

ДВУХРОТОРНЫЙ ШАГОВЫЙ АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ

В.А. Соломин, А.В. Соломин, Л.Л. Замшина, Н.А. Трубицина

ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения», г. Ростов-на-Дону, Россия, ema@rgups.ru

Аннотация - описан двухроторный шаговый асинхронный двигатель с новым принципом действия, способный одновременно реализовать два дискретных перемещения различной величины. Получены соотношения для расчета величины шагов роторов при изменении конструкции катушек обмотки.

Ключевые слова - шаговый асинхронный двигатель; бегущие магнитные поля; шаги роторов.

I. ВВЕДЕНИЕ

В различных технологических процессах необходима реализация точных дискретных перемещений и поэтому шаговый электропривод все время развивается и совершенствуется, создаются новые конструкции шаговых электродвигателей и блоков управления их работой. Традиционные шаговые электродвигатели по принципу своего действия являются синхронными машинами и для совершения дискретного перемещения (шага) должны иметь зубчатые роторы, выполненные из ферромагнитного материала. Реализация дискретного перемещения беззубцовым и немагнитным ротором является недостижимым техническим результатом в синхронном шаговом электроприводе.

II. КОНСТРУКЦИЯ АСИНХРОННОГО ШАГОВОГО ДВИГАТЕЛЯ

На кафедре «Электрические машины и аппараты» Ростовского государственного университета путей сообщения разработан новый, асинхронный принцип работы, позволяющий гладкому (беззубцовому) ротору осуществлять шаговое перемещение с высокой точностью. Новый принцип действия позволил создать ряд конструкций шаговых асинхронных двигателей (ШАД), предназначенных, преимущественно, для систем автоматического управления и регулирования [1]. Одним из наиболее перспективных для практического использования является двухроторный ШАД, способный одновременно совершать с высокой точностью два шаговых перемещения различной длины [2]. Данный двигатель имеет один индуктор с катушками трехфазной обмотки и два гладких (беззубцовых) ротора внутренний и внешний, выполненных из электропроводящего материала, который может быть как немагнитным, так и магнитным.

Конструктивная схема двухроторного шагового асинхронного двигателя представлена на рис.1. Двухроторный шаговый асинхронный электродвигатель 1 содержит индуктор 2, с зубцами 3 и 4, расположенными на внутренней и внешней рсточках

индуктора и пазами 5 и 6, расположенными между ними. В пазах 5 и 6 размещены фазные катушки обмотки 7. Основной (внутренний) ротор содержит электропроводящую часть 8 и магнитопроводящую часть 9, размещенные на валу 10. Электропроводящая часть содержит диаметральный прорезь 11, расположенную по всей активной длине основного ротора и заполненную изолирующим веществом. На зубцах 4 на внешней рсточке статора установлены ролики 12, на которые опирается электропроводящая часть 13 дополнительного (внешнего) ротора, выполненная в виде цилиндра и имеющая диаметральный прорезь 14, расположенную по всей активной длине дополнительного ротора и заполненную изолирующим веществом. Поверх электропроводящей части 13 внешнего ротора установлена магнитопроводящая часть 15.

III. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ШАД

Принцип действия двухроторного ШАД основан на использовании магнитных полей, бегущих навстречу друг другу. Для получения бегущих встречно магнитных полей выводы катушек 7 индуктора могут подключаться к источнику трехфазного напряжения при помощи коммутирующего устройства таким образом, что образуется первоначальный ряд, состоящий из пяти соседних катушек обмотки индуктора. Катушки обмотки, образующие первоначальный ряд, имеют до середины ряда прямой (А, В, С), а после середины – противоположный порядок следования фаз (С, В, А). В этом случае токи, протекающие по катушкам, создают бегущие навстречу друг другу магнитные поля, которые будут пересекать электропроводящие части внутреннего и внешнего роторов и индуцировать в них электродвижущие силы. Под действием электродвижущих сил в электропроводящих частях 8 и 13 внутреннего и внешнего роторов потекут вихревые токи. Токи роторов при взаимодействии со встречно бегущими магнитными полями создают вращающие моменты. Моменты M_1 и M_2 приложены к внутреннему ротору, а моменты M_3 и M_4 – к внешнему ротору ШАД (рис. 1). Эти моменты соответственно одинаковы и взаимно уравновешивают друг друга и точно фиксируют основной и дополнительный роторы в положении, указанном на рис. 1.

