

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И КОМПЛЕКСЫ

УДК 621.313.333

DOI: 10.22213/2413-1172-2020-4-95-101

Динамические режимы асинхронных двигателей в приводах энергетических систем и комплексов

Н. М. Шайтор, кандидат технических наук, доцент, Севастопольский государственный университет, Севастополь, Россия

А. В. Горпинченко, кандидат технических наук, Севастопольский государственный университет, Севастополь, Россия

Рассматривается проблема проектирования электроприводов с асинхронными двигателями, обеспечивающими оптимальные пусковые и энергетические характеристики в динамических режимах работы электропривода.

Проведен анализ исследований и публикаций, где начато решение этой проблемы. В настоящее время в качестве электрооборудования для привода технологических установок энергетического комплекса применяются в основном асинхронные двигатели. Можно отметить значительный прогресс в создании современных, энергетически эффективных асинхронных машин за счет применения новых материалов и точных расчетов при проектировании. Вместе с тем асинхронные двигатели сохраняют отдельные недостатки, что требует специального выбора определенных конструктивных параметров и характеристик при проектировании электрооборудования для привода технологических установок динамических режимов работы.

Рассмотрены конструктивные особенности и проведен сравнительный анализ энергетических и пусковых характеристик асинхронных двигателей с различными роторами, включая короткозамкнутый ротор типа беличья клетка, с двойной клеткой, с глубоким пазом, массивный и двухслойный ротор в широком диапазоне нагрузок.

Разработана методика выбора альтернативных двигателей с использованием сравнительных диаграмм. Приведены результаты исследований асинхронных двигателей с короткозамкнутым и двухслойным ротором в наиболее тяжелых повторно-кратковременных режимах с частыми пусками, электрическим торможением и реверсом. Определены диапазоны нагрузок и характеристик динамических режимов для проектирования энергетически эффективных судовых рулевых приводов с альтернативными асинхронными двигателями, имеющими двухслойный ротор.

К таким характеристикам относятся: продолжительность и частота включений, момент инерции, наличие торможений и реверсов приводов, номинальные, пусковые и тормозные потери, характер нагрузок и перегрузок, способы вентиляции альтернативных двигателей.

Ключевые слова: проектирование электроприводов, короткозамкнутый ротор, двухслойный ротор, энергетические характеристики, продолжительность включения, частота пусков.

К Введение
общей проблеме проектирования электроприводов, используемых в энергетических системах и комплексах, относится проблема создания механизмов с оптимальными энергетическими характеристиками. Важной научной и практической задачей, вытекающей из этой проблемы, является исследование электрических машин новых конструкций, удовлетворяющих улучшенным энергетическим характеристикам [1, 2].

Анализ последних исследований и публикаций, где начато решение этой проблемы, заклю-

чается в следующем. В настоящее время в качестве электрооборудования для приводов технологических установок предприятий энергетического комплекса – вентиляционных, насосных и компрессорных установок, подъемно-транспортных машин и механизмов, металлорежущих станков, судового оборудования – применяются в основном асинхронные двигатели (АД). В России ежегодно выпускается АД мощностью от 0,06 до 400 кВт несколько млн штук [3, 4].

Однако, несмотря на свои достоинства, АД имеют ряд недостатков: шумы, вибрации, дополнительные потери, большие пусковые токи,

провалы в кривой электромагнитного момента, что требует выбора определенных конструктивных параметров, при проектировании электрооборудования для привода технологических установок различных условий работы [5].

В электрических приводах длительных режимов работы используются асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором (АДКР), выполненным в виде литой обмотки ротора типа беличья клетка из обычного алюминиевого сплава [6]. Короткозамкнутые роторы двигателей динамических кратковременных и повторно-кратковременных режимов, для получения больших пусковых моментов и снижения пусковых токов содержат обмотку из алюминиевого сплава с повышенным сопротивлением либо изготавливаются из медных стержней с приваренными короткозамкнутыми латунными кольцами [7].

