

# Однофазный асинхронный двигатель

Нечипуренко Николай Алексеевич г. Энергодар, Запорожская обл.

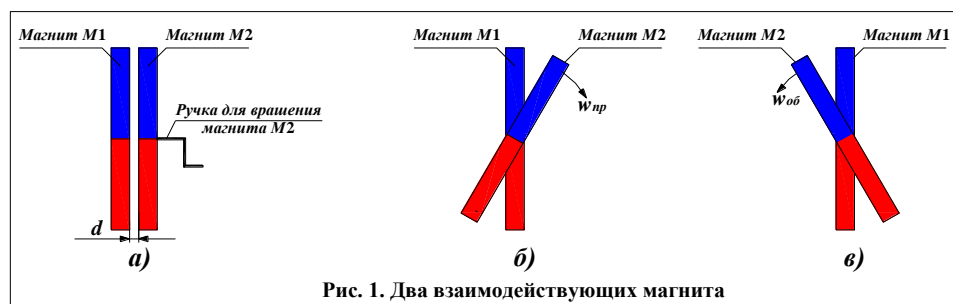
Связь с автором: E-mail: [nikolanech@gmail.com](mailto:nikolanech@gmail.com).

В литературе рассматриваются вопросы, касающиеся однофазных асинхронных двигателей (однофазных АД), и если речь идёт о вращении его ротора, то отмечается, что магнитное поле, наведенное статорной обмоткой АД, разлагается на два противоположно вращающихся магнитных поля. К этому иногда добавляют некоторые уточнения, но умалчивают о том, как же появляется в АД момент, поддерживающий вращение ротора. В настоящей статье даны подробные описания появления вращающегося момента в АД.

## Вращающиеся магнитные поля постоянного магнита

Процессы, протекающие в однофазном АД, целесообразно рассматривать после знакомства с некоторыми особенностями постоянных магнитов.

Два постоянных магнита (рис. 1-а) закреплены так, что магнит **M1** всегда остается в состоянии покоя (магнит **M1** всегда неподвижен), а магнит **M2** можно вращать с помощью, прикреплённой к нему ручки. При вращении магнита **M2** расстояние  $d$ , разделяющее магниты, всегда остаётся неизменным, а продольные оси магнитов всегда располагаются во взаимно параллельных плоскостях.



Магнит **M2** можно сориентировать так, что направления продольных осей магнитов будут совпадать, и совмещёнными будут одноименные полюса магнитов (рис. 1-а), в этом случае магниты окажутся под действием одних только сил взаимного отталкивания, поэтому магнит **M2** будет находиться в *неустойчивом* равновесном состоянии.

Если после этого магнит **M2** слегка повернуть по часовой стрелке (рис. 1-б) или против часовой стрелки (рис. 1-в), и после этого предоставить магниту **M2** свободу, то он, подчиняясь действию магнитных сил, продолжит вращение в заранее выбранном направлении до совмещения разноименных магнитных полюсов. При совмещении разноимённых полюсов, магнит **M2** оказывается в *устойчивом* равновесном состоянии.

Под действием магнитных сил происходит поворот магнита **M2** из неустойчивого в устойчивое равновесное состояние, в учебной литературе – это трактуется так, что магнитное поле любого постоянного магнита и любого электромагнита разлагается на два противоположно направленных вращающихся магнитных поля.

## Магнитные потоки, наводимые в однофазном АД

На рис. 2 изображено сечение однофазного асинхронного двигателя, выполненное плоскостью, перпендикулярной оси вращения ротора и проходящей через середину длины ротора. Маленькими кружочками, в центрах которых изображены крестики и точки, показаны три витка статорной обмотки, а крестики и точки указывают направление тока, текущего в витках обмотки статора, когда её выводы подсоединены к источнику переменного синусоидального напряжения. Стороны каждого витка статорной обмотки уложены в диаметрально противоположные пазы статорной магнитной цепи.

