



## ПРОЕКТЫ И ИССЛЕДОВАНИЯ

### О целесообразности разработки и применения асинхронных двигателей с высокими значениями энергетических показателей

Беляев Е. Ф., доктор техн. наук,  
Цылев П. Н., Щапова И. Н., кандидаты техн. наук

**Пермский национальный исследовательский политехнический университет**

Приведено обоснование целесообразности разработки и применения асинхронных двигателей, коэффициент мощности которых практически не зависит от нагрузки и имеет значения, близкие к единице. Отмечено, что повышение КПД таких электродвигателей (за счет уменьшения электромагнитных нагрузок путем увеличения массы активных материалов) не приводит к снижению коэффициента мощности.

**Ключевые слова:** асинхронный двигатель, коэффициент мощности, внутренняя компенсация, реактивная мощность, коэффициент полезного действия.

Для автоматизации и механизации производственных процессов на большинстве предприятий промышленности, сельского хозяйства, транспорта, жилищно-коммунального сектора используются асинхронные двигатели (АД), преобразующие электрическую энергию переменного тока в механическую энергию. Этот процесс сопровождается электрическими, магнитными и механическими потерями, обуславливающими уменьшение их КПД. Для создания в АД вращающегося магнитного поля и полей рассеяния из питающей сети трехфазного переменного напряжения потребляется реактивный намагничивающий ток, что вызывает снижение коэффициента мощности. Протекание этого тока в элементах систем электроснабжения обуславливает потери мощности и напряжения, снижение качества электрической энергии и ухудшение рабочих характеристик электроприемников.

Уменьшить потери и увеличить КПД АД можно за счет снижения электромагнитных нагрузок путем повышения массы активных материалов, применения более тонкой и высококачественной электротехнической стали, использования в качестве материала обмоток ротора меди вместо алюминия, уменьшения воздушного зазора, внедрения высокоточного технологического оборудования [1–3]. Это позволяет увеличить их КПД на 1–5%, однако одновременно приводит к снижению коэффициента мощности, некоторому увеличению пусковых токов, возрастанию (на 15–30%) стоимости производства. Практика

и расчеты показывают, что производство АД с повышенными значениями КПД экономически оправданно, если рабочий цикл электродвигателей составляет не менее 80 ч в неделю.

Обычно коэффициент мощности АД увеличивают следующим образом [4]: обеспечивают его работу при номинальном напряжении на обмотках статора; улучшают использование паспортной мощности; исключают работу в режиме холостого хода; осуществляют качественный ремонт двигателей, что позволяет избежать увеличения воздушного зазора между статором и ротором. Для компенсации реактивного намагничивающего тока в токоведущих частях элементов систем электроснабжения применяют следующие меры: на крупных районных подстанциях устанавливают синхронные компенсаторы; на предприятиях, в структуре энергохозяйства которых имеются синхронные приводы, перевозбуждают синхронные двигатели; в системах внутреннего электроснабжения предприятий на различных уровнях напряжения размещают батареи статических конденсаторов. Это позволяет осуществлять компенсацию реактивного намагничивающего тока на участках систем электроснабжения, начиная от генераторов электрических станций до места установки средств компенсации. Поэтому наиболее предпочтительной (по длине зоны компенсации) является индивидуальная компенсация, при которой батареи статиче-

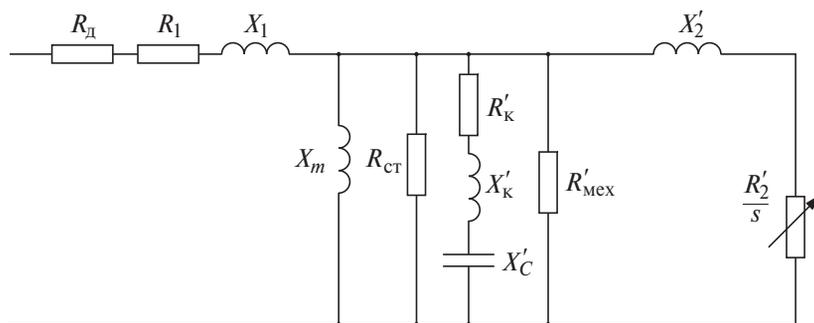


Рис. 1

ских конденсаторов размещаются непосредственно возле АД.

