

Д.В. Кочегаров, А.В. Романов

МОДЕЛИРОВАНИЕ СТАТИЧЕСКОГО МОМЕНТА

Статический момент M_c (или момент нагрузки) является важной составной частью динамических моделей большинства электроприводов (ЭП). Совместно с моментом электродвигателя M , M_c входит в основное уравнение движения ЭП:

$$M - M_c = J \frac{d\omega}{dt}, \quad (1)$$

где J – момент инерции системы;

ω – частота вращения;

определяя тем самым характер изменения скорости системы.

По этой причине при разработке математической модели электропривода важно корректно смоделировать характер изменения статического момента.

Как известно из теории ЭП, различают *активные* и *реактивные* M_c . Между ними имеется существенное отличие: реактивный момент с изменением направления движения также меняет свое направление, активный же момент сохраняет его постоянным.

Кроме этого, несмотря на большое разнообразие рабочих машин (РМ), моменты нагрузки можно укрупнено классифицировать по следующим нижеприведенным группам.

1. С постоянным моментом нагрузки ($M_c = \text{const}$).

2. Наиболее многочисленная группа РМ, где зависимость M_c от скорости вращения рабочего органа определяется формулой:

$$M_c = M_{c0} + (M_{cн} - M_{c0}) \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right)^a, \quad (2)$$

где M_{c0} – момент, обусловленный силами трения в механизме;

$M_{cн}$ – статический момент при номинальной скорости ω_n ;

ω – текущее значение скорости;

a – коэффициент пропорциональности.

При $a = 0$ имеем $M_c(\omega) = M_{сн}$, то есть получаем механическую характеристику машин первой группы.

При $a = 1$ имеем линейную зависимость статического момента от скорости, что характерно, например, для генераторов постоянного тока, работающих на постоянное сопротивление.

При $a = 2$ получаем так называемую *вентиляторную* характеристику, которой обладают вентиляторы, гребные винты, центробежные насосы и подобные механизмы.

При $a = -1$ имеет место *гиперболическая* зависимость, характерная для большинства металлорежущих станков, когда с увеличением подачи резца (увеличение усилия резания) снижает скорость обработки детали.

Отметим, что на практике встречаются и другие значения коэффициента a .

3. Для эксцентриковых и шатунно-кривошипных механизмов статический момент зависит от угла поворота вала α – $M_c = f(\alpha)$.

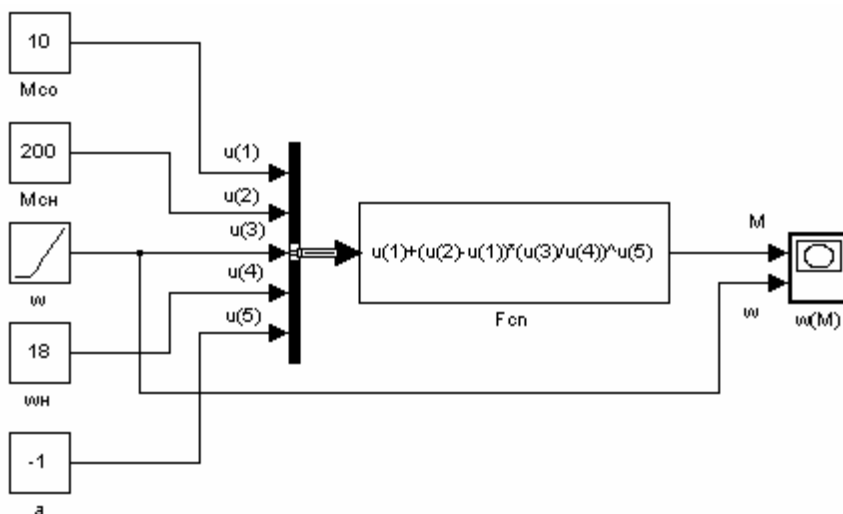
4. Группа РМ, у которых $M_c = f(\alpha, \omega)$. Подобная зависимость наблюдается при движении трамвая на закругленном участке пути.

5. Статический момент изменяется случайным образом во времени. К ней можно отнести геологические буровые станки, дробилки крупного дробления и другие подобные механизмы.

Моделирование перечисленных зависимостей возможно в системе MATLAB + Simulink + дополнительные пакеты расширения. Очевидно, что для этого необходима информация о скорости рабочей машины, которая является входной информацией.

Активный статический момент (наиболее простой случай) моделируется с помощью блока **constant** пакета Simulink. Никакая дополнительная информация, кроме величины M_c , не нужна.

Для моделирования M_c механизмов второй группы может быть использована структура, приведенная на рис. 1. Для построения модели используются элементы **constant**, служащий для формирования постоянных величин a , M_{c0} , $M_{сн}$ и ω_n . Элемент **ramp** моделирует линейно возрастающий (убывающий) сигнал и является эквивалентом изменения частоты вращения. В субмодели, моделирующей момент нагрузки машин второй группы, вместