

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **043892**

(13) **B1**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2023.06.30

(51) Int. Cl. **H02P 1/26** (2006.01)
H02P 1/04 (2006.01)
H02P 23/14 (2006.01)

(21) Номер заявки
202200150

(22) Дата подачи заявки
2022.11.22

(54) АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ С ФАЗНЫМ РОТОРОМ

(31) 2021130002

(56) RU-C1-2751125
RU-C1-2342767
CN-B-106068610
US-B2-8487561

(32) 2021.10.14

(33) RU

(43) 2023.04.28

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
**ФЕДЕРАЛЬНОЕ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ
АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ "САНКТ-
ПЕТЕРБУРГСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ "ЛЭТИ" ИМ. В.И.
УЛЬЯНОВА (ЛЕНИНА)" (СПбГЭТУ
"ЛЭТИ") (RU)**

(72) Изобретатель:
**Росляков Ростислав Олегович,
Лукичев Андрей Николаевич, Лебедев
Роман Андреевич (RU)**

(57) Асинхронный двигатель с фазным ротором относится к области электротехники и снабжен размещаемыми на его роторе компонентами, действие которых обеспечивает возможность осуществления бесконтактного его пуска. Сохраняя одно из важнейших качеств асинхронного двигателя с фазным ротором - способность обеспечить высокий пусковой момент при пусковом токе, незначительно отличающемся от номинального, предлагаемое техническое решение позволяет обойтись при пуске и последующей работе электродвигателя без щеток и контактных колец. Это существенно повышает пожаро- и взрывобезопасность, а также облегчает и упрощает конструкцию, как и работы по техническому обслуживанию самого электродвигателя, так и электроустановки в целом. Статор предлагаемого асинхронного двигателя имеет общеизвестную конструкцию. Представлена принципиальная электрическая схема его ротора. Силовая часть данной схемы содержит первую (La), вторую (Lb) и третью (Lc) фазные обмотки ротора, соединенные по схеме "звезда", три диода: (VD1), (VD2) и (VD3), а также тиристор (VS) и пусковой резистор (Rn). Схема управления тиристором (VS) включает в себя два оптрона, (U1) и (U2), одновибратор (G1) с перезапуском по заднему фронту сигнала, а также логический элемент ИЛИ-НЕ (1).

B1

043892

043892

B1

Заявляемое изобретение относится к области электротехники, в частности к таким устройствам, которые позволяют осуществлять бесконтактный пуск асинхронного двигателя с фазным ротором.

Как известно, асинхронные двигатели широко применяются для приведения в действие различных механизмов: компрессоров, транспортеров, кранового оборудования и других подобных устройств, не редко имеющих значительный пусковой момент. При этом время от времени их приходится устанавливать в помещениях, характеризующихся опасностью возникновения пожара и/или взрыва.

Наиболее простыми по конструкции, а также необходимому техническому обслуживанию являются асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором. Однако их непосредственный ("прямой") пуск сопровождается весьма большими пусковыми токами, нередко в 5-7 раз превышающими номинальный. При этом, если запускаемый электродвигатель будет достаточно мощным, а питающая его сеть окажется "слабой", такие токи могут вызывать существенное снижение ("провал") напряжения, что будет "затягивать" по времени сам пуск, вплоть до возможной его неудачи из-за снижения создаваемого на валу электромагнитного момента.

Для уменьшения пусковых токов применяются различные технические решения, в том числе относящиеся к конструкции ротора асинхронного двигателя. На практике для решения данной проблемы наиболее широкое применение нашли электрические машины с фазным ротором (см. с. 487-490 монографии Костенко М.П., Пиотровский Л.М. Электрические машины. В 2-х ч., Ч. 2. - Машины переменного тока. Изд. 3-е перераб. Л., Энергия 1973. 648 с. с ил.).

Недостатком данного технического решения - аналога является наличие в указанной конструкции такого узла, как щетки с контактными кольцами. Дело в том, что в месте их контакта возможно образование искрения, что совершенно недопустимо, например, в тех случаях, когда двигатель предполагается использовать в помещениях, характеризующихся опасностью возникновения пожара и/или взрыва. Кроме того, из-за истирания в процессе эксплуатации такого двигателя щетки приходится периодически заменять, что отнюдь не упрощает его техническое обслуживание.

В качестве прототипа заявляемого технического решения было выбрано устройство, описанное в патенте РФ на изобретение № 275125 от 08.07.2021 "Асинхронный двигатель с фазным ротором", автор: Зиатдинова А.Р., Лебедев Р.А., Лукичев А.Н., Росляков Р.О.

