

УДК 621.313.333

ОСНОВНЫЕ СООТНОШЕНИЯ И ПОРЯДОК РАСЧЕТА ТОРМОЗА СКОЛЬЖЕНИЯ В АСИНХРОННОМ ДВИГАТЕЛЕ СО ВСТРАИВАЕМЫМ ТОРМОЗНЫМ УСТРОЙСТВОМ

В. В. СОЛЕНКОВ, В. В. БРЕЛЬ

*Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П. О. Сухого»,
Республика Беларусь*

Введение

Достоинствами тормоза (муфты) скольжения являются простота устройства и эксплуатации, низкая стоимость, высокая надежность и долговечность, малая мощность управления, облегчающая автоматизацию различных процессов и режимов работы [1]–[4].

К недостаткам тормоза скольжения относятся громоздкость и низкий КПД при работе на пониженных частотах вращения [1], [2]. В то же время АД со встраиваемым тормозным устройством (ТУ) является компактным. Требование компактности диктует особый порядок расчета параметров тормозов скольжения в составе конструкций асинхронных двигателей со встраиваемыми ТУ.

Постановка задачи

Особенностью приведенного порядка расчета является его использование для тормозов (муфт) скольжения, которые встраиваются в базовый АД и используют режим форсировки магнитного потока. Задача проектного расчета состоит в том, чтобы по известным геометрическим размерам тормоза скольжения (ограниченным корпусом электродвигателя) построить механическую характеристику тормоза, при этом стараясь получить максимально возможный тормозной момент в области высоких и средних скоростей вращения ротора.

Основные соотношения, применяемые при расчете тормоза скольжения

Как видно из известного уравнения тормозного момента (1), большое влияние на тормозной момент оказывает амплитуда первой гармоники переменной составляющей индукции в зазоре B_{m0} [1]. Величину B_{m0} определяет соотношение размеров зубцов-полюсов и междузубцовых пазов.

$$M_T = \frac{\pi^2}{680} \frac{B_{m0}^2 D^3 l n_0 s}{\left(1 + \frac{D}{z l_z}\right) \left(\frac{4}{D} \rho z + \frac{\pi D}{12} \frac{z}{z-2} \mu_{\text{ая}} n_0 s \cdot 10^{-3}\right)}. \quad (1)$$

На рис. 1 показано распределение индукции в воздушном зазоре для одноименнополюсных и переменнопольсных муфт при отсутствии токов якоря.

Для получения наибольших значений амплитуды первой гармоники индукции в зазоре необходимо принимать отношение ширины паза к зубцовому делению в пределах

$$\frac{b_{\text{п}}}{t_z} = 0,55 \dots 0,65, \quad (2)$$

причем меньшие значения относятся к одноименнополюсным системам, а большие – к переменнопольсным [1], [4].

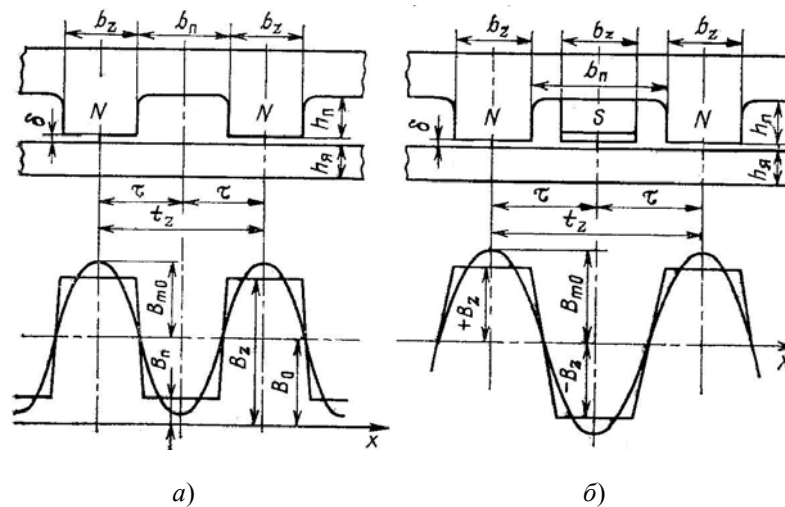


Рис. 1. Распределение индукции в зазоре одноименнополюсных (а) и переменнопольсных (б) муфт

Глубину паза обычно принимают равной половине его ширины и в десятки раз превышающей воздушный зазор

$$hn_n = \frac{b_n}{2} = (30 \dots 40)\delta, \quad (3)$$

где δ – воздушный зазор.