Для совершения первого шага от источника питания отключаются последняя катушка первоначального дугообразного ряда (рис. 2). В этом случае два из четырех бегущих магнитных полей создаются токами трех катушек (А, В, С), а два других

бегущих поля – токами двух катушек (В и С). Эти бегущие магнитные поля будут эллиптическими.

Данные бегущие магнитные поля, пересекая электропроводящие части 8 и 13 роторов, индуцируют в них электродвижущие силы и токи, которые будут взаимодействовать с бегущими магнитными полями. В результате этого взаимодействия создаются моменты M_1 и M_2 . Момент M_1 создается в результате взаимодействия кругового магнитного поля с токами ротора, им индуцированными и будет больше чем момент M_2 ,

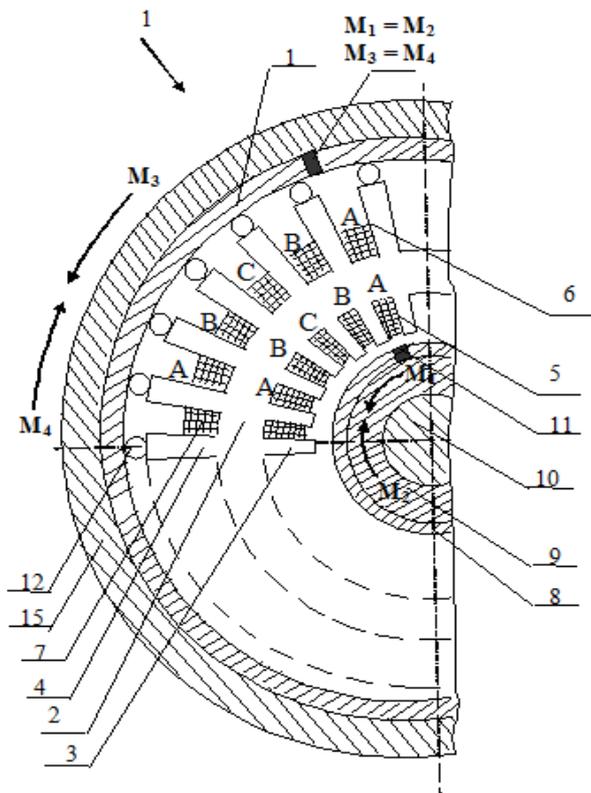


Рис. 1. Двухроторный шаговый асинхронный двигатель:

- 1 – двухроторный ШАД; 2 – сердечник индуктора;
- 3 – внутренние зубцы сердечника индуктора;
- 4 – внешние зубцы сердечника индуктора;
- 5, 6 – внутренние и внешние пазы индуктора; 7 – катушка обмотки индуктора; 8 – электропроводящая часть внутреннего ротора; 9 – ферромагнитная часть внутреннего ротора; 10 – вал; 11 – продольная прорезь, заполненная изоляционным материалом;
- 12 – ферромагнитные опорные ролики;
- 13 – электропроводящая часть внешнего ротора;
- 14 – продольная прорезь, заполненная изоляционным материалом; 15 – ферромагнитная часть внешнего ротора

который создается при взаимодействии эллиптического магнитного поля с токами ротора, им индуцированными. Под действием разности моментов M_1 и M_2 основной ротор начнет поворачиваться против часовой стрелки. Момент M_3 создается в результате взаимодействия кругового бегущего поля с токами, им индуцированными в электропроводящей части 13 дополнительного ротора. Момент M_3 будет больше

момента M_4 (рис. 2), создаваемого при взаимодействии эллиптического магнитного поля с токами, индуцированными им в электропроводящей части 13 дополнительного (внешнего) ротора. Под действием разности моментов M_3 и M_4 дополнительный ротор также начнет поворачиваться против часовой стрелки. Внутренний и внешний роторы будут поворачиваться до тех пока моменты M_1 и M_2 и M_3 и M_4 снова не станут соответственно равными друг другу. Эти моменты будут создаваться при взаимодействии бегущих навстречу друг другу эллиптических магнитных полей, создаваемых токами катушек, подключенных к фазам В и С источника трехфазного напряжения, с вихревыми токами, ими индуцированными в электропроводящих частях обоих роторов. Эти моменты снова будут соответственно