Перспективным направлением повышения коэффициента мощности АД и уменьшения реактивного намагничивающего тока в системах электроснабжения являются разработка и массовое внедрение асинхронных двигателей с внутренней компенсацией реактивной мощности (ВКРМ) [5]. В пазах сердечника статора этих двигателей наряду с трехфазной сетевой обмоткой, подключаемой к питающей сети переменного напряжения, размещается дополнительная, изолированная от сетевой обмотки, трехфазная компенсационная обмотка. Количество секций в фазах сетевой и компенсационной обмоток, шаг и схемы соединений секций — одинаковые. Отличие заключается в количестве витков в секциях и сечении провода, из которого выполнены обмотки. Фазы компенсационной обмотки соединяются в звезду и подключаются к конденсаторам, включенным в треугольник. Результаты математического моделирования АД с ВКРМ показывают, что их коэффициент мощности близок к единице как в режиме холостого хода, так и при нагрузках, в том числе превышающих номинальную нагрузку двигателя.

Использование АД с ВКРМ создает благоприятные возможности для повышения КПД. Действительно, в АД такого конструктивного исполнения снижение электромагнитных нагрузок посредством увеличения массы активных материалов не сопровождается уменьшением коэффициента мощности. Поэтому перспективна разработка АД с предельно высокими его значениями и повышенными значениями КПД, т. е. с энергетическими показателями, значения которых отвечают требованиям международных стандартов.

В Пермском национальном исследовательском политехническом университете разработан

опытный образец АД с ВКРМ и повышенными значениями КПД. В нем использованы ротор с короткозамкнутой обмоткой серийного двигателя типа 4А90L4Y3 и корпус серийного двигателя 4А100S2Y3. Шихтованный магнитопровод статора, сетевая и компенсационная обмотки изготовлены в электротехнической компании «ИОЛЛА» (г. Пермь). Для магнитопровода статора применена листовая электротехническая сталь (марки 2216) толщиной 0,5 мм. Диаметр расточки магнитопровода — такой же, как в серийном асинхронном двигателе типа 4А90L4Y3, а размеры пазов больше. Наружный диаметр магнитопровода и его длина в осевом направлении равны аналогичным параметрам серийного двигателя типа 4А100S2Y3. Эффективное число проводников сетевой и компенсационной обмоток в пазу статора составляет соответственно 67 и 18.

На рис. 1 приведена схема замещения АД с ВКРМ, где приняты следующие обозначения:  $R_d$  — активное сопротивление, учитывающее добавочные потери в меди;  $R_1$ ,  $X_1$  — активное сопротивление и индуктивное сопротивление рассеяния сетевой обмотки статора;  $X_m$  — индуктивное сопротивление намагничивающего контура;  $R_{ст}$  — активное сопротивление, учитывающее основные и добавочные потери в стали;  $R'_к$  и  $X'_к$  — активное и индуктивное сопротивления компенсационной обмотки, приведенные к параметрам сетевой обмотки;  $X'_C$  — емкостное сопротивление конденсатора в цепи компенсационной обмотки, приведенное к параметрам сетевой обмотки;  $R'_{мех}$  — активное сопротивление, учитывающее механические потери в двигателе;  $R'_2$ ,  $X'_2$  — активное и индуктивное сопротивления обмотки ротора, приведенные к параметрам сетевой обмотки;  $s$  — скольжение.

Ниже приведены численные значения сопротивлений, Ом, схемы замещения опытно-

Скольжение	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07
Ток сетевой обмотки, А	1,09	1,76	2,42	3,06	3,69	4,29	4,86
Активная мощность, потребляемая из сети, Вт	677,0	1118,9	1544,4	1949,2	2332,2	2690,8	3023,7
Полезная мощность на валу, Вт	446,4	866,3	1256,2	1614,3	1939,2	2230,3	2487,9
Коэффициент полезного действия	0,660	0,774	0,813	0,828	0,832	0,829	0,823
Коэффициент мощности	0,941	0,964	0,967	0,964	0,959	0,951	0,922
Момент на валу, Н · м	2,65	5,38	7,79	10,20	12,27	14,13	15,77

го образца АД с ВКРМ и повышенными значениями КПД:

$R_d$	$R_1$	$X_1$	$X_m$	$R_{ст}$	$R'_k$	$X'_k$	$X'_c$	$R'_{мех}$	$R'_2$	$X'_2$
0,23	2,05	6,86	80,63	1496,7	6,68	6,80	98,05	9811	3,08	6,67

При расчете этих сопротивлений использовали результаты измерений, полученные в ходе экспериментальных исследований опытного образца в режимах холостого хода и КЗ.

