

УДК 621.313.333.2

О.С. Качин, С.И. Качин, А.В. Киселев, А.Б. Серов

Конструкция однофазного асинхронного электродвигателя с повышенным пусковым моментом

Описана конструкция однофазного асинхронного электродвигателя с повышенным пусковым моментом, рассмотрены принципы его функционирования. Предложены пути модернизации однофазных асинхронных электродвигателей в направлении снижения энергопотребления. Приведены экспериментальные механические характеристики электродвигателя предложенной конструкции в сравнении с электродвигателем стандартного исполнения. Приведены расчетные значения показателей энергоэффективности для различных вариантов исполнения однофазных асинхронных электродвигателей на базе предложенной конструкции.

Ключевые слова: однофазный асинхронный электродвигатель, энергоэффективность, пусковой момент, пусковая обмотка.

Однофазные асинхронные электродвигатели (ОАД) малой мощности широко используются в самых различных сферах современной жизни в составе электроприводов, питаемых от однофазной сети переменного тока. Массовое распространение они получили благодаря использованию в бытовой технике. Данный класс электродвигателей относится к изделиям массового производства и выпускается десятками миллионов штук в год, что определяет повышенный интерес производителей к совершенствованию их конструкций и технологий производства. При этом в мировых тенденциях последних десятилетий наблюдается устойчивое предпочтение параметра энергоэффективности электроприводов.

В этой связи одним из основных эксплуатационных показателей однофазных электродвигателей для бытовой техники является уровень их энергопотребления. Согласно оценкам Министерства экономического развития РФ (доклад Президиуму Госсовета РФ «О повышении энергоэффективности российской экономики»), основным потенциалом снижения потребления электрической энергии в «лучших» домохозяйствах обладают холодильные компрессоры (до 50% всего потенциала). До последнего времени задача снижения энергопотребления в жилищном секторе сравнительно успешно решалась путем «импортирования энергоэффективности» из-за рубежа, путем закупки «крупных» бытовых электроприборов (в первую очередь холодильников) с повышенной энергоэффективностью. Так, например, замена устаревших конструкций холодильников на современные энергоэффективные модели может позволить сэкономить до 10 млрд кВт·ч электрической энергии по РФ в год. В связи со стратегической важностью данного показателя Министерством экономического развития РФ планируется к 2020 г. снизить расход электроэнергии на холодильник до 250–280 кВт·ч/год (аналогичный показатель в 2000 г. составлял 387 кВт·ч/год, а в 2007 г. – 325 кВт·ч/год). Государственной программой Российской Федерации «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года» (утверждена Распоряжением Правительства Российской Федерации от 27 декабря 2010 г. №2446-р) предусматривается замена устаревших холодильников и морозильников в 2013–2020 гг. на энергетически высокоэффективные в количестве 125,78 млн штук. При этом планируется обеспечить значительную экономию электрической энергии в жилищном секторе на протяжении 10–30 лет (средний срок службы бытовых холодильников в России).

Достижение существенного снижения расхода электроэнергии бытовыми холодильниками возможно, если использовать новые материалы, технологии и технические решения, в первую очередь, применительно к электроприводу холодильных компрессоров, в качестве электродвигательного устройства которого, как правило, берутся однофазные асинхронные электродвигатели с пусковой обмоткой. Данный тип однофазных электродвигателей отличается тем, что пусковая обмотка подключается к сети лишь на время пуска, имеет малое сечение провода в сравнении с основной обмоткой и занимает менее 1/3 пазового объема статора.

Постановка задачи. Одним из главных направлений совершенствования однофазных асинхронных электродвигателей с пусковой обмоткой является улучшение их пусковых характеристик, а

именно, увеличение пускового момента [1–6]. Данный параметр особенно актуален для электродвигателей, приводящих во вращение компрессоры. Наличие определенного превышения пускового момента электродвигателя над максимальным моментом нагрузки необходимо также из соображений сохранения условий пуска электропривода при снижении напряжения питающей сети, что наиболее часто имеет место в условиях перегрузки энергосистем в пригородной, а также в сельской местности Российской Федерации. Указанная проблема актуальна, так как наличие запаса по пусковому моменту в ряде случаев позволяет снижать проектную мощность электродвигателя, что обеспечивает большую его загрузку в номинальном режиме и уменьшение потребления электроэнергии. Таким образом, цель работы заключается в повышении пускового момента однофазных асинхронных электродвигателей с пусковой обмоткой, а также анализе путей повышения их энергоэффективности.

Разработка новых конструкций однофазных асинхронных электродвигателей. Коллективом Томского политехнического университета была разработана конструкция однофазного асинхронного электродвигателя, позволяющая повысить пусковой момент, защищенная патентом РФ на изобретение №2510120 [7]. Согласно предложенной конструкции в статоре в области пазов, расположенных в зонах магнитных осей основной обмотки, выполнены сквозные немагнитные зазоры или с воздушным заполнением, или с немагнитными вставками (рис. 1).

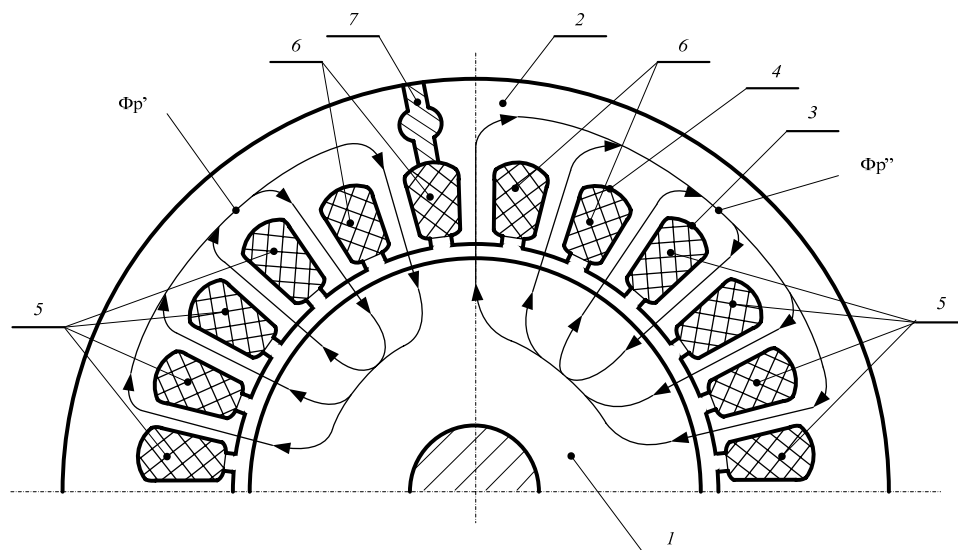


Рис. 1. Активная часть однофазного асинхронного электродвигателя предлагаемой конструкции с отображением силовых линий магнитного поля ротора Φ_r : 1 – ротор; 2 – статор; 3 и 4 – пазы основной и вспомогательной обмоток; 5 – основная обмотка; 6 – вспомогательная обмотка; 7 – сквозной немагнитный зазор

Полюсное деление каждой из систем полюсов составляет 180° , соответственно сдвиг основной и вспомогательной систем полюсов выполнен на 90° относительно друг друга. Возможно выполнение предлагаемой конструкции электродвигателя с большим числом полюсов в каждой из фаз, например с четырьмя полюсами. Вспомогательные обмотки 6 имеют большее по сравнению с основными обмотками 5 соотношение активного и индуктивного сопротивлений либо включены последовательно с конденсатором.