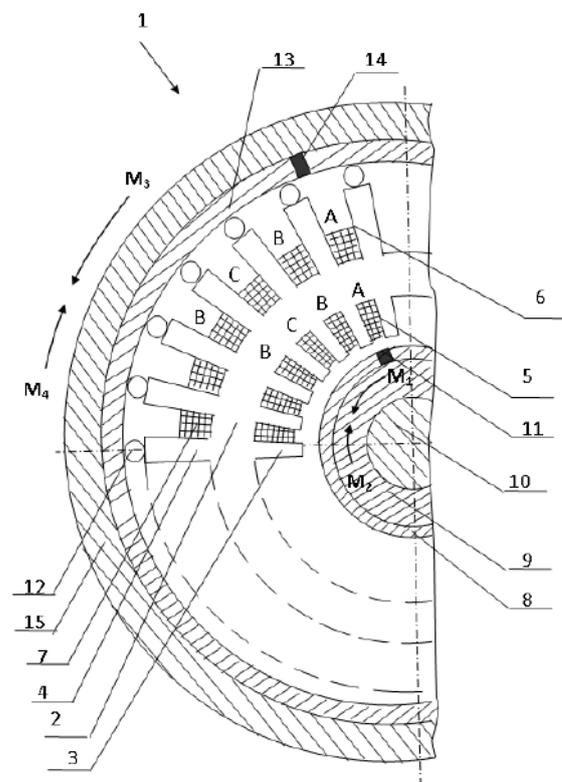


Рис. 2. Двухроторный шаговый асинхронный двигатель при отключенной последней катушке

взаимно уравновешиваться и точно фиксировать роторы ШАД в новом положении. Очевидно, что эти моменты будут меньше моментов, созданных при взаимодействии круговых бегущих магнитных полей, возбуждаемых токами трех фазных катушек (А, В и С) с вихревыми токами роторов, как это показано на рис. 1. Поэтому для более надежной точной фиксации роторов в новом положении коммутирующим устройством отключают от источника питания первую катушку первоначального ряда и подключают катушку, следующую за последней катушкой первоначального ряда. При этом получаем новый дугообразный ряд катушек, аналогичный первоначальному (рис. 3), у которых до середины ряда один, а после середины – противоположный порядок следования фаз. В этом случае моменты M_1 и M_2 ,

действующие на электропроводящую часть 8 основного (внутреннего) ротора снова становятся равными и фиксируют основной ротор в новом положении, и равными становятся моменты M_3 и M_4 , действующие на электропроводящую часть 13 дополнительного (внешнего) ротора и фиксирующие его в новом положении. Таким образом, каждым ротором сделан шаг на одно зубцовое деление и так далее. Очевидно, что величины зубцовых делений (шагов) внутреннего и внешнего роторов неодинаковы.

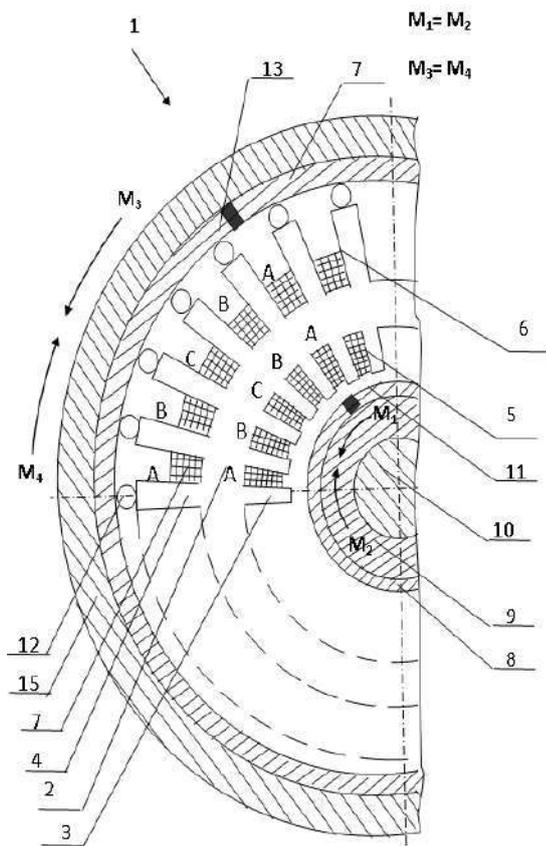


Рис. 3. Новый ряд катушек обмотки ШАД, аналогичный первоначальному

IV. ВЕЛИЧИНЫ ШАГОВ РОТОРОВ

Определим величину шага каждого ротора ШАД. Значения диаметров внутреннего и внешнего роторов соответственно составляют D_1 и D_2 , а числа зубцов на внутренней и внешней рашточках индуктора равны и обозначены символом z .