Если нас интересует магнитный поток, наведенный током статорной обмоткой, то можно считать, что у ротора, в этом случае, отсутствует беличья клетка (рис. 2).

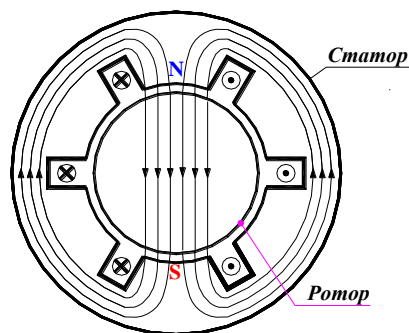


Рис. 2. Магнитный поток, наведенный обмоткой статора однофазного АД

Тонкими линиями, с нанесёнными на них стрелками, изображены магнитные силовые линии того магнитного потока, который наводится током, текущим в витках статорной обмотки. Стрелки указывают направление магнитных силовых линий, которое определяется с помощью правила буравчика. Магнитные силовые линии направлены из верхней части статорной магнитной цепи в её нижнюю часть, следовательно, в верхней части статорной магнитной цепи находится её северный магнитный полюс **N**, а в нижней части – южный магнитный полюс **S**.

Если нас интересует **магнитный поток, ротора**, то необходимо пренебрегать током, текущим в статорной обмотке. На рис. 3-б изображены стержни беличьей клетки, но отсутствуют изображения витков статорной обмотки, следовательно, на рис. 3-б изображён магнитный поток, наведенный током, текущим в стержнях одной только беличьей клетки.

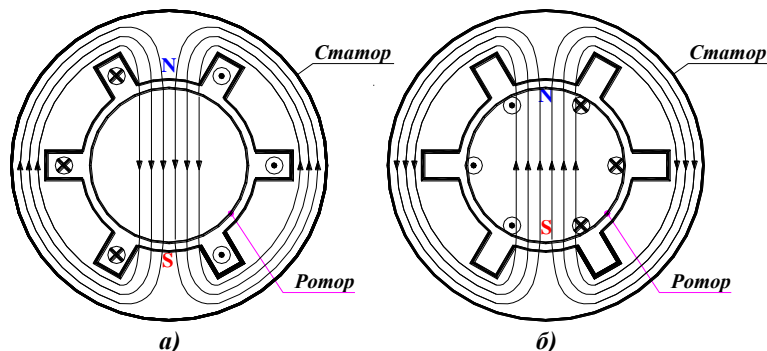


Рис. 3. Магнитные потоки, отдельно наводимые обмоткой статора и беличьей клеткой

Появление переменного статорного магнитного потока сопровождается наведением ЭДС в стержнях беличьей клетки и появлением тока в этих стержнях – этот ток, в свою очередь, наводит магнитный поток, который является магнитным потоком ротора.

Магнитные силовые линии направлены из верхней части ротора в его нижнюю часть, следовательно, в верхней части ротора находится его северный магнитный полюс **N**, а в нижней части – южный магнитный полюс **S**. Магнитный поток ротора (рис.3-б) встречно направлен магнитному потоку статора (рис. 3-а), поэтому поток ротора ослабляет интенсивность потока статора. Ослабленный поток статора является **результатирующим магнитным потоком** однофазного АД. Форма результирующего потока совпадает с формой магнитного потока статора, но результирующий магнитный поток имеет меньшее значение, чем поток статора.

Э. Х. Ленц установил правило, суть которого заключается в том, что индуцированный ток, в нашем случае – это ток, текущий в стержнях беличьей клетки – наводит магнитное поле, которое противодействует первопричине, порождающей этот индуцированный ток. Первопричиной появления тока в стержнях беличьей клетки является переменный магнитный поток, наведенный статорной обмоткой, следовательно, магнитный поток, наведенный током беличьей клетки, будет встречно направлен (будет противодействовать) магнитному потоку, наведенному статорной обмоткой – это согласуется и с правилом Ленца, и с изображениями, представленными на рис. 3.