Расчет характеристик опытного образца АД в рабочем диапазоне скольжений выполняли с использованием численных значений параметров схемы замещения и данных измерений напряжений фаз сетевой обмотки. Результаты вычислений представлены в таблице. Построенные по ним графики зависимостей КПД и коэффициента мощности от скольжения показаны на рис. 2. Как видно, КПД опытного образца АД имеет максимальное значение (83,2 %) при скольжении 0,05, а коэффициент мощности при том же скольжении равен 0,959. Для сравнения укажем, что номинальные значения КПД и коэффициента мощности серийного двигателя 4А90L4УЗ, с использованием ротора которого создавался опытный образец АД, составляют соответственно 80 % и 0,83. Производство

максимальных значений энергетических показателей опытного образца составляет 0,797, что на 20 % выше, чем у серийного двигателя типа 4А90L4УЗ.

В опытном образце АД компенсация реактивного намагничивающего тока в сетевой обмотке осуществлялась с помощью металлопленочных конденсаторов RUICHI типа СД60 (150 мкФ ± 10 %, 300 В, 50/60 Гц). Конденсаторы этого типа имеют малые габариты, невысокую стоимость, их напряжение — до 600 В, емкость — до 1000 мкФ, что благоприятствует возможности создания серий АД с ВКРМ.

Использование меди в качестве материала обмотки ротора одновременно со снижением электромагнитных нагрузок также способствует повышению КПД, а следовательно, и энергоэффективности АД.

Таким образом, внутренняя компенсация реактивной мощности и реализация мероприятий по повышению КПД позволяют разработать и серийно выпускать энергоэффективные низкоскоростные АД небольшой мощности. Потребность в них в настоящее время особенно проявляется, например, в нефтяной промышленности для электропривода станков-качалок, осуществляющих механи-

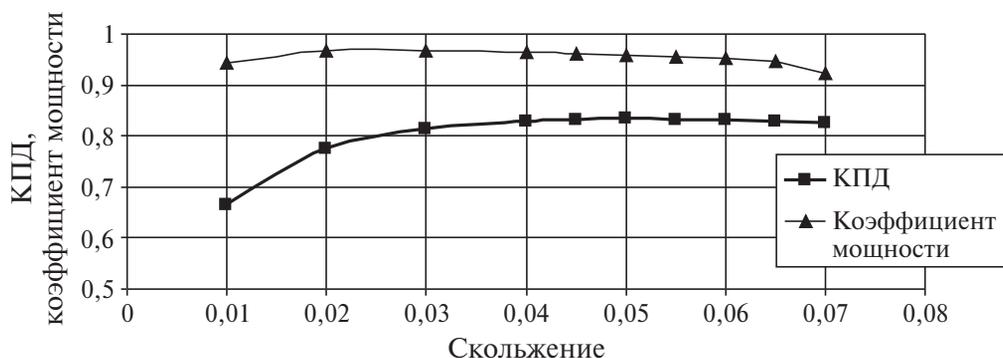


Рис. 2

зированную добычу нефти из низкопродуктивных скважин. Применение таких двигателей позволяет перейти от циклического режима работы низкопродуктивных нефтяных скважин к непрерывному режиму, уменьшить в 4–6 раз установленную мощность двигателя, увеличить значения энергетических показателей электропривода, снизить габариты и стоимость электрооборудования систем электроснабжения кустов скважин [6].

#### Список литературы

1. **Перспективы** разработки и производства стандартных асинхронных электродвигателей / А. Кравчик, О. Кругликов, М. Лазаревский, А. Русаковский. — Электроцех, 2006, № 8.
2. **Альбергьян Н. А., Безрученко В. А.** Резервы повышения коэффициента полезного действия электродвигателя. — Электро, 2004, № 3.
3. **Совершенствование** асинхронных двигателей малой мощности / В. А. Чувашев, В. Я. Броди, Ю. Н. Папазов и др. — Электротехника, 2002, № 10.
4. **Железко Ю. С.** Компенсация реактивной мощности и повышение качества электроэнергии. — М.: Энергоатомиздат, 1985.
5. **Пат. 2478249 РФ.** Трехфазный асинхронный электрический двигатель / Е. Ф. Беляев, А. А. Ташкинов, П. Н. Цылев. — Оpubл. в бюл., 2013, № 9.
6. **Модернизация** электрооборудования станков-качалок низкодебитных нефтяных скважин / П. Н. Цылев, Е. М. Огарков, Е. Ф. Беляев, А. М. Бурмакин. — Научные исследования и инновации, 2009, т. 3, № 4.

**Irina.shchapova@gmail.com**