

Описание и принципа действия электродвигателя

Вначале возник общий вопрос: «Может ли ротор электродвигателя неограниченно увеличивать механическую мощность вращения не увеличивая потребление электрической мощности от источника питания?».

Синхронные и асинхронные электродвигатели переменного тока не рассматриваем, т. к. у них угловая скорость ротора задаётся частотой переменного тока. Промышленные электродвигатели постоянного тока тоже отложим. Для анализа будем использовать максимально упрощённую схему, изображённую на рисунке.

Покажем основные расчетные формулы для электродвигателей.

Механическая мощность P на валу электродвигателя равна:

$$P = M \cdot \omega, \text{ где } M - \text{ вращательный момент ротора, } \omega - \text{ его угловая скорость. (1)}$$

$$\text{Вращательный момент ротора равен:} \quad M = \gamma \cdot F, \quad (2)$$

где γ - радиус ротора 1, F - вращающая (тангенциальная, касательная) сила взаимодействия полюса 3 с полюсом 4 электромагнита на участке **a b** (см. схему):

$$F \approx \frac{B \cdot H \cdot S}{2}, \quad (3)$$

где B - среднее значение индукции на участке **a b**, H - среднее значение магнитной напряженности на участке **a b**, S - площадь полюса 4.

В общем виде выражение для текущей электрической мощности, приложенной источником питания на участке **a b** равна:

$$P_{\text{э}} = U \cdot I = \frac{U^2}{R}, \quad (4)$$

где U - напряжение источника, I - ток источника, R - электрическое сопротивление электромагнита 5.

Для упрощения анализа, условно примем, что U , R и механическая нагрузка ротора постоянны. И так.

Работа электродвигателя включает действия силы F на участке **a b**, приложенной к ротору 1, которая импульсно увеличивает скорость ω , ротора 1 (происходит добавка $\Delta\omega$ на участке **a b**) в каждом акте взаимодействия полюсов 3 и 4. Этой силе соответствует потребляемая мощность от источника $P_{\text{э}}$, (4). Сравнивая формулы (1) и (4), обращаем внимание на то, что механическая мощность (1) ротора прямо пропорциональна его угловой скорости ω , а вот электрическая потребляемая мощность (4) от скорости ω не зависит. Также не зависит от скорости вращения ω и сила F , (3) взаимодействия полюсов 3 и 4. Ещё, для справки, если на роторе 1 вместо полюса 3 применяется обмотка из провода с током, то сила F взаимодействия с электромагнитом 5 тоже не зависит от скорости ω :

$$F = I \cdot \Lambda \cdot B, \quad (5)$$

где I - ток в проводе, Λ - длина провода, B - индукция магнитного поля.

Таким образом, приведённый выше краткий анализ не даёт ответ на вопрос, почему при неизменной силе (3) и (5) взаимодействия полюсов 3 и 4, максимальная скорость ω ротора 1 ограничена.

А ответ заключается в следующем.

Ротор 1 получает энергию вращения W от источника порциями каждый раз при прохождении участка **a b** длиной, например Λ . При этом продолжительность относительного движения полюса 3 по участку **a b** равна:

$$T = \frac{\Lambda}{\omega \cdot \gamma}. \quad (6)$$

По закону сохранения энергии, найдём величину одной порции энергии W_1 , полученную ротором от источника в течение времени T .

Для этого перемножим (4) и (6):

$$W_1 = \frac{U^2}{R} \frac{\Lambda}{\omega \cdot \gamma}. \quad (7)$$

В формуле (7), в правой части, переменной величиной является только скорость углового вращения ω ротора 1.

Остальные величины постоянны. Из (6) и (7) видим, что с ростом скорости вращения ω , уменьшается количество энергии W_1 , передаваемой от источника к ротору, потому что уменьшается продолжительность одного акта взаимодействия T , (6).

Мощность ротора 1 в формуле (1) соответствует его номинальной мощности, при которой скорость ω достигла максимума после подачи питания и больше не увеличивается. При этом электрическая энергия (7), которая преобразуется в механическую энергию ротора за один акт взаимодействия, минимальна. В пересчете в мощность на валу 2, когда полюс 3 приблизился к точке **a**, механическая мощность ротора 1 равна: $P_a = M \cdot (\omega - \Delta\omega)$.

Когда полюс 3 перешел в точку **b**, мощность ротора 1 равна:

$$P_b = M \cdot (\omega - \Delta\omega + \Delta\omega) = M \cdot \omega, \text{ где } \Delta\omega - \text{ прибавка/убыль скорости } \omega.$$

Можно показать другим способом причину уменьшения количества электрической энергии, преобразуемой в механическую, в процессе разгона ротора. В устройстве электрическая энергия источника преобразуется в механическую энергию вращения ротора тангенциальными импульсами силы F . Импульс p силы F равен:

$$p = F \cdot T \quad (8)$$

В формуле (8) сила F от увеличения скорости ω не зависит (см. ф-лы 3 и 5), а продолжительность T взаимодействия полюсов 3 и 4 при этом уменьшается согласно (6), а значит уменьшается импульс p и кинетическая $E_{\text{кин}}$ энергия. Кинетическая энергия ротора, выраженная через импульс, равна:

$$E_{\text{кин}} = \frac{p^2}{2m} = \frac{(F \cdot T)^2}{2m}, \text{ где } m - \text{масса}. \quad (9)$$

Вывод.

Чтобы механическая мощность P на роторе 1 продолжала увеличиваться при неизменной потребляемой электрической мощности $P_{\text{э}}$ и энергии W_1 , и неизменной нагрузке, надо включить между источником электроэнергии и электродвигателем регулятор напряжения, который должен увеличивать амплитуду импульсов напряжения U по следующему закону:

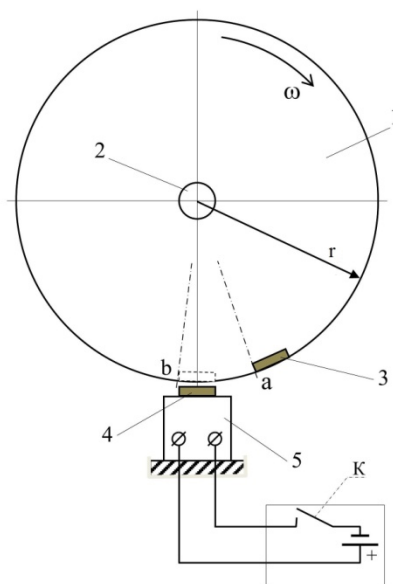


Схема взаимодействия полюса ротора с полюсом электромагнита:

1- ротор немагнитный, 2 - вал ротора, 3 - полюс ротора ферромагнитный, 4 - полюс электромагнита, 5 - электромагнит, r - радиус ротора, ω - угловая скорость ротора. K - ключ, a - положение полюса 3 в момент замыкания ключа K , b - положение полюса 3 в момент размыкания ключа K .

$$U = \sqrt{\frac{W \cdot R}{T}} \quad (8).$$

Обозначения см. выше.

При этом механическая мощность ротора будет увеличиваться согласно ф-ле (1).

Э.И. Линевиц. 30 окт.2022г.