При выполнении в предложенной конструкции (см. рис. 1) сквозных немагнитных зазоров в статоре в области пазов, расположенных в зонах магнитных осей основной обмотки, магнитный поток поперечной реакции ротора представляет совокупность двух магнитных потоков Φ_r' и Φ_r'' . Причем каждый из указанных магнитных потоков почти в два раза меньше магнитного потока Φ_r электродвигателя традиционной конструкции, поскольку они создаются уменьшенной (ориентировочно в два раза) магнитодвижущей силой ротора. Каждый из магнитных потоков Φ_r' и Φ_r'' охватывает меньшее число проводников ротора в сравнении с прототипом (см. рис. 1). В результате величина индуктивности ротора в конструкции предлагаемого однофазного асинхронного электродвигателя уменьшается почти в два раза по сравнению с однофазным электродвигателем, выполненным в соответствии с традиционной конструкцией.

Выполнение сквозных немагнитных зазоров 7 в предложенной конструкции статора однофазного асинхронного электродвигателя практически не влияет на величину основного магнитного потока, создаваемого основной обмоткой, и на электромагнитные параметры основной фазы статора.

Таким образом, уменьшение индуктивности обмотки ротора сопровождается снижением величины индуктивного сопротивления фазы ротора и, соответственно, повышением пускового момента электродвигателя, поскольку критический момент и критическое скольжение при этом возрастают [8]. Следовательно, предложенная конструкция однофазного асинхронного электродвигателя позволяет улучшать его пусковые характеристики в сравнении с известными техническими решениями в данной области техники.

Однофазный электродвигатель предложенной конструкции работает следующим образом. При включении основной фазы с основными обмотками 5 и вспомогательной фазы с вспомогательными обмотками 6 в сеть переменного напряжения создаются два пульсирующих магнитных потока, сдвинутых в пространстве и во времени. Суммарное магнитное поле статора 2, действующее на ротор 1, будет вращаться в пространстве и наводит в короткозамкнутой обмотке ротора 1 ЭДС, под действием которых в короткозамкнутой обмотке ротора 1 будут протекать токи и создавать магнитный поток ротора 1. Взаимодействие магнитных потоков статора 2 и ротора 1 создает вращающий момент на роторе 1. Причем наличие сквозных немагнитных зазоров 7 в статоре в области пазов 4 вспомогательной обмотки 6, расположенных в зонах магнитных осей основной обмотки 5, приводит к уменьшению индуктивного сопротивления обмотки ротора 1, что сопровождается изменениями во взаимодействии магнитных потоков статора 2 и ротора 1 и увеличением пускового момента однофазного асинхронного электродвигателя. В результате пуск электродвигателя при заданной нагрузке осуществляется за более короткий промежуток времени либо может быть выполнен с увеличенной нагрузкой на валу. После выхода электродвигателя в рабочий режим вспомогательная фаза с вспомогательными обмотками 6 может быть отключена, поскольку при рабочей скорости вращения может обеспечиваться достаточный вращающий электромагнитный момент при работе лишь основной фазы с основными обмотками 5.

Работоспособность предлагаемой конструкции проверена экспериментально на однофазном асинхронном электродвигателе электроточила «Томск 1У4.2» с пусковой обмоткой ТУ 16-539.533-72, в конструкции статора которого были выполнены сквозные немагнитные зазоры. Из приведенных зависимостей момента M от скольжения S однофазных асинхронных электродвигателей (рис. 2) следует, что пусковой момент в электродвигателе предложенной конструкции повышен на 23% (кривая 2) в сравнении с традиционной конструкцией (кривая 1), а его частота вращения на рабочем участке механической характеристики несколько снижена.