Устройство содержит статор, первую, вторую и третью фазные обмотки ротора, первые выводы которых соединены по схеме "звезда", а также расположенные на роторе тиристор, пусковой резистор и балластный резистор.

Недостатком данного устройства является его довольно сложная электрическая схема с немалым числом компонентов и, как следствие, далеко не простая в настройке.

Одних только RC-цепочек устройство - прототип содержит 6 штук - по одной на каждый тиристор. При этом у каждой из них из-за разброса параметров емкости и сопротивления в используемых конденсаторах и резисторах, строго говоря, будет своя собственная постоянная времени. Чтобы уменьшить данный разброс, необходимо подбирать номиналы конденсаторов и резисторов перед их установкой в схему.

Кроме того, по окончании пуска, т.е. в уже "установившемся" режиме работы для устройства - прототипа характерны скачкообразные изменения электромагнитного момента между механическими характеристиками - искусственной (при включенных пусковых резисторах) и естественной (когда пусковые резисторы зашунтированы). Как следствие, в "установившемся" режиме работы в электродвигателе будут иметь место дополнительные потери на регулярный, пусть и кратковременный, нагрев размещенных на роторе пусковых резисторов, которые оказываются задействованными в те моменты времени, когда двигатель работает на искусственной механической характеристике. Сам двигатель будет вращаться "рывками", что, конечно же, не лучшим образом скажется на его подшипниках, а также на том механизме, который соединен с его выходным валом.

Технический результат, достигаемый заявляемым техническим решением, состоит в устранении перечисленных недостатков.

Для получения технического результата в асинхронном двигателе с фазным ротором, содержащем статор, первую, вторую и третью фазные обмотки ротора, первые выводы которых соединены по схеме "звезда", а также расположенные на роторе тиристор, пусковой резистор и балластный резистор, на роторе также размещены первый, второй и третий диоды, первый и второй оптрона, одновибратор с перезапуском, а также схема ИЛИ-НЕ.

При этом второй вывод первой фазной обмотки соединен с анодом первого диода. Второй вывод второй фазной обмотки соединен с анодом второго диода. Второй вывод третьей фазной обмотки соединен с анодом третьего диода. Катоды первого, второго и третьего диодов соединены с первым выводом пускового резистора, а также анодом тиристора.

Общая точка первой, второй и третьей фазных обмоток соединена со вторым выводом пускового резистора, первым выводом балластного резистора и катодом тиристора. Второй вывод балластного резистора соединен с первым выводом источника света первого оптрона, второй вывод которого соединен со вторым выводом первой фазной обмотки. Вывод фотоприемника первого оптрона соединен с входом одновибратора с перезапуском, а также первым входом схемы ИЛИ-НЕ.

Выход одновибратора с перезапуском соединен со вторым входом схемы ИЛИ-НЕ, выход которой соединен с первым выводом источника света второго оптрона, первый вывод фотоприемника которого соединен с управляющим электродом тиристора, а второй вывод фотоприемника второго оптрона соединен с общей точкой первой, второй и третьей фазных обмоток.

Более подробно заявляемое техническое решение раскрыто в приведенном ниже примере реализации. Оно иллюстрируется тремя фигурами, где

на фиг. 1 представлена принципиальная электрическая схема фазного ротора асинхронного двигателя,

на фиг. 2 и 3 приведены временные диаграммы работы схемы на разных этапах пуска электродвигателя.

Статор предлагаемого асинхронного двигателя имеет общеизвестную конструкцию, а его фазный ротор (схема показана на фиг. 1) содержит первую (La), вторую (Lb) и третью (Lc) фазные обмотки ротора, первые выводы которых соединены по схеме "звезда", и три диода: (VD1), (VD2) и (VD3). На роторе также расположены тиристор (VS) и пусковой резистор (Rn). Все перечисленное в данном абзаце относится к "силовой" части заявляемой схемы.

В ходе разработки, изготовления и эксплуатации предлагаемого электродвигателя тепловому режиму работы указанных компонентов необходимо уделять особое внимание.

В частности, следует предпринять такие меры, которые позволили бы обеспечить надежную работу полупроводниковых элементов схемы, предотвратив их неоправданный перегрев. Например, диоды (VD1), (VD2) и (VD3), тиристор (VS), а также схему управления им (см. ниже) можно разместить на крыльчатке электродвигателя, выполнив ее из материала с высокой теплопроводностью, например из алюминия, и изолировав перед установкой места будущего крепления термопастой, также имеющей высокую теплопроводность.

