения и частоты в энергосистемах: учебное пособие / С. С. Ананичева, А. А. Алексеев, А. Л. Мызин.; 3-е изд., испр. – Екатеринбург: УрФУ, 2012. – 93 с.

8. Асинхронные двигатели серии 4А: Справочник / А. Э. Кравчик, М. М. Шлаф, В. И. Афонин, Е. А. Соболенская. – М.: Энергоиздат, 1982. – 504 с.
9. Соркинд, М. А. Асинхронные электродвигатели 0,4 кВ. Способы защиты от аварийных режимов работы / М. А. Сорокин // Новости электротехники. – 2005. – № 4(34).
10. Вагин, Г. Я. О необходимости приведения норм ГОСТ 13109-97 к требованиям международных стандартов / Г. Я. Вагин, А. А. Севостьянов // Промышленная энергетика. – 2004. – №9. – С. 45–49.
11. Жежеленко, И. В. Показатели качества электроэнергии и их контроль на промышленных предприятиях / И. В. Жежеленко. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 221 с.
12. Сергеев, С. С. Показатели качества электроэнергии / С. С. Сергеев // Гл. энергетик. – 2004. – №1. – С. 37–47.
13. Sayenko, Y. L. Influence of power quality on electricity supply reliability / Y. L. Sayenko, A. V. Gorpinich // Proceedings V School-Conference “Electrotechnics Non-Sinusoidal Currents (EPN’2000)”. – Zielona Gora, Poland, 2000. – P. 251–259.
14. Федоров, М. М. Особенности тепловых процессов в асинхронных двигателях при аномальных режимах работы / М. М. Федоров, В. Ф. Денник, Е. Р. Алексеев // Электротехнические и электромеханические системы. – 2000. – №403. – С. 170–174.
15. Федоров, М. М. Исследование распределения температур узлов асинхронного двигателя при несимметрии питающих напряжений / М. М. Федоров, В. Ф. Денник, А. В. Корощенко // Сб. тр. ДонГТУ. Сер. электротехника и энергетика. – 1999. – Вып. 4. – С. 138–141.
16. Шелехова, О. Г. Определение зависимости тока статора асинхронного двигателя от напряжения прямой последовательности при различных параметрах его схемы замещения / О. Г. Шелехова // Сборник трудов СПб ГУАП. – 2016. – С. 284–291.
17. Пинчук, О. Г. Моделирование токов и температур асинхронных двигателей при различных характеристиках несимметрии сети: методические подходы / О. Г. Пинчук // Материалы II МНТК «Моделирование и компьютерная графика». – Донецк, 2007. – С. 347-353.
18. Федоров, М. М. Защита асинхронных двигателей проходческих лебедок от тепловых перегрузок / М. М. Федоров // Сб. тр. ДонГТУ. Сер. горно-электромеханическая. – 1999. – Вып. 7. – С. 228–232.
19. Иванов-Смоленский, А. В. Электрические машины / А. В. Иванов-Смоленский. – М: Энергия. – 1980. – 928 с.
20. Проектирование электрических машин. -3-е изд. испр. и доп. / И. П. Копылов, Б. К. Клоков, В. П. Морозкин, Б. Ф. Токарев. – М.: Высшая школа, 2002. – 757 с.
21. Справочник по электрическим машинам: в 2т. / под общей редакцией И. П. Копылова и Б. К. Клокова Т. 1. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 456 с.
22. Копылов, И. П. Электрические машины: учебник для вузов / И. П. Копылов. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 360 с.

REFERENCES LIST

1. Bespalov, A. V. Proektirovanie asinkhronnogo dvigatelia obshchego naznacheniia s korotkozamknutym rotorom: uchebnoe posobie dlia kursovogo proektirovaniia / A. V. Bespalov. – Nizhnevartovsk: Izd-vo Nizhnevart. gumanit. un-ta, 2012. – 154 s.
2. Daineko, V. A. Metody diagnostiki asinkhronnykh elektrodvigatelei v rabochikh rezhimakh i perspektivy ikh primeneniia / V. A. Daineko, Zh. G. Iurkovets // Energetika i transport: Agropanorama. – 2021. – S. 22–25.
3. GOST 32144-2013. Elektricheskaia energiia. Sovmestimost tekhnicheskikh sredstv elektromagnitnaia. Normy kachestva elektricheskoi energii v sistemakh elektrosnabzheniia obshchego naznacheniia: mezhgosudarstvennyi standart: vveden 2014-07-01. – M.: Standartinform, 2014 – 15 s.
4. GOST 29322-2014. Napriazheniia standartnye: mezhgosudarstvennyi standart: vveden 2015-10-01. – M.: Standartinform, 2015 – 9 s.
5. Vliianie otkloneniia napriazheniia na poteri moshchnosti v elektrooborudovanii elektricheskikh setei i potrebitelei / D. G. Safonov, A. G. Liutarevich, S. Iu. Dolinger, S. V. Biriukov // Elektrotekhnika i energetika: Omskii nauchnyi vestnik – № 2 (120) – 2013. – S. 203–206.
6. Kuchumov, L. A. Zavisimost nagruzki i poter napriazheniia ot napriazheniia, Novosti elektrotekhniki / L. A. Kuchumov, A. A. Kuznetsov // Energosberegaiushchee regulirovanie napriazheniia v uzlakh nagruzki. – 2018. – №2. –C.48–53.
7. Ananicheva, S. S. Kachestvo elektroenergii. Regulirovanie napriazheniia i chastoty v energosistemakh: uchebnoe posobie / S. S. Ananicheva, A. A. Alekseev, A. L. Myzin.; 3-e izd., ispr. – Ekaterinburg: UrFU, 2012. – 93 s.