### Магнитные силы, поддерживающие вращение ротора

Примем условие, что изображённая на рис. 4 штрихпунктирная прямая, окрашенная в фиолетовый цвет и проходящая через северный **N** и южный **S** полюса, является продольной осью магнитного потока статора, а продольная ось магнитного потока ротора изображается зелёной штрихпунктирной линией.

Токоведущая цепь беличьей клетки обладает определенным значением магнитной индуктивности  $L$ , следовательно, синусоидальный ток, текущий в беличьей клетке, запаздывает по времени относительно синусоидального тока, текущего в витках статорной обмотки, соответственно и **магнитный поток ротора запаздывает по времени относительно магнитного потока статора**.

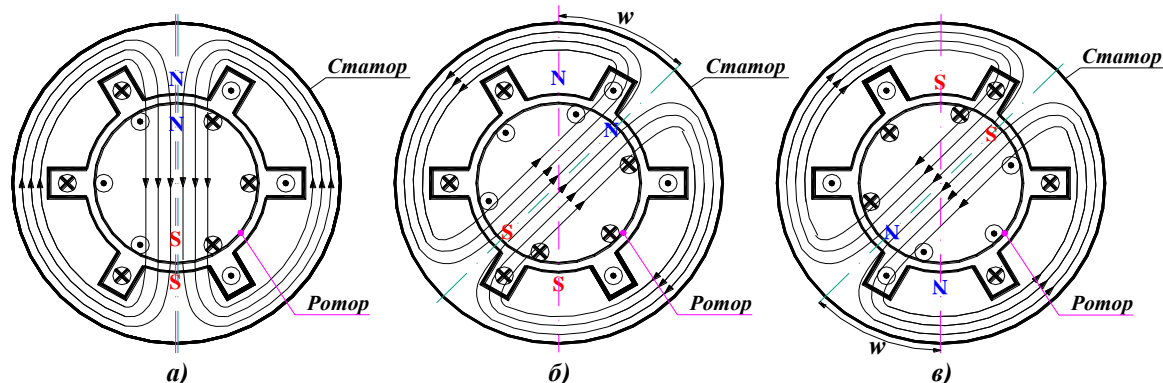


Рис. 4. Магнитные силы, поддерживающие вращение ротора однофазного АД

Пока ротор покоится или, подчиняясь силе стороннего устройства, плавно и **медленно** вращается, до тех пор продольная ось магнитного потока статора совпадает с продольной осью магнитного потока ротора (рис. 4-а), поэтому рассогласование по времени между потоком ротора и потоком статора никак себя не проявляет, и на ротор не действует вращающий момент.

Если ротору сообщить вручную или от стороннего устройства такую начальную скорость, что за время запаздывания магнитного потока ротора, сам ротор повернётся на угол  $w$  (рис. 4-б), то и продольная ось магнитного потока ротора окажется смещённой на угол  $w$  относительно продольной оси магнитного потока статора. Одновременно с появлением углового рассогласования между магнитными потоками статора и ротора появляется вращающий момент, действующий на ротор подобно тому, как вращающий момент постоянного магнита действует на магнит **M2** (рис. 1-б).

В цепи статорной обмотки течёт переменный синусоидальный ток и при каждой смене полупериодов статорного тока, изменяется направление тока, текущего в статорной обмотке – это означает, что при каждой смене полупериодов статорного тока, изменяется направление статорного и роторного токов, а вместе с тем меняются местами северный и южный полюса статорного и роторного магнитных потоков. Следовательно, если рис. 4-б соответствует положительному полупериоду тока, текущего в статорной обмотке, то рис. 4-в соответствует отрицательному полупериоду статорного тока.

На этом можно было бы и закончить рассмотрение, интересующего нас вопроса, но есть нюансы, без прояснения которых могут появиться трудноразрешимые вопросы, поэтому продолжим знакомство с процессами работающего однофазного АД.