Величина шага внутреннего (основного) ротора

$$t_{z_1} = \frac{\pi D_1}{z}. \quad (1)$$

Значение длины шага внешнего (дополнительного) ротора

$$t_{z_2} = \frac{\pi D_2}{z}. \quad (2)$$

Для регулирования величин шагов внутреннего и внешнего роторов в каждом пазу индуктора размещают не по одной, а по несколько отдельных катушек, число которых в общем случае равно « n ». Если при формировании первоначального ряда в каждом пазу будет подключена к источнику напряжения только одна отдельная катушка, то могут быть получены минимальные значения шагов обоих роторов

$$t_{z_{1\min}} = \frac{t \cdot z_1}{n} \text{ и } t_{z_{2\min}} = \frac{t \cdot z_2}{n}. \quad (3)$$

В общем случае, если в каждом пазу индуктора ШАД к источнику напряжения подключены коммутирующим устройством « m » из « n » отдельных катушек, то величины шагов внутреннего и внешнего роторов составят

$$t_{z_{1\min}} = \frac{t \cdot z_1}{n} \times m \text{ и } t_{z_{2\min}} = \frac{t \cdot z_2}{n} \times m. \quad (4)$$

Для совершения перемещений обоими роторами шагового асинхронного двигателя вместо отключения последней катушки в первоначальном дугообразном ряду возможно осуществить плавное уменьшение тока в ней. В этом случае степень эллиптичности магнитных полей, созданных токами трех последних катушек первоначального ряда, может изменяться очень плавно, а это позволяет добиться точных сколь угодно малых микроперемещений внутреннего и внешнего роторов. Такой способностью не обладают другие типы шаговых электрических машин.

V. РАСШИРЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ШАД

Внесение незначительных изменений в конструкцию двухроторного шагового асинхронного двигателя позволяет осуществлять раздельное дискретное перемещение роторов машины [3]. Для этого на каждом зубце на внутренней и внешней рашточках индуктора располагаются сосредоточенные катушки двух отдельных обмоток, выводы которых соединяются с коммутирующим устройством. Коммутирующее устройство может подключать к источнику трехфазного напряжения с образованием рядов катушек, токи в которых создают одинаковые встречно бегущие магнитные поля и, при взаимодействии этих полей с токами, ими индуктированными в электропроводящих частях роторов, соответственно, одинаковые по величине и уравновешивающие друг друга вращающие моменты как катушки обмотки, размещенные на зубцах как внешней, так и внутренней рашточек индуктора двухроторного шагового двигателя. Соответственно, как было описано выше совершается дискретное и точное перемещение роторов. При подключении к источнику трехфазного напряжения только катушек обмотки, размещенных на внешней рашточке индуктора ШАД, дискретно может перемещаться внешний ротор двигателя, тогда как внутренний ротор будет оставаться неподвижным. И

наоборот. В данном случае расширяются функциональные возможности шагового асинхронного двигателями за счет раздельной работы роторов. Помимо этого достигается и возможность одновременного перемещения внешнего и внутреннего роторов в разные стороны, что расширяет область применения двухроторного шагового асинхронного двигателя. Определение величины дискретного перемещения каждого из роторов ШАД осуществляется по выше представленным соотношениям.

Многие системы автоматического управления различными технологическими процессами подключаются к однофазному напряжению. В этом случае для получения точных дискретных перемещений могут использоваться однофазные шаговые асинхронные двигатели с экранированными полюсами [4], которые могут выполняться и в двухроторном варианте. В однофазных шаговых асинхронных двигателях встречно бегущие магнитные поля всегда имеют эллиптический характер. Вращающие моменты однофазного ШАД будут направлены от неэкранированной части явно выраженного полюса (зубца) индуктора к экранированной части. Энергетические характеристики однофазного шагового асинхронного двигателя будут всегда ниже, чем у трехфазного варианта машины.