Зубцовое деление можно представить в следующем виде:

$$t_z = 2\tau = \pi D / z, \quad (4)$$

где τ – полюсное деление; D – активный диаметр якоря по воздушному зазору; z – число зубцов-полюсов одной полярности.

Расчет зависимости B_{m0} от параметров одноименнополюсных магнитных систем приведен в [4] и приблизительно может быть описан выражением

$$B_{m0} = B_z(0,62 - z\delta / D), \quad (5)$$

где B_z – индукция в зазоре над зубцами.

В переменнопольсных муфтах магнитная индукция при переходе от зубца одной полярности к зубцу другой полярности изменяет знак (рис. 1, б). Для ограничения потоков рассеяния между соседними разноименными зубцами последние должны быть достаточно удалены друг от друга. Это требует увеличения ширины b_n паза до верхних значений, определяемых формулой (2). Для переменнопольсных муфт амплитуда первой гармоники переменной составляющей индукции в зазоре равна [1]

$$B_{m0} = \frac{4}{\pi} B_z \frac{\sin \alpha}{\alpha}; \quad (6)$$

$$\alpha = \frac{\pi b_n - b_z}{4 \tau} = \frac{b_n - b_z}{2D} z, \quad (7)$$

где b_z – ширина зуба.

Подставив (7) в (6), получим:

$$B_{m0} = \frac{8}{\pi} B_z \frac{D}{z(b_n - b_z)} \sin \frac{b_n - b_z}{4\tau} \pi. \quad (8)$$

Принимая форму кривой распределения индукции в зазоре прямоугольной, получаем для переменнопольсных муфт:

$$B_{m0} = \frac{4}{\pi} B_z. \quad (9)$$

Анализ выражений (5) и (9) приводит к выводу, что значение B_{m0} для переменнопольсных муфт (тормозов) в несколько раз больше, чем для одноименнопольсных магнитных систем. Поэтому по соображениям компактности конструкции АД с встраиваемым ТУ предлагается изготавливать с переменнопольсным тормозом скольжения, хотя это и приводит к некоторому усложнению конструкции.

Конструкция и режим работы разрабатываемого тормоза скольжения (рис. 2) подобны конструкции и режиму работы эквивалентного силового электромагнита постоянного тока с форсировкой, приведенного в [5], [6]. Поэтому расчет магнитной цепи тормоза скольжения производился не по широко известным методам расчета муфт скольжения [1], [2], а аналогично методике расчета электромагнита постоянного тока с форсировкой [5]; справедлива при этом оптимизация, предлагаемая в [6], которая существенно уменьшает геометрические размеры тормоза скольжения, что позволяет его встраивать в базовый АД со стороны вентилятора.

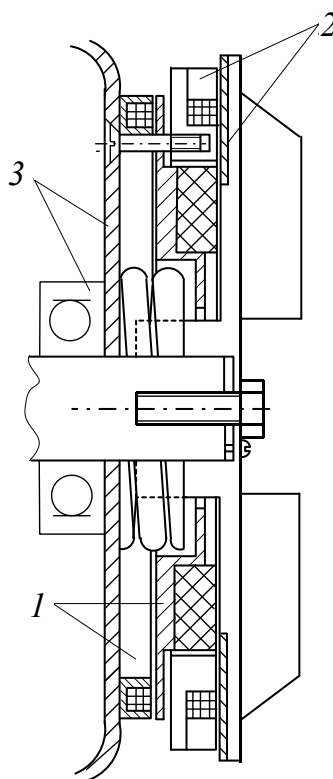


Рис. 2. Конструкция АД со встраиваемым ТУ:

1 – электромеханический тормоз; 2 – тормоз скольжения; 3 – асинхронный двигатель

При расчете и проектировании магнитной системы тормоза (муфты) скольжения, как показывает анализ уравнения тормозного момента (1), большое значение также имеет выбор и расчет оптимальных значений следующих параметров [1], [2]:

1. Активный диаметр якоря D .
2. Активная длина якоря l , определяемая длиной зубцов l_z .
3. Количество зубцов-полюсов индуктора z .
4. Удельное сопротивление материала якоря ρ .
5. Абсолютная магнитная проницаемость материала якоря $\mu_{\text{а.я}}$.