Энергетические показатели, коэффициент полезного действия и коэффициент мощности у двигателей с повышенным сопротивлением ротора ниже, чем у обычных короткозамкнутых двигателей длительных режимов работы, зато они имеют улучшенные пусковые свойства (повышенный пусковой момент и пониженный пусковой ток).

Повышенные требования к рабочим характеристикам асинхронных приводов динамических режимов работы привели к созданию АД со специальными параметрами с вытеснением тока в роторе. К таким двигателям относятся двухклеточные и глубокопазные двигатели, а также двигатели с массивным и двухслойным ротором [8, 9].

Двигатели с массивным ротором имеют улучшенные пусковые свойства по сравнению с короткозамкнутыми двигателями благодаря сильно выраженному эффекту вытеснения тока в роторе. Однако энергетические показатели этих двигателей намного ниже, чем у двигателей с повышенным сопротивлением ротора, что не позволило этим двигателям найти широкое применение и привело к созданию двигателей с двухслойными роторами [10].

Асинхронные двигатели с двухслойными роторами (АДДР) имеют повышенную кратность пускового момента при снижении кратности пускового тока, однако в длительных режимах работы коэффициент полезного действия и коэффициент мощности этих двигателей несколько ниже, чем у АДКР [11]. Нерешенной частью упомянутой проблемы является недостаточность исследований применения АДДР

для электроприводов динамических режимов работы.

Цель исследования – определение динамических режимов работы асинхронных приводов, в которых применение АДДР вместо АДКР обеспечивает улучшенные характеристики.

Пусковые свойства двигателей с различными роторами

Пусковые свойства двигателей определяются зависимостями вращающего момента и электрического тока от частоты вращения. Для уменьшения длительности пуска, потерь энергии в обмотках двигателя и их нагрева стремятся к увеличению пускового момента и снижению пускового тока [12]. Пусковые свойства двигателей характеризуются кратностью пускового к номинальному моменту $k_{m,п} = M_{п}/M_{н}$ и пускового тока к номинальному току $k_{i,п} = I_{п}/I_{н}$, а также добротностью пуска, равной отношению $D_{п} = k_{m,п}/k_{i,п}$.

Двухслойный ротор АДДР представляет собой массивную ферромагнитную гильзу, установленную на ротор из шихтованной электротехнической стали. Материал гильзы должен удовлетворять оптимальным значениям аксиальной электрической проводимости и радиальной магнитной проницаемости. По краям гильзы закрепляются сваркой короткозамкнутые кольца. В качестве материала для гильзы чаще всего используются железомедные сплавы СМ15–СМ25 (С – сталь; М – медь, цифра указывает процентное содержание меди).

При пуске АДДР благодаря наружному слою имеет место эффект вытеснения тока в роторе. По этой причине АДДР имеет большой начальный пусковой момент при малом начальном пусковом токе, а также малые потери энергии при пуске.

В таблице показаны сравнительные характеристики асинхронных двигателей серий А, МАП и ДМШ с различными роторами [8].

На рис. 1, а, б приведены механические и электромеханические характеристики асинхронных двигателей с различными роторами.

Двигатели, имеющие роторы с двойной клеткой или с глубоким пазом, развивают повышенный пусковой момент при относительно меньшем пусковом токе. Добротность пуска у этих двигателей в среднем в 1,5 раза выше, чем у двигателя без вытеснения тока. Замена ротора с двойной клеткой двухслойным ротором приводит к снижению пускового тока на 25 % и увеличению пускового момента в среднем в 2,5 раза.

Характеристики асинхронных двигателей с различными роторами

Characteristics of asynchronous motors with different rotors

Тип АД	Ротор (материал)	P_2 , кВт	η	$\cos \varphi_1$	S	$\frac{I_n}{I_n}$	$\frac{M_n}{M_n}$	$\frac{P_2}{P_{2n}}$	$\frac{I_1}{I_{1n}}$
А 41-2	Обычный короткозамкнутый	2,8	0,82	0,87	0,043	6,3	1,65	1,0	1,0
А 41-2	Массивный (СМ25)	2,38	0,60	0,65	0,19	3,3	2,34	0,85	1,52
А 41-2	Двухслойный (СМ25)	2,60	0,75	0,87	0,06	4,6	3,6	0,93	1,0
21 ДМШ 112	Обычный короткозамкнутый	3,0	0,785	0,85	0,045	6,1	1,45	1,0	1,0
21 ДМШ 112	Двухслойный (СМ20)	2,49	0,75	0,77	0,085	3,5	3,2	0,83	1,22
МАП 111-4	С повышенным сопротивлением	2,4	0,8	0,82	0,05	5,9	2,0	1	1

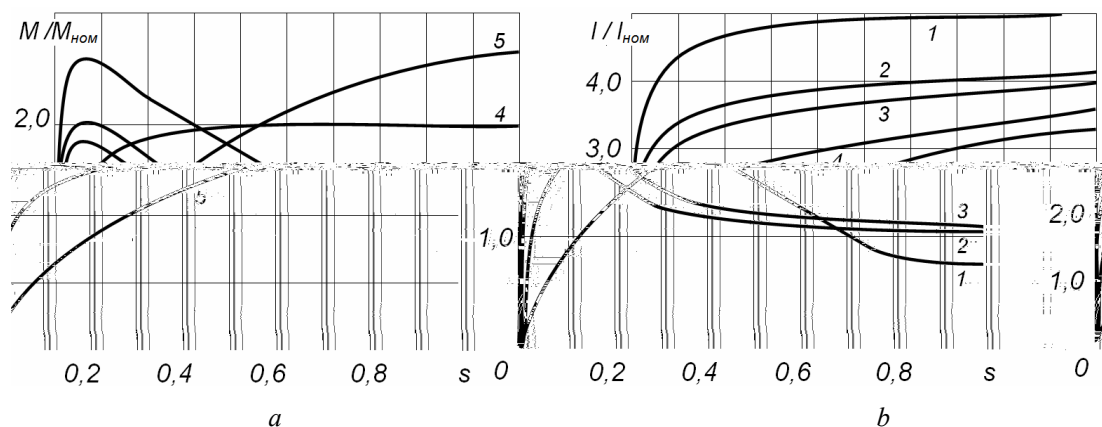


Рис. 1. Характеристики асинхронных двигателей с различными роторами – механические (а) и электромеханические (б): 1 – короткозамкнутый без вытеснения тока; 2 – короткозамкнутый с двойной клеткой; 3 – короткозамкнутый с глубоким пазом; 4 – короткозамкнутый с большим удельным электрическим сопротивлением; 5 – двухслойный

Fig. 1. Characteristics of asynchronous motors with different rotors - mechanical (a) and electromechanical (b): 1 - short-circuited without current displacement; 2 - short-circuited with a double cage; 3 - short-circuited with a deep groove; 4 - short-circuited with a high electrical resistivity; 5 - two-layer

Работа приводов в тяжелых динамических режимах

Наиболее тяжелыми динамическими режимами работы отдельных приводов, включая авторулевые приводы судов, являются повторно кратковременные режимы с частыми пусками, электрическим торможением, реверсами. Рассмотрим повторно кратковременный режим с частыми пусками. В этом случае периоды переходного процесса t_n и кратковременной установившейся номинальной нагрузки t_y чередуются с периодами отключения t_o машины, причем рабочие периоды и паузы не так длительны, чтобы превышения температуры частей машины могли достигать установившихся значений. Допустимое число включений в таких режимах ограничивается нагревом, который зависит от класса изоляции электрических обмоток двигателей [13].

Относительная продолжительность включения (ПВ) определяется по формуле

$$\varepsilon = \frac{t_n + t_y}{t_n + t_y + t_o}$$

В общем случае установленными нормируемыми значениями продолжительности включения являются $ПВ = \varepsilon \cdot 100 \% = 15, 25, 40$ и 60% при нормируемом числе пусков в час $h = 30, 60, 120$ и 240 .

Коэффициент инерции – отношение суммарного приведенного к валу двигателя момента инерции к моменту инерции ротора двигателя: $FI = J_{\Sigma} / J_p$.