### **Вращающий момент, созданный неподвижными магнитными потоками**

Магнитный поток статора всегда остаётся неподвижным, потому что он наводится током неподвижной статорной обмотки, и магнитный поток ротора не может вращаться вместе с ротором, потому что он наводится током беличьей клетки, а ток в беличьей клетке появляется под действием ЭДС, наведенной неподвижным магнитным потоком статора. Следовательно, магнитный поток ротора может сместиться на некоторый угол  $w$  относительно потока статора, но поток ротора не может вместе с вращающимся ротором убежать от потока статора.

Получается так, что вращающий момент однофазного АД создаётся за счёт взаимодействия двух неподвижных магнитных потоков. А почему бы и нет? Можно же магнит **M2** (рис. 1-б) остановить (зафиксировать) в каком-то промежуточном положении между устойчивым и неустойчивым равновесным состоянием, в этом случае магнитные

потоки, принадлежащие магнитам **M1**, **M2** окажутся неподвижными, но это не приведёт к исчезновению вращающего момента, действующего на магнит **M2**. Точно так же и ротор будет находиться под действием вращающего момента, являющегося результатом взаимодействия неподвижного магнитного потока статора и неподвижного потока ротора. Следовательно, после подключения однофазного АД к сети и начального разгона его ротора, ротор, подчиняясь действию вращающего момента, будет вращаться сколь угодно долго.

### Углы запаздывания однофазного АД

На рис. 5 изображены графики статорного магнитного потока  $\Phi_C$  и роторного магнитного потока  $\Phi_P$ .

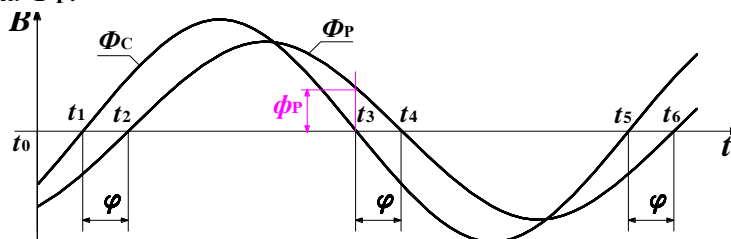


Рис. 5. Угол запаздывания по времени — угол  $\varphi$

Углы запаздывания по времени магнитного потока ротора  $\Phi_P$  относительно магнитного потока статора  $\Phi_C$  обозначены буквой  $\varphi$ . В момент времени  $t_3$ , поток статора  $\Phi_C$  обретает нулевое значение, а запаздывающий поток ротора  $\Phi_P$  к этому моменту времени сохраняет мгновенное положительное значение  $\varphi_P$ . Подобные явления наблюдаются и в моменты времени  $t_1$ , и  $t_5$ , но в этих случаях при нулевом значении потока  $\Phi_C$  отрицательным оказывается значение потока  $\Phi_P$ .

На рис. 6-а показано расположение полюсов (**N**, **S**) магнитных потоков статора и ротора в диапазоне углов  $\varphi$  — это когда отрицательный полупериод потока  $\Phi_C$  сменяется положительным полупериодом (промежутки времени  $t_1$ – $t_2$  и  $t_5$ – $t_6$ , рис. 5), а на рис. 6-б показано расположение полюсов (**N**, **S**) магнитных потоков статора и ротора, когда положительный полупериод потока  $\Phi_C$  сменяется его отрицательным полупериодом (промежуток времени  $t_3$ – $t_4$ , рис. 5).