На рис. 3 показано влияние параметров магнитных систем на форму механических характеристик муфт [1].

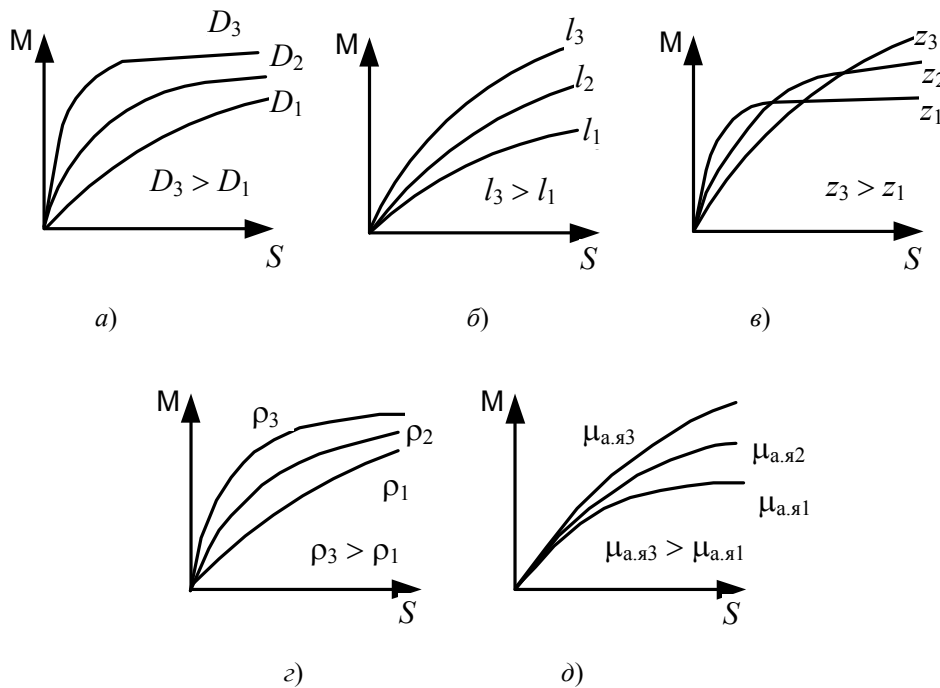


Рис. 3. Механические характеристики муфт скольжения при различных параметрах магнитной системы

Проанализируем влияние параметров магнитной системы тормоза скольжения на тормозной момент с учетом особенностей его конструкции, расположения и режима работы. Также разработаем порядок расчета тормоза скольжения.

Дисковая форма тормоза скольжения (рис. 2) приводит к тому, что активным диаметром якоря является средний диаметр $D = (D_n + d_b) / 2$. Так как в уравнении тормозного момента (1) активный диаметр D стоит в третьей степени, то малое его увеличение приводит к существенному увеличению тормозного момента в области низких и средних скоростей ротора (рис. 3, а), однако увеличение D для встраиваемых устройств ограничено корпусом электродвигателя. С ростом диаметра механическая характеристика тормоза скольжения приближается к экскаваторной.

С ростом активной длины якоря l растет и тормозной момент (рис. 3, б). Для перемножнополюсных магнитных систем длина зубцов $l_z = l$.

Количество зубцов-полюсов индуктора z оказывает значительное влияние на форму механической характеристики тормоза (муфты) (рис. 3, в). Увеличение числа зубцов повышает тормозной момент при больших скольжениях (скоростях ротора) и снижает при малых. Поэтому в соответствии с задачей проектного расчета число зубцов-полюсов выбирается таким, чтобы тормозной момент был наибольшим в области средних и высоких скоростей ротора.