Нормированные значения коэффициента инерции для режима работы с частыми пусками 1,2; 1,6; 2,5; 4; 6,3; 10, а для режима с электрическим торможением – 1,2; 1,6; 2; 2,5; 4 [14].

При практической эксплуатации отдельных судовых электроприводов авторулевых устройств необходимо ориентироваться на то, что в большинстве случаев возникает необходимость в перегрузках и большой частоте включений электродвигателей, достигающей 600...800 включений в час, при этом реальные параметры режимов большей частью не соответствуют нормируемым значениям продолжительностей включения, числу пусков в час, коэффициентам инерции приводов. В этих режимах потери пе-

реходных процессов оказывают особенно существенное влияние на превышение температуры обмоток, нагревание и сроки службы электрических машин.

Известно, что асинхронные двигатели с двухслойным ротором отличаются улучшенными пусковыми характеристиками и перегрузочной способностью по сравнению с двигателями с короткозамкнутым ротором. Они имеют повышенный пусковой момент. Пусковой ток и пусковые потери этих двигателей значительно снижены.

Допустимым числом включений в час считают такое, при котором после определенного числа циклов включение-отключение (ВО) среднее превышение температуры двигателя будет равно допустимому. При этом двигатель оказывается полностью использованным по нагреву.

Если АДКР продолжительного режима работает с номинальной угловой скоростью при допустимом превышении температуры, мощность потерь, выделяемых в окружающую среду, равна номинальным потерям ΔP_n , а в периоды паузы при том же превышении температуры – $\beta_0 \cdot \Delta P_n$, где β_0 – коэффициент ухудшения теплоотдачи при неподвижном роторе. В среднем за время переходных процессов потери, выделяемые в окружающую среду, $(1 + \beta_0) \cdot \Delta P_n / 2$.

С другой стороны, потери энергии, выделяющиеся в двигателе за цикл, состоят из потерь энергии за время переходных процессов ΔA и потерь в установившемся режиме $\Delta P \cdot t_y$. Последние могут меняться в зависимости от нагрузки. Когда температура двигателя установилась, потери энергии, выделяющиеся в двигателе за цикл, равны энергии, рассеиваемой в окружающую среду [15]:

$$\Delta A + \Delta P t_y = 0,5(1 + \beta_0) \Delta P_n t_n + \Delta P_n t_y + \beta_0 \Delta P_n t_0. \quad (1)$$

Время цикла $t_{\text{ц}}$ включает время переходного процесса t_n (пуска, торможения, реверса), установившегося режима t_y и стоянку двигателя t_0 , $t_{\text{ц}} = t_n + t_y + t_0 = 3600/h$ (h – допустимая частота включений в час). Поскольку продолжительность включения $\varepsilon = (t_n + t_y) / t_{\text{ц}}$, то $t_y = 3600\varepsilon / (h - t_n)$ и $t_0 = 3600 \cdot (1 - \varepsilon) / h$. Подставляя эти значения в исходное уравнение (1) и решая его относительно h , получим допустимое число включений АДКР:

$$h = 3600 \frac{(\Delta P_n - \Delta P)\varepsilon + \Delta P_n \beta_0 (1 - \varepsilon)}{\Delta A - t_n [\Delta P + 0,5(1 + \beta_0) \Delta P_n - \Delta P_n]}. \quad (2)$$

При замене короткозамкнутых роторов двухслойными потери в установившемся режиме несколько растут, поскольку $\Delta P_n \cdot t_y > \Delta P \cdot t_y$, а в переходном режиме значительно снижаются, так как $\Delta A_d < \Delta A$. Номинальный температурный режим АДДР будет иметь место при сохранении номинальных потерь ΔP_n базового АДКР. Число допустимых включений АДДР получают из (2) заменой потерь АДКР потерями АДДР:

$$h_d = 3600 \frac{(\Delta P_n - \Delta P_d)\varepsilon + \Delta P_n \beta_0 (1 - \varepsilon)}{\Delta A - t_n [\Delta P_d + 0,5(1 + \beta_0) \Delta P_n - \Delta P_n]}. \quad (3)$$

Для АД вторыми членами знаменателей в выражениях (2) и (3) можно пренебречь по сравнению с ΔA и ΔA_d соответственно, так как они не превышают 2...4 % этой суммы.

С учетом этого допущения, разделив выражение (3) на выражение (2), получают кратность числа допустимых циклов включений-отключений АДДР к числу допустимых циклов включений-отключений АДКР, или отношение циклов ВО:

$$k_h = \frac{h_d}{h} = \frac{\Delta A \left(1 - \frac{\Delta P_d}{\Delta P_n}\right) \varepsilon + \beta_0 (1 - \varepsilon)}{\Delta A_d \left(1 - \frac{\Delta P}{\Delta P_n}\right) \varepsilon + \beta_0 (1 - \varepsilon)}. \quad (4)$$

Проведены исследования асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором серии 21ДМШ112 и альтернативного двигателя с двухслойным ротором. Альтернативный двигатель был получен заменой короткозамкнутого ротора двухслойным ротором, расположенным в том же статоре. На рис. 2 показана зависимость (4) в функции коэффициента загрузки полезной мощностью $p_m = P_2 / P_n$ двигателя 21ДМШ112 номинальной мощностью 3кВт с отношением пусковых потерь $\Delta A / \Delta A_d = 5$ (отношение потерь для АДДР составляет 3...5 и определяется составом сплава СМ). Двухслойный ротор выполнен из сплава железо – медь СМ20. Расчет произведен для различных значений продолжительности включения ПВ % = $\varepsilon \cdot 100$ % при коэффициенте инерции привода $FI = 2,5$. При независимом охлаждении коэффициент ухудшения теплоотдачи двигателей принят $\beta_0 = 1$, а при самовентиляции – 0,3.

С увеличением соотношения потерь $\Delta A / \Delta A_d$ и улучшением условий охлаждения двигателей (с ростом β_0) растет жесткость характеристик (4), причем преимущества АДДР увеличиваются тем в большей степени, чем меньше ПВ и за-

грузки двигателя. Полученные зависимости носят общую тенденцию для всех АДПР, а приве-

денные на рис. 1 и 2 результаты подтверждены экспериментально.

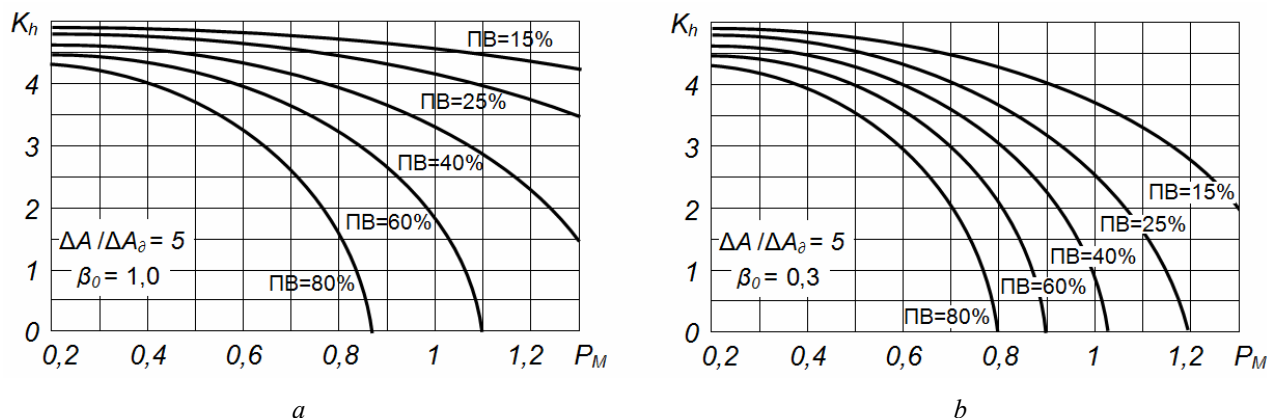


Рис. 2. Отношение циклов включение-отключение при пусковых потерях 5:1:
а – при независимой вентиляции; б – при самовентиляции