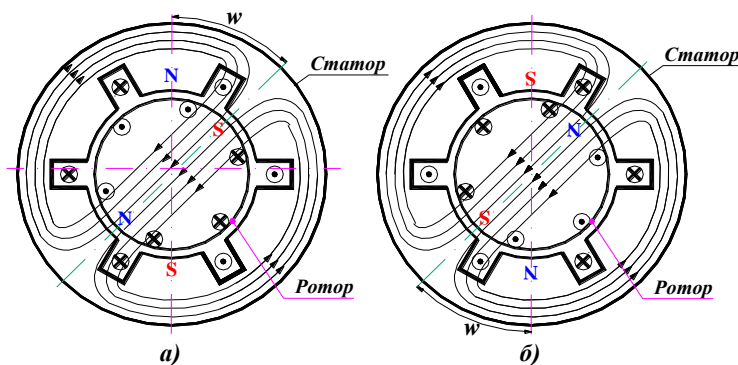


Рис. 6. Расположение магнитных полюсов в диапазоне углов  $\varphi$

В диапазоне углов  $\varphi$  расположение полюсов **N**, **S** (рис. 6) оказывается таким, что ротор, вращающийся по часовой стрелке, находится под действием тормозного вращающего момента. Однако угол  $\varphi$  ограничен небольшим значением, а потоки  $\Phi_C$  и  $\Phi_P$  в диапазонах углов  $\varphi$  близки к нулевым значениям, поэтому массивный ротор, вращаясь и подчиняясь действию сил инерции, проходит углы  $\varphi$  без заметного изменения скорости.

На рис. 7 изображён график зависимости угла  $w$  от скорости вращения  $\omega$  ротора. Если угол  $\varphi$  является углом запаздывания по времени, то угол  $w$ , хотя и зависит от угла  $\varphi$ , но назвать его можно *углом запаздывания по скорости вращения ротора*.

При неизменной скорости вращения ротора ( $\omega = const$ ), и значение угла  $w$  остается неизменным ( $w = const$ ), а при увеличении или уменьшении скорости вращения ротора и значение угла  $w$  соответственно уменьшается или увеличивается. При постоянной скорости

вращения ротора угол  $\psi$  остаётся неизменным, а магнитный поток ротора остаётся неподвижным.

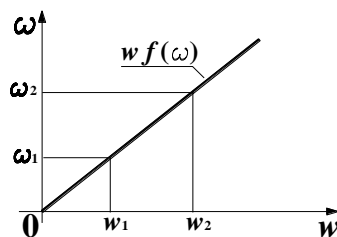


Рис. 7. Угол запаздывания по скорости вращения ротора—угол  $\psi$

При совпадающих продольных осях двух магнитов, эти магниты находятся под действием сил взаимного отталкивания – это когда совпадают одноимённые магнитные полюса (рис. 1-а) или под действием сил взаимного притяжения – когда совпадают разноименные полюса, но при совпадающих продольных осях магнитов невозможно существование действующих на магниты вращающих моментов.

Статорный магнитный поток всегда неподвижен, и если исходить из предположения, что роторный магнитный поток вращается вместе с ротором, то вращающий момент ротора будет непрерывно сменяться тормозным моментом, поэтому работа АД в таком режиме невозможна. Следовательно, ошибочным является предположение о том, что магнитный поток ротора может вращаться вместе с ротором.

Нормальная работа однофазного АД невозможна при совпадающих продольных осях магнитных потоков статора и ротора, и магнитный поток ротора не может вращаться вместе с ротором, следовательно, остаётся единственный вариант, при котором обеспечивается нормальная работа однофазного АД – это когда продольные оси магнитных потоков статора и ротора смещены на некоторый угол  $\psi$ , при этом магнитные потоки статора и ротора сохраняют состояние покоя (остаются неподвижными).

### Литература

1. Кузнецов М. И. Основы электротехники. Издательство «Высшая школа». Москва, 1970.
2. Кацман М. М. Электрические машины. Издательство «Высшая школа». Москва, 1990.
3. Вольдек А. И. Электрические машины. Издательство «Энергия» Ленинградское отделение, 1974 г.

Дополнительные сведения на сайте <http://sites.google.com/site/nikolanech/>