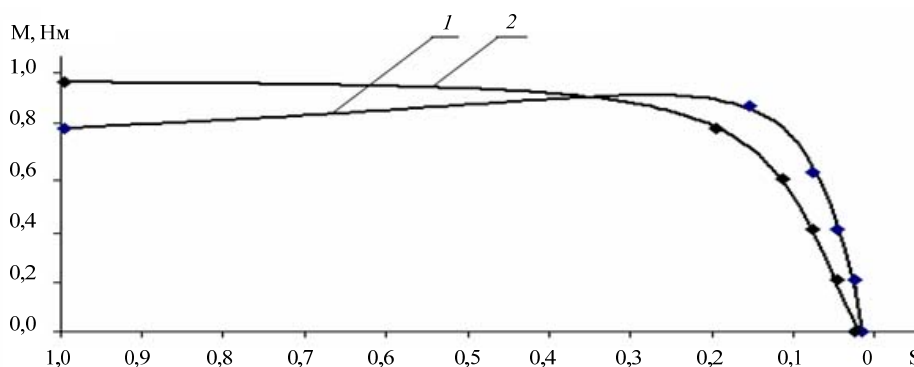


Рис. 2. Зависимости момента M от скольжения S однофазных асинхронных электродвигателей, выполненных по традиционной (кривая 1) и предложенной (кривая 2) конструкции

Таким образом, применение предлагаемого однофазного асинхронного электродвигателя позволяет повысить пусковой момент, что может обеспечить надежный пуск электродвигателя при наличии нагрузки на валу, близкой по величине к номинальной или даже превышающей ее, а также при снижении напряжения питающей сети относительно номинального значения.

Предлагаемый путь повышения величины пускового момента ОАД с пусковой (вспомогательной) обмоткой благодаря снижению индуктивности короткого замыкания вследствие конструктивных изменений в магнитопроводе статора позволяет осуществлять как проектирование новых элек-

тродвигательных устройств с улучшенными техническими характеристиками и эксплуатационными параметрами, так и модернизацию существующих конструкций данного типа электродвигателей.

Одним из направлений модернизации ОАД с пусковой обмоткой для холодильных агрегатов может быть повышение их устойчивости к понижению напряжения питания в сравнении с его номинальным значением. Для решения этой задачи не требуется каких-либо дополнительных изменений в элементах ОАД, помимо описанных выше изменений в конструкции магнитопровода статора. При этом величина пускового момента (по расчетным данным) может быть увеличена на 20–28%, что позволяет иметь дополнительный 11% запас на снижение напряжения питающей сети (превышает предельно допустимое значение установившегося отклонения напряжения в системах электроснабжения общего назначения), что позволит распространить использование модернизированных подобным образом электродвигателей в ранее недоступные сферы.

Следующим направлением модернизации ОАД с пусковой обмоткой является снижение потребления электрической энергии при заданной величине механической энергии, отдаваемой на нагрузку. Решение данной задачи имеет несколько путей реализации. Возможен вариант, когда одновременно с предлагаемыми изменениями конструкции статора уменьшается удельное сопротивление элементов беличьей клетки до величины, обеспечивающей сохранение пускового момента электродвигателя на заданном уровне. В этом случае можно ожидать снижения электрических потерь в ОАД на 10–16% и повышения выходной мощности на 4–6% (вследствие уменьшения скольжения в рабочем режиме). Экономия потребляемой холодильным компрессором электрической энергии, по предварительным оценкам, только от реализации указанных конструктивных изменений может составить порядка 13%. Это несколько больше, чем суммарное плановое снижение расхода электроэнергии на холодильник к 2020 г. (около 11% с учетом всех предполагаемых усовершенствований его составных элементов, включая повышение теплоизоляционных свойств корпуса холодильника).

Более радикальным вариантом модернизации ОАД является выполнение беличьей клетки ротора из меди или из сплавов с близким к ней удельным сопротивлением (латунь, бронза) наряду с описанными выше изменениями конструкции статора и, при необходимости, другими усовершенствованиями, обеспечивающими сохранение пускового момента электродвигателя на требуемом уровне. В этом случае мощность на валу электродвигателя, по расчетам, может быть увеличена на 8–10%, а экономия потребляемой электроэнергии составит около 22%.

Заключение. На основе проведенных исследований возможно сделать следующие выводы:

1. Предлагаемые конструкторские решения, направленные на изменение индуктивных параметров ОАД, имеют теоретическое обоснование их технической эффективности и открывают новые возможности для улучшения основных эксплуатационных показателей электроприводов для бытовой техники.