Пусковой резистор (Rn) нужно поместить на конце вала, противоположном от крыльчатки, где расположены электронные компоненты. Наматывать пусковой резистор на вал ротора следует из проволоки, изготовленной из сплава с высоким удельным сопротивлением. Перед намоткой проволоку следует покрыть гибким и термостойким изоляционным лаком, а затем дать ему высохнуть, отрезать кусок покрытой изоляцией проволоки необходимой длины и сложить его пополам.

Последнее имеет своей целью получить так называемую бифилярную обмотку - чтобы уменьшить индукционные токи ("токи Фуко"), которые неизбежно возникают в сплошном (не шихтованном) стальном валу двигателя на первом этапе его пуска, когда пусковой резистор (Rn) еще не будет зашунтирован открывшимся тиристором (VS).

Для управления открытием тиристора (VS) на роторе также размещены: балластный резистор (Rб), первый (U1) и второй (U2) оптрона, одновибратор с перезапуском (G1), а также логическая схема ИЛИ-НЕ (7).

Между перечисленными элементами установлены следующие соединения.

Второй вывод первой фазной обмотки (La) соединен с анодом первого диода (VD1). Второй вывод второй фазной обмотки (Lb) соединен с анодом второго диода (VD2). Второй вывод третьей фазной обмотки (Lc) соединен с анодом третьего диода (VD3). Катоды первого (VD1), второго (VD2) и третьего (VD3) диодов соединены с первым выводом пускового резистора (Rn), а также анодом тиристора (VS).

Общая точка первой (La), второй (Lb) и третьей (Lc) фазных обмоток соединена со вторым выводом пускового резистора (Rn), первым выводом балластного резистора (Rб) и катодом тиристора (VS). Второй вывод балластного резистора (Rб) соединен с первым выводом источника излучения первого оптрона (U1), второй вывод которого соединен со вторым выводом первой фазной обмотки (La).

Вывод фотоприемника первого оптрона (U1) соединен с входом одновибратора с перезапуском (G1), а также первым входом логической схемы ИЛИ-НЕ (1). Выход одновибратора с перезапуском (G1) соединен со вторым входом схемы ИЛИ-НЕ (1), выход которой соединен с первым выводом источника излучения второго оптрона (U2), первый вывод фотоприемника которого соединен с управляющим электродом тиристора (VS), а второй вывод фотоприемника второго оптрона (U2) соединен с общей точкой первой (La), второй (Lb) и третьей (Lc) фазных обмоток.

В процессе пуска электродвигателя схема, представленная на фиг. 1, работает следующим образом.

Второй оптрон (U2) обеспечивает гальваническую развязку между выходом логического элемента "ИЛИ-НЕ" (1) и управляющим электродом силового тиристора (VS). Первый оптрон (U1), помимо гальванической развязки, обеспечивает схему управления тиристором (VS), а именно одновибратор с перезапуском (G1) и логический элемент "ИЛИ-НЕ" (1) однополупериодными сигналами, имеющими продолжительность " $T_2/2$ " (см. фиг. 2 и 3).

Эти сигналы соответствуют постоянству знака - каждому отдельному полупериоду наводимой в обмотках ротора переменной ЭДС. Будучи обратно пропорциональной частоте указанной ЭДС их продолжительность соответствует оборотам - частоте вращения, достигнутой ротором в процессе пуска двигателя.

В данной схеме одновибратор (G1) с перезапуском по заднему фронту формирует импульсы дли-

тельностью " $T_{об}$ " (см. фиг. 2 и 3) по каждому заднему фронту управляющего воздействия - сигнала, поступающего от фотоприемника первого оптрона (U1).

Все элементы рассматриваемого устройства (см. фиг. 1) размещаются на роторе электродвигателя и вращаются вместе с ним. Их функционирование в процессе пуска двигателя можно разделить на следующие два этапа.

Первый этап - когда полупериод " $T_2/2$ " наводимой в обмотках ротора ЭДС меньше постоянной времени $T_{об}$ одновибратора (G1), см. фиг. 2. Данный этап будет соответствовать начальной стадии пуска электродвигателя. На этом этапе происходит подключение его к сети, что приводит к появлению в обмотках ротора наведенной ЭДС, имеющей в первый момент времени (пока ротор не тронулся с места) частоту, равную частоте сети.