Fig. 2. The ratio of on-off cycles for start - up losses is 5:1:
а - for independent ventilation; б - for self-ventilation

Выводы

По результатам исследований можно сделать следующие выводы. Добротность пуска асинхронного двигателя с двухслойным ротором в 3...4 раза выше добротности пуска аналогичных двигателей с обычной клеткой ротора без вытеснения тока, в 2...2,5 раза – по сравнению с двойной клеткой или глубоким пазом и в 1,3...1,5 раза – по сравнению с ротором с большим удельным электрическим сопротивлением (двигатели серии МАП).

По своим оптимальным энергетическим характеристикам АДПР могут использоваться в приводах с большой частотой включений, тяжелыми условиями пуска, частыми реверсами. К этим механизмам относятся подъемно-транспортные устройства, включаемые под давлением компрессоры, пускаемые с нагрузкой шестеренные винтовые и поршневые насосы, станочное оборудование, судовые рулевые устройства.

Использование АДПР с независимой вентиляцией целесообразно практически во всем диапазоне нагрузок, перегрузок и продолжительностей включений приводов – 15...60 %. Использование АДПР с самостоятельной вентиляцией обосновано для электроприводов с большой частотой включений, тяжелыми условиями пуска, работающими при перегрузках, при продолжительностях включений – 15...40 %.

При проектировании энергетически эффективных судовых рулевых электроприводов динамических режимов работы с использованием альтернативных асинхронных двигателей с двух-

слойными роторами рекомендуется ориентироваться на диаграммы рис. 2, построенные с учетом индивидуальных характеристик этих электроприводов и электрических двигателей. К таким характеристикам относятся: продолжительность и частота включений, номинальные, пусковые и тормозные потери, характер нагрузок и перегрузок, момент инерции, наличие торможений и реверсов, способы вентиляции.

Библиографические ссылки

1. Рясков Ю. И., Шайтор Н. М., Горпинченко А. В. Обзор видов защиты асинхронных двигателей, используемых в энергетических системах и комплексах // Вестник ИЖГТУ имени М. Т. Калашникова. 2019. Т. 22, № 4. С. 107–115. DOI: 10.22213/2413-1172-2019-4-107-115.
2. Исследование пускового момента и механической характеристики асинхронного двигателя для электропривода безредукторного волочильного стана / Р. Г. Мугалимов, В. И. Косматов, А. Р. Мугалимова, С. В. Кретов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Энергетика». 2019. Т. 19, № 1. С. 93–101.
3. Радионов А. А., Семенова Е. К. Методы современной диагностики неисправностей высоковольтных асинхронных двигателей // Аллея науки. 2018. Т. 3, № 5 (21). С. 966–975.
4. Лесков И. А., Троценко В. М., Калимуллин А. Т. Новые разработки в плане энергоэффективности асинхронных двигателей. Экономический расчет асинхронного двигателя с совмещенной обмоткой // APRIORI. Серия «Естественные и технические науки». 2015. № 2. С. 1–18.
5. Мартынов К. В., Носков В. А., Пантелеева Л. А. Совершенствование конструкции обмотки статора

асинхронного двигателя // Вестник ВИЭСХ. 2017. № 1 (26). С. 5–12.

6. Бурков А. Ф. Краткая эволюция электрических машин до конца XIX века // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. 2019. Т. 1, № 4 (40). С. 11–15.

7. Кононенко К. Е., Кононенко А. В., Щедрин В. В. Экспериментальная проверка влияния обрыва стержня ротора асинхронного двигателя на его работу в случае невыявления дефекта при сборке // Энергия – XXI век. 2018. № 3 (103). С. 50–56.

8. Особенности работы асинхронного двигателя с двухслойным ротором в корабельных насосных установках / В. Е. Высоцкий, И. В. Гуляев, А. А. Нагирняк, А. М. Олейников, В. Д. Чушев // Электротехника. 2019. № 1. С. 2–7.