2. В предложенной конструкции однофазного асинхронного электродвигателя удалось достигнуть повышения пускового момента за счет снижения величины индуктивного сопротивления фазы ротора на 23%. Таким образом, применение предлагаемого однофазного асинхронного электродвигателя с повышенным пусковым моментом может обеспечить надежный пуск электродвигателя при наличии нагрузки на валу, близкой к номинальной или даже превышающей ее, а также при снижении напряжения питающей сети относительно номинального значения.

3. Проведенный анализ на примере компрессора холодильного оборудования показывает, что при оптимизации электромагнитной части возможно повысить энергоэффективность до 22%.

Литература

1. Абрамов А.Д. Однофазный асинхронный электродвигатель с повышенным пусковым моментом / А.Д. Абрамов, А.Р. Куделько // *Электричество*. – 1990. – № 12. – С. 67–69.
2. Пат. 2 028 024 РФ, МПК Н 02 К 17/08. Однофазный электродвигатель / Е.И. Ефименко (РФ). – № 5 000 293/07; заявл. 16.08.91; опубл. 27.01.95. Бюл. № 3. – 6 с.
3. А. с. 1 410 203 РФ, МПК Н 02К 17/04. Статор однофазного асинхронного электродвигателя / Б.Ф. Ковалев (СССР). – № 4167693; заявл. 26.12.86; опубл. 15.07.88. Бюл. № 20. – 3 с.
4. Пат. 2 010 410 РФ, МПК Н 02К 17/04. Однофазный асинхронный электродвигатель / Б.Ф. Ковалев (РФ). – № 4 948 371/07; заявл. 24.06.91; опубл. 30.03.94. Бюл. № 9. – 4 с.

5. Веларде Н.М. Исследование однофазных асинхронных двигателей с пусковой ферромагнитной обмоткой в установившихся и переходных режимах: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.09.01 / Моск. энергетический ин-т. – М., 1995. – 20 с.

6. Коротков Л. Асинхронные двигатели: перспективы совершенствования // Рынок электротехники. – 2006. – № 4. – С. 171–176.

7. Пат. 2 5101 20 РФ, МПК Н 02К 17/08. Однофазный электродвигатель / С.И. Качин, О.С. Качин (РФ). – № 2 012 139 937/07; заявл. 18.09.12; опубл. 20.03.14. Бюл. № 8. – 8 с.

8. Москаленко В.В. Автоматизированный электропривод / В.В. Москаленко. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 196 с.

Качин Олег Сергеевич

Доцент каф. электропривода и электрооборудования
Национального исследовательского Томского политехнического университета (НИТПУ)
Тел.: 8 (382-2) 56-37-59
Эл. почта: kos@tpu.ru

Качин Сергей Ильич

Д-р техн. наук, профессор каф. электропривода и электрооборудования НИТПУ
Тел.: 8 (382-2) 70-63-30
Эл. почта: ksi@tpu.ru

Киселев Александр Викторович

Ассистент каф. электромеханических комплексов и материалов НИТПУ
Тел.: 8 (382-2) 56-34-53
Эл. почта: kiselev_av@mail2000.ru

Серов Александр Борисович

Магистрант каф. электромеханических комплексов и материалов НИТПУ
Тел.: 8 (382-2) 56-34-53
Эл. почта: sabtpu@gmail.com

Kachin O.S., Kachin S.I., Kiselev A.V., Serov A.B.

Single phase induction motor

The design of the single-phase induction motor with increased starting torque is described. The principles of motor functioning are considered. Ways of modernization of single-phase induction motors in the direction of energy efficiency are offered. Experimental mechanical characteristics of the proposed electric motor in comparison with the standard electric motor are provided. Values of energy efficiency for various proposed design options of single-phase induction motors are given.

Keywords: single-phase induction motor, starting torque, energy efficiency, starting winding.