8. Asinkhronnye dvigateli serii 4A: Spravochnik / A. E. Kravchik, M. M. Shlaf, V. I. Afonin, E. A. Sobolenskaia. – M.: Energoizdat, 1982. – 504 s.
9. Sorkind, M. A. Asinkhronnye elektrodvigateli 0,4 kV. Sposoby zashchity ot avariinykh rezhimov raboty / M. A. Sorokin // Novosti elektrotekhniki. – 2005. – № 4(34).
10. Vagin, G. Ia. O neobkhodimosti privedeniia norm GOST 13109-97 k trebovaniiam mezhdunarodnykh standartov / G. Ia. Vagin, A. A. Sevostianov // Promyshlennaia energetika. – 2004. – №9. – S. 45–49.
11. Zhezhelenko, I. V. Pokazateli kachestva elektroenergii i ikh kontrol na promyshlennykh predpriiatiiakh / I. V. Zhezhelenko. – M.: Energoatomizdat, 1986. – 221 s.
12. Sergeev, S. S. Pokazateli kachestva elektroenergii / S. S. Sergeev // Gl. energetik. – 2004. – №1. – S. 37–47.
13. Sayenko, Y. L. Influence of power quality on electricity supply reliability / Y. L. Sayenko, A. V. Gorpinich // Proceedings V School-Conference “Electrotechnics Non-Sinusoidal Currents (EPN’2000)”. – Zielona Gora, Poland, 2000. – P. 251–259.
14. Fedorov, M. M. Osobennosti teplovykh protsessov v asinkhronnykh dvigateliakh pri anomalnykh rezhimakh raboty / M. M. Fedorov, V. F. Dennik, E. R. Alekseev // Elektrotekhnicheskie i elektromekhanicheskie sistemy. – 2000. – №403. – S. 170–174.
15. Fedorov, M. M. Issledovanie raspredeleniia temperatur uzlov asinkhronnogo dvigatelia pri nesimmetrii pitaiushchikh napriazhenii / M. M. Fedorov, V. F. Dennik, A. V. Koroshchenko // Sb. tr. DonGTU. Ser. elektrotekhnika i energetika. – 1999. – Vyp. 4. – S. 138–141.
16. Shelekhova, O. G. Opredelenie zavisimosti toka statora asinkhronnogo dvigatelia ot napriazheniia priamoi posledovatelnosti pri razlichnykh parametrakh ego skhemy zameshcheniia / O. G. Shelekhova // Sbornik trudov SPb GUAP. – 2016. – S. 284–291.
17. Pinchuk, O. G. Modelirovanie tokov i temperatur asinkhronnykh dvigatelei pri razlichnykh kharakteristikakh nesimmetrii seti: metodicheskie podkhody / O. G. Pinchuk // Materialy II MNTK «Modelirovanie i kompiuternaia grafika». – Donetsk, 2007. – S. 347-353.
18. Fedorov, M. M. Zashchita asinkhronnykh dvigatelei prokhodcheskikh lebedok ot teplovykh peregruzok / M. M. Fedorov // Sb. tr. DonGTU. Ser. gorno-elektromekhanicheskaia. – 1999. – Vyp. 7. – S. 228–232.
19. Ivanov-Smolenskii, A. V. Elektricheskie mashiny / A. V. Ivanov-Smolenskii. – M: Energiia. – 1980. – 928 s.
20. Proektirovanie elektricheskikh mashin. -3-e izd. ispr. i dop. / I. P. Kopylov, B. K. Klokov, V. P. Morozkin, B. F. Tokarev. – M.: Vysshaia shkola, 2002. – 757 s.
21. Spravochnik po elektricheskim mashinam: v 2t. / pod obshchei redaktsiei I. P. Kopylova i B. K. Klokova T. 1. – M.: Energoatomizdat, 1988. – 456 s.
22. Kopylov, I. P. Elektricheskie mashiny: uchebnik dlia vuzov / I. P. Kopylov. – M.: Energoatomizdat, 1986. – 360 s.

Поступила в редакцию 05.12.2025 г., рекомендована к печати 13.02.2026 г.

DEVELOPMENT OF A METHOD FOR DETERMINING THE MINIMUM CURRENT LEVEL OF THE STATOR OF AN ASYNCHRONOUS MOTOR WHEN THE SUPPLY VOLTAGE CHANGES

SHelekhova O.G.

A method has been developed for determining the minimum current level of the stator of an asynchronous motor when the supply voltage changes.

Keywords: asynchronous motor, method for determining the minimum current level of the stator, change in supply voltage.

Шелехова Ольга Георгиевна
кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры радиофизики и инфокоммуникационных технологий ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет»,
Российская Федерация, ДНР, г. Донецк.
E-mail: jenjaistorik@mail.ru

SHelekhova Olga Georgievna
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at Department of Radiophysics and Infocommunication Technologies of Donetsk State University,
Russian Federation, DPR, Donetsk.
ORCID: 0009-0005-7930-1184