Влияние удельного сопротивления материала якоря ρ на тормозной момент наиболее сильно проявляется при малых скольжениях, и с ростом скольжения уменьшается (рис. 3, *з*). Анализ влияния ρ на механическую характеристику разрабатываемого тормоза скольжения показал, что использование двухслойного якоря из алюминия и стали существенно увеличивает тормозной момент. Поэтому якорь тормоза скольжения целесообразно изготавливать с тонким алюминиевым кольцом, что, однако, приводит к небольшому увеличению рабочего воздушного зазора. При нагреве муфты удельное сопротивление материала якоря увеличивается и тормозной момент уменьшается, поэтому муфты скольжения проектируют с продувными отверстиями, что увеличивает размеры муфты. Данное влияние в проектируемом тормозе скольжения не существенно, так как он работает в повторно-кратковременном режиме работы с малым временем торможения.

Влияние магнитной проницаемости якоря $\mu_{\text{ая}}$ на механическую характеристику возрастает с ростом скольжения (рис. 3, *д*) [1].

Анализ уравнения тормозного момента (1) показывает, что активные размеры тормоза скольжения не могут быть определены в явной форме из уравнения, поэтому их расчет должен производиться методом последовательных приближений (итераций).

Порядок расчета тормоза скольжения

Из вышеизложенного следует, что расчет параметров при проектировании тормоза (муфты) скольжения должен производиться в следующем порядке:

1. В соответствии с паспортными данными базового АД определяется тормозной момент M_T при номинальной скорости вращения n_n (обычно $M_T = M_{\text{ном}}$). Данное значение момента будет являться ориентировочным, к нему будет стремиться механическая характеристика муфты.

2. Далее выбираем максимально возможный активный (средний) диаметр якоря D исходя из габаритов двигателя. При этом величина D_n должна обеспечивать возможность встраивания муфты скольжения в базовый АД.

3. По методике, приведенной в [5], но с учетом оптимизации, приведенной в [6], рассчитываем значение индукции в зазоре над зубцами B_z . Она численно равна магнитной индукции в воздушном зазоре B_δ , рассчитанной для эквивалентного электромагнита. Расчет ведется для среднего активного диаметра якоря.

4. По соотношению (9) определяем B_{m0} .

5. Согласно рекомендациям, приведенным выше, методом итераций подбираем оптимальные значения количества зубцов-полюсов индуктора z ; активную длину якоря l ; удельное сопротивление материала якоря ρ и магнитную проницаемость материала якоря $\mu_{\text{ая}}$.

6. По соотношению (1) строят механическую характеристику муфты скольжения. В случае, если механическая характеристика не имеет максимально возможный (при допустимых геометрических размерах встраиваемой муфты) тормозной момент в области высоких и средних скоростей вращения ротора, возвращаемся к п. 5, иначе п. 7.

7. Рассчитываем ширину зуба b_z и паза b_n , а по соотношению (3) и (4) – зубцовое деление t_z и глубину паза h_n .

Заключение

Использование приведенных соотношений и порядка расчета тормоза скольжения к двигателю АИР90 с встраиваемым комбинированным тормозным устройством и последующая экспериментальная проверка в лаборатории кафедры «Теоретические основы электротехники» УО ГГТУ им. П. О. Сухого подтвердили правильность теоретических выкладок в данной статье. Из чего следует, что приведенный порядок расчета тормоза скольжения, в отличие от известных [1], [2], которые не позволяли рассчитывать компактный тормоз скольжения, можно применять для расчета тормоза скольжения, встраиваемого в базовый АД.

Литература

1. Щетинин, Т. А. Электромагнитные муфты скольжения / Т. А. Щетинин. – Москва : Энергоатомиздат, 1985. – 272 с.
2. Щетинин, Т. А. Электропривод с индукционными муфтами и тормозами / Т. А. Щетинин. – Москва : Машиностроение, 1970. – 320 с.
3. Александров, М. П. Тормозные устройства / М. П. Александров, А. Г. Лысяков. – Москва : Машиностроение, 1985. – 312 с.
4. Иогансон, Р. А. Индукторные тормоза / Р. А. Иогансон. – Москва : Энергия, 1966. – 104 с.
5. Соленков, В. В. Расчет электромагнита с форсировкой для электродвигателей со встроенным тормозом / В. В. Соленков, В. С. Гринберг, Э. М. Гусельников // Электрооборудование автоматизированных установок // В. В. Соленков. – Томск, 1980. – С. 59–63.
6. Соленков, В. В. Оптимизация параметров электромагнита в двигателях с тормозными устройствами / В. В. Соленков, В. В. Брель // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2004. – № 3. – С. 33–36.

Получено 23.12.2008 г.