9. Колтахчян П. Г., Подберезная М. С., Ольховатов Д. В. Определение параметров схемы замещения асинхронной электрической машины с массивным ротором // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. 2019. Т. 62, № 5. С. 31–36.

10. Рясков Ю. И., Шайтор Н. М., Горпинченко А. В. Релейная защита электрических машин в энергетических системах и комплексах // Энергетические установки и технологии. 2020. Т. 6, № 1. С. 77–82.

11. Высоцкий В. Е., Чушев В. Д., Нагирняк А. А. Малозумный асинхронный двигатель с двухслойным ротором для модельных испытаний // Энергетические установки и технологии. 2017. Т. 3, № 3. С. 33–38.

12. Шамсиев М. В., Абдулкеримов С. А., Шамсиев А. М. Ограничение бросков тока в электроприводах, содержащих асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором // Электричество. 2020. № 2. С. 22–26.

13. Гончаров К. А., Денисов И. А. Экспериментальное исследование нагруженности грузоподъемных машин при использовании систем управления с частотным преобразователем // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2018. № 1. С. 31–39.

14. Плотников С. М., Колмаков В. О. Упрощенное определение момента инерции асинхронного двигателя серии 4А // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. 2019. Т. 62, № 1. С. 87–91.

15. Зюзев А. М., Метельков В. П. Аналитический метод оценки нагрева обмотки ротора высоковольтных асинхронных двигателей в пусковых режимах // Электротехнические системы и комплексы. 2017. № 1 (34). С. 60–67.

References

1. Ryaskov Yu.I., Shaitor N.M., Gorpichenko A.V. [Overview of Types of Protection of Asynchronous Motors Used in Power Systems and Complexes]. *Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova*, 2019, vol. 22, no. 4, pp. 107-115 (in Russ.). DOI: 10.22213/2413-1172-2019-4-107-115.

2. Mugalimov R.G., Kosmatov V. I., Mugalimova A. R., Kretov S. V. [Investigation of the starting mo-

ment and mechanical characteristics of an asynchronous motor for an electric drive of a gearless drawing mill]. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta, seriya "Energetika"*, 2019, vol. 19, no. 1, pp. 93-101 (in Russ.).

3. Radionov A.A., Semenova E.K. [Methods of modern diagnostics of faults of high-voltage asynchronous motors]. *Alleya nauki*, 2018, vol. 3, no. 5, pp. 966-975 (in Russ.).

4. Leskov I.A., Trotsenko V.M., Kalimullin A.T. [New developments in terms of energy efficiency of asynchronous motors. Economic calculation of an asynchronous motor with a combined winding]. *APRIORI, seriya "Estestvennyye i tekhnicheskie nauki"*, 2015, no. 2, pp. 1-18 (in Russ.).

5. Martynov K.V., Noskov V.A., Panteleeva L.A. [Improving the design of the stator winding of an asynchronous motor]. *Vestnik VIESKh*, 2017, no. 1, pp. 5-12 (in Russ.).

6. Burkov A.F. [Brief evolution of electric machines to the end of the XIX century]. *Uchenye zapiski Komsomol'skogo-na-Amure gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2019, vol. 1, no. 4, pp. 11-15 (in Russ.).

7. Kononenko K.E., Kononenko A.V., Shchedrin V.V. [Experimental verification of the effect of the breakage of the rotor rod of an asynchronous motor on its operation in the case of failure during Assembly]. *Energiya – XXI vek*, 2018, no. 3, pp. 50-56 (in Russ.).

8. Vysotsky V.E., Gulyaev I.V., Nagirnyak A.A., Oleynikov A.M., Chushev V.D. [Features of operation of an asynchronous motor with a two-layer rotor in ship pumping installations]. *Elektrotehnika*, 2019, no. 1, pp. 2-7 (in Russ.).

9. Kolpakhchyan P.G., Podbereznaya M.S., Olkhovатов D.V. [Determining the parameters of the replacement circuit of an asynchronous electric machine with a massive rotor]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Elektromekhanika*, 2019, vol. 62, no. 5, pp. 31-36 (in Russ.).