На новом принципе использования встречно бегущих магнитных поле разработан ряд конструкций линейных плоских и цилиндрических шаговых асинхронных двигателей [5-12], которые перспективны для использования в различных производственных и технологических процессах. Линейные шаговые асинхронные двигатели способны к реализации точного и даже прецизионного шагового перемещения электропроводящих деталей различной формы, в том числе и в сочетании с их магнитной левитацией в ряде случаев.

VI. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассматриваемый двухроторный ШАД предназначен для одновременного совершения дискретных перемещений обоими роторами. В различных конструктивных исполнениях возможна реализация как совместного, так и раздельного дискретного перемещения роторов ШАД.

Двухроторный шаговый асинхронный двигатель по сравнению с традиционными машинами, предназначенными для дискретных электроприводов, обеспечивает более высокую точность шагов, совершаемых путем поворота обоих роторов, и расширенными функциональными возможностями.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

[1] Патент 2301488 РФ. МПК 37/00. Шаговый электродвигатель/ В.А. Соломин, В.Г. Бородин, Н.И. Скачков и др. № 2005139770. Заявл. 10.12.2005; опубл. 20.06.2007. Бюл. № 17.

[2] Патент 2358373 РФ. МПК H02K 37/00. Шаговый электродвигатель/В.А. Соломин, Л.Л.

Замшина, А.В. Соломин. № 2008113569. Заявл. 07.04.2008; опубл. 10.06.2009. Бюл. № 16.

[3] Патент 2357349 РФ. МПК H 02 K 37/00. Шаговый электродвигатель/ В.А. Соломин, Л.Л. Замшина, А.В. Соломин и др. № 2008122638. Заявл. 04.06.2008; опубл. 27.05.2009. Бюл. № 15.

[4] Патент 23557350 РФ. МПК H 02 K 37/00. Шаговый двигатель/ В.А. Соломин, А.В. Соломин, Л.Л. Замшина и др. № 2008120289. Заявл. 21.05.2008; опубл. 27.05.2009. Бюл. № 15.

[5] Патент 2321940 РФ. МПК H 02 K 37/00. Линейный асинхронный электропривод/ В.А. Соломин, Л.Л. Замшина, А.В. Соломин. № 2006145557. Заявл. 20.12.2006; опубл. 10.04.2008. Бюл. № 10.

[6] Патент 2377707 РФ. МПК H 02 K 37/00. Линейный асинхронный электропривод/ В.А. Соломин, Л.Л. Замшина, А.В. Соломин и др. № 3998146588. Заявл. 25.11.2008; опубл. 27.12.2009. Бюл. № 36.

[7] Патент 2389125 РФ. МПК H 02 K 37/00. Линейный асинхронный электропривод/ В.А. Соломин, Л.Л. Замшина, А.В. Соломин и др. № 2009114502. Заявл. 16.04.2009; опубл. 10.05.2010. Бюл. № 13.

[8] Патент 2461114 РФ. МПК H 02 K 37/00. Линейный асинхронный электропривод/ В.А. Соломин, Л.Л. Замшина, А.В. Соломин и др. № 2011112572. Заявл. 01.04.2011; опубл. 10.09.2012. Бюл. № 25.

[9] Патент 2422275 РФ. МПК H 02 K 37/00. Линейный асинхронный электропривод/ В.А. Соломин, Л.Л. Замшина, А.В. Соломин и др. № 2011125459. Заявл. 20.06.2011; опубл. 10.01.2013. Бюл. № 1.

[10] Патент 2461114 РФ. МПК H 02 K 37/00. Шаговый электродвигатель/ В.А. Соломин, А.В. Соломин, Н.А. Трубицина и др. № 20111123022. Заявл. 07.06.2011; опубл. 10.02.2013. Бюл. № 4.

[11] Патент 2494522 РФ. МПК H 02 K 37/00. Линейный асинхронный электропривод/ В.А. Соломин, Л.Л. Замшина, А.В. Соломин и др. № 2012112510. Заявл. 30.03.2012; опубл. 27.09.2013. Бюл. № 27.

[12] Патент 2557255 РФ. МПК H 02 K 37/00. Шаговый электродвигатель/ В.А. Соломин, Л.Л. Замшина, А.В. Соломин и др. № 2014114110. Заявл. 09.04.2014; опубл. 24.06.2015. Бюл. № 20.