Выпрямленный светодиодом - источником излучения первого оптрона (U1) однополупериодный сигнал, соответствующий напряжению обмотки ротора (La), будет поступать от фотоприемника первого оптрона (U1) одновременно и на вход одновибратора (G1), и на первый вход логического элемента "ИЛИ-НЕ" (1). Этот сигнал своим задним фронтом переведет одновибратор (G1) в неустойчивое состояние логической единицы (высокого напряжения на его выходе). Таким образом, на выходе одновибратора (G1) будет формироваться импульс длительностью " $T_{об}$ ".

К началу поступления следующего входного однополупериодного сигнала, формируемого первым оптронами (U1), одновибратор с перезапуском (G1) все еще будет находиться в указанном состоянии логической единицы, так как по условию на данном этапе пуска электродвигателя полупериод наводимого в обмотках ротора напряжения " $T_2/2$ " меньше постоянной времени одновибратора " $T_{об}$ ".

В схеме управления тиристором (VS), см. фиг. 1, входной и выходной сигналы одновибратора (G1) поступают на первый и второй входы логического элемента "ИЛИ-НЕ"(1). Из диаграммы этих напряжений видно (см. фиг. 2), что на данном этапе не будет таких интервалов времени, в течение которых одновременно имели бы низкий уровень как входной $U_{вх\ об}$, так и выходной $U_{вых\ об}$ сигналы одновибратора.

Из таблицы истинности логического оператора "ИЛИ-НЕ" следует, что в таком случае на его выходе будет формироваться только сигнал низкого уровня, см. последние три строки таблицы.

Таблица истинности оператора "ИЛИ-НЕ"

Первый вход, x1	Второй вход, x2	Выход, !(x1 x2)
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

Таким образом, на управляющий электрод тиристора (VS) на данном этапе пуска асинхронного двигателя не будет поступать управляющий сигнал от второго оптрона (U2), поскольку последний активируется логическим элементом "ИЛИ-НЕ" (1). Соответственно, тиристор (VS) будет закрыт и не будет шунтировать пусковое сопротивление (Rn). На данном этапе электродвигатель разгоняется на своей искусственной характеристике - при введенном в цепь ротора активном сопротивлении.

Величина сопротивления пускового резистора (Rn) подбирается таким образом, чтобы максимальный ("критический") электромагнитный момент этой искусственной характеристики соответствовал бы точке со скольжением $s=1$ - в тот момент времени, когда двигатель еще не тронулся с места.

Если пусковой момент превосходит момент сопротивления, то в соответствии со вторым законом Ньютона для вращательного движения ротор асинхронного двигателя придет во вращение.

По мере разгона электродвигателя частота ЭДС, наводимая в обмотках ротора, будет уменьшаться и, как следствие, будет увеличиваться ее период. Вместе с периодом будет расти и полупериод. Когда полупериод наводимой в обмотках ротора ЭДС " $T_2/2$ " превысит величину значения постоянной времени одновибратора " $T_{об}$ ", наступает следующий этап пуска асинхронного двигателя.

Второй этап - когда полупериод наводимой в обмотках ротора ЭДС " $T_2/2$ " станет больше продолжительности сигнала одновибратора " $T_{об}$ " - функционирование заявляемой схемы, изменится следующим образом. Как видно из диаграммы, см. фиг. 3, на данном этапе импульс напряжения на выходе одновибратора $U_{вых\ об}$ будет заканчиваться раньше, чем поступает следующий сигнал на его входе $U_{вх\ об}$.

В промежутке времени, когда напряжение на выходе одновибратора (G1) снижается до величины логического нуля и до момента появления следующего сигнала от первого оптрона (U1) оба напряжения окажутся незначительными по величине.

Другими словами, на оба входа логического элемента "ИЛИ-НЕ" (1) в течение этого промежутка времени одновременно поступают сигналы низкого уровня, "логические нули".

Из таблицы истинности логического оператора "ИЛИ-НЕ" (см. строку, первую после заголовка таблицы) следует, что только в этом случае на его выходе будет формироваться "логическая единица" - сигнал напряжения высокого уровня. Под действием такого сигнала заработает второй оптрон (U2), и управляющий электрод переведет в проводящее состояние ("откроет") тиристор (VS). Последний тем

самым шунтирует пусковое сопротивление (R_n).

Один раз открывшись, тиристор (VS) будет продолжать шунтировать пусковое сопротивление (R_n) до тех пор, пока протекающий через тиристор ток будет больше так называемого тока удержания тиристора, как известно, представляющего собой достаточно малую величину. Поэтому далее электродвигатель будет работать на своей естественной характеристике до тех пор, пока его не обесточат.