10. Ryaskov Yu. I., Shaitor N. M., Gorpichenko A.V. [Relay protection of electric machines in power systems and complexes]. *Energeticheskie ustanovki i tekhnologii*, 2020, vol. 6, no. 1, pp. 77-82 (in Russ.).

11. Vysotsky V.E., Chushev V.D., Nagirnyak A.A. [Low-noise asynchronous motor with a two-layer rotor for model tests]. *Energeticheskie ustanovki i tekhnologii*, 2017, vol. 3, no. 3, pp. 33-38 (in Russ.).

12. Shamsiev M.V., Abdulkherimov S.A., Shamsiev A.M. [Limiting current surges in electric drives containing asynchronous electric motors with a short-circuited rotor]. *Elektrichestvo*, 2020, no. 2, pp. 22-26 (in Russ.).

13. Goncharov K.A., Denisov I.A. [Experimental study of loading of lifting machines when using control systems with a frequency converter]. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2018, no. 1, pp. 31-39 (in Russ.).

14. Plotnikov S.M., Kolmakov V.O. [Simplified determination of the moment of inertia of a 4A series asynchronous motor]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Elektromekhanika*, 2019, vol. 62, no. 1, pp. 87-91 (in Russ.).

15. Zyuzev A.M., Metelkov V.P. [Analytical method for evaluating the heating of the rotor winding of high-voltage asynchronous motors in starting modes]. *Elektrotekhnicheskie sistemy i komplekсы*, 2017, no. 1, pp. 60-67 (in Russ.).

Dynamic Modes of Asynchronous Motors in Drives of Power Systems and Complexes

N.M. Shaytor, PhD in Engineering, Associate Professor, Sevastopol State University, Sevastopol, Russia
A.V. Gorpinchenko, PhD in Engineering, Sevastopol State University, Sevastopol, Russia

The paper deals with the problem of designing electric drives with asynchronous motors, that provide optimal starting and power characteristics in dynamic modes of operation of the electric drive.

Research and publications where the solution to this problem has been initiated are analyzed. Currently, asynchronous motors are mainly used as electrical equipment for driving technological installations of the energy complex. We can note the significant progress in creating modern, energy-efficient asynchronous machines due to the use of new materials and accurate calculations in the design. Simultaneously, asynchronous motors retain some disadvantages; it requires a special selection of specific design parameters and characteristics when designing electrical equipment for driving technological installations of dynamic modes of operation.

The design features are considered, and a comparative analysis of the power and starting characteristics of asynchronous motors with various rotors, including squirrel cage, double cage, deep groove, massive and double-layer ones is carried out in a wide range of loads.

A method for selecting alternative engines using comparative diagrams has been developed. Asynchronous motors' research results with a short-circuited and two-layer rotor in the most severe repeated short-term modes with frequent starts, electric braking, and reversals are presented. The ranges of loads and characteristics of dynamic modes for the design of energy-efficient drives with alternative asynchronous motors are determined.

These characteristics include the duration and frequency of switching on, the moment of inertia, the presence of brakes and reversals of the drives, nominal, starting, and braking losses, the nature of loads and overloads, and methods of alternative engine ventilation.

Keywords: design of electric drives, short-circuited rotor, two-layer rotor, energy characteristics, switching duration, frequency of starts.

Получено 27.05.2020

Образец цитирования

Н. М. Шайтор, А. В. Горпинченко. Динамические режимы асинхронных двигателей в приводах энергетических систем и комплексов // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2020. Т. 23, № 4. С. 95–101. DOI: 10.22213/2413-1172-2020-4-95-101.

For Citation

Shaytor N.M., Gorpinchenko A.V. [Dynamic Modes of Asynchronous Motors in Drives of Power Systems and Complexes]. *Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova*, 2020, vol. 23, no. 4, pp. 95-101 (in Russ.). DOI: 10.22213/2413-1172-2020-4-95-101.