

Двигатели переменного тока

Рассмотрим системы координат, применяемые для описания процессов, происходящих в двигателях переменного тока.

Система координат ABC

Трёхфазный ток в обмотке статора двигателя можно представить в виде вектора I_s в системе координат ABC, оси которой расположены на плоскости под углом в 120° и направлены по осям катушек статора. При этом:

- длина вектора равна амплитуде тока в фазе (I_s)
- начало вектора совпадает с началом координат системы ABC
- вектор вращается на плоскости вокруг начала координат с угловой частотой, равной частоте переменного тока ($\omega_e = 2\pi f$).

Поскольку ω_e соответствует частоте переменного тока, будем далее называть её электрической частотой, а угол, получаемый её интегрированием, – электрическим фазовым углом θ_e .

Неподвижная декартова система координат $\alpha\beta$

Эта система имеет две взаимоперпендикулярные оси α и β . Её начало координат совпадает с началом координат описанной выше трёхфазной системы, а ось α совпадает с осью A трёхфазной системы ABC.

Вращающаяся декартова система координат XY

Система имеет две перпендикулярные оси X и Y. Начало координат системы XY совпадает с началом координат описанной выше трёхфазной (или двухфазной) неподвижной системы. Оси системы XY вращаются с произвольной угловой частотой ω вокруг начала координат.

На первый взгляд, вращающаяся система координат кажется довольно странной, но именно в ней строятся современные системы векторного регулирования. Для этого используются системы координат, вращающиеся вместе с управляемым вектором. В такой системе дифференциальные уравнения, описывающие двигатель, принимают простейший вид. В них исключаются гармонические составляющие, характерные для проекций вращающихся векторов в неподвижных системах ABC и $\alpha\beta$. При этом амплитуда и фаза управляемого вектора определяются двумя скалярными величинами его проекций на оси координат вращающейся системы.

Для того чтобы управлять вектором во вращающейся синхронно с ним системе, строят векторный регулятор на основе двух скалярных регуляторов его проекций. В установившемся режиме эти проекции постоянны, что упрощает процесс регулирования, а также позволяет повышать точность и быстродействие регуляторов. Вращение системы учитывают с помощью рассмотренных выше формул координатных преобразований, измеряя или вычисляя угол ее поворота относительно неподвижной системы координат.

Преобразования координат $ABC \Rightarrow dq$ и $dq \Rightarrow ABC$

При ориентировании системы координат $X\dot{Y}$ по вектору магнитного потока ротора принято именовать её оси буквами d и q .

В векторных системах управления электроприводами необходимы преобразователи координат, позволяющие осуществлять переход из трёхфазной неподвижной системы ABC во вращающуюся двухфазную систему dq и наоборот.

Преобразования координат $ABC \Rightarrow dq0$ и $dq0 \Rightarrow ABC$

Токи трёхфазных двигателей, фазы которых включены в «звезду» с изолированной средней точкой (или реже в треугольник) – симметричны.

Управляющее напряжение двигателей формируется системой управления также исходя из условий симметрии. Поэтому все ранее полученные формулы преобразований координат были получены для симметричной трёхфазной системы. Несимметричные цепи в электроприводе – это экзотика, в отличие от преобразовательной техники, где они встречаются довольно часто. Например, несимметрия токов возможна в случае заземления средней точки «звезды» трёхфазной цепи. Несимметрия напряжений силовой сети также вещь нередкая. Метод описания таких цепей основан на представлении фазных токов и напряжений векторами, что, как уже писалось, математически корректно. При этом несимметричная трёхфазная система характеризуется рассмотренными ранее вращающимися результирующими пространственными векторами.

Блоки, осуществляющие координатные преобразования в системах управления электроприводами, называются преобразователями координат

Формулы преобразования хорошо известны в литературе.

ШИМ в электроприводе переменного тока

Широтно-импульсная модуляция (ШИМ) – это способ формирования напряжения статора, применяемый в подавляющем большинстве систем управления электроприводами переменного тока.

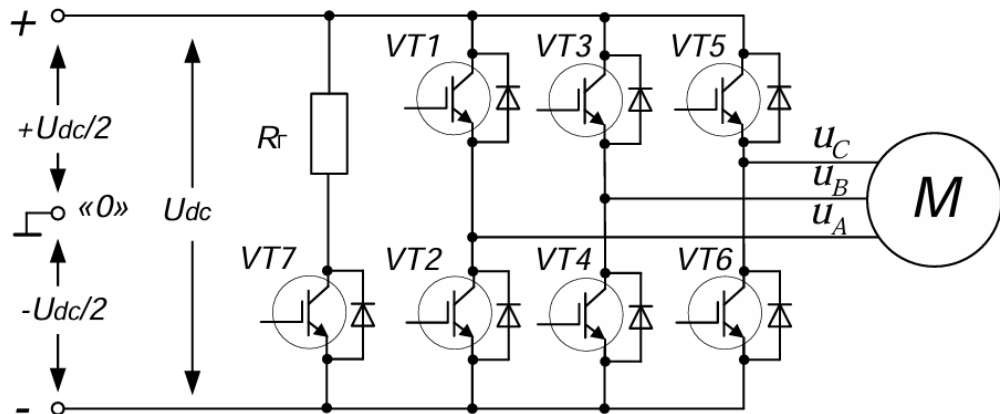
Аппаратно ШИМ реализуется с помощью трёхфазного мостового инвертора. С помощью инвертора любая из фаз двигателя M может быть подключена к отрицательному или положительному полюсу звена постоянного тока (U_{dc}).

Ключ VT_7 замыкается в случае перехода двигателя в генераторный режим, например при торможении. При этом выделяемая электрическая энергия рассеивается в резисторе R_r .

Внутри периода ШИМ в каждой фазе формируется две длительности:

t_+ – время подключения фазы к $+U_{dc}$

t_- – время подключения фазы к $-U_{dc}$. Меняя соотношение длительностей t_+ и t_- , можно менять среднее напряжение, прикладываемое к фазе двигателя внутри периода ШИМ.



Катушки статорных обмоток двигателя имеют активно-индуктивный характер сопротивления и являются фильтрами, сглаживающими ток. Среднее значение тока в фазе зависит от среднего значения приложенного к ней напряжения, то есть от соотношения длительностей t_+ и t_- внутри периода ШИМ. Если при этом период модуляции ($T_{\text{ШИМ}}$) намного меньше L/R постоянной времени фазы двигателя, то пульсации тока на частоте ШИМ будут малы.