Осуществление естественной механической характеристики значительно экономичнее использованной на предыдущем этапе пуска электродвигателя искусственной, поскольку здесь пусковое сопротивление (R_n) оказывается шунтированным и отсутствуют потери, обусловленные его нагревом. Второй этап, как и пуск электродвигателя в целом, будет считаться завершенным, когда скорость вращения ротора двигателя перестанет расти, достигнув своего установившегося значения.

Представленное описание позволяет утверждать, что реализация заявляемого технического решения, безусловно, обеспечивает решение поставленных задач и получение технического результата, а именно:

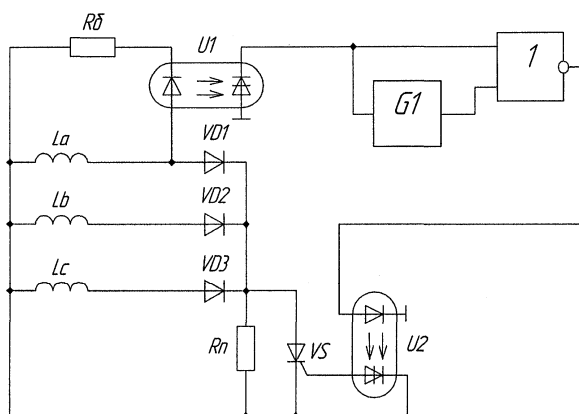
число "силовых" элементов, использованных в схеме, существенно снизилось (в "силовой" части устройства - прототипа было 6 тиристоров и 3 пусковых резистора, а в заявляемом техническом решении - 3 диода, 1 тиристор и 1 пусковой резистор), что ведет к дальнейшему снижению массогабаритных показателей устройства в целом;

требующих подбора ("настройки") параметров схемы осталось только два: это величина сопротивления всего одного пускового резистора и продолжительность сигнала также только одного одновибратора против трех пусковых резисторов и постоянных времени шести RC-цепочек в устройстве - прототипе;

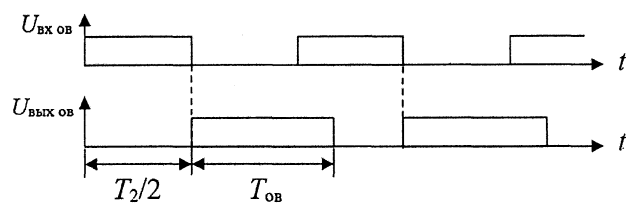
после завершения пуска в "установившемся" режиме работы электродвигателя отсутствуют потери, связанные в устройстве - прототипе с нагревом пусковых резисторов, а также "рывки" при вращении ротора асинхронного двигателя, обусловленные скачкообразными изменениями электромагнитного момента (искусственная характеристика - естественная характеристика электродвигателя).

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

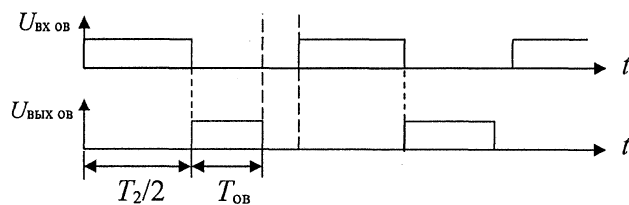
Асинхронный двигатель с фазным ротором, содержащий статор, первую, вторую и третью фазные обмотки ротора, первые выводы которых соединены по схеме "звезда", а также расположенные на роторе тиристор, пусковой резистор и балластный резистор, отличающийся тем, что также на роторе размещены первый, второй и третий диоды, первый и второй оптрона, одновибратор с перезапуском, схема ИЛИ-НЕ, причем второй вывод первой фазной обмотки соединен с анодом первого диода, второй вывод второй фазной обмотки соединен с анодом второго диода, второй вывод третьей фазной обмотки соединен с анодом третьего диода, катоды первого, второго и третьего диодов соединены с первым выводом пускового резистора, а также анодом тиристора, общая точка первой, второй и третьей фазных обмоток соединена со вторым выводом пускового резистора, первым выводом балластного резистора и катодом тиристора, второй вывод балластного резистора соединен с первым выводом источника света первого оптрона, второй вывод которого соединен со вторым выводом первой фазной обмотки, вывод фотоприемника первого оптрона соединен с входом одновибратора с перезапуском, а также первым входом схемы ИЛИ-НЕ, выход одновибратора с перезапуском соединен со вторым входом схемы ИЛИ-НЕ, выход которой соединен с первым выводом источника света второго оптрона, первый вывод фотоприемника которого соединен с управляющим электродом тиристора, а второй вывод фотоприемника второго оптрона соединен с общей точкой первой, второй и третьей фазных обмоток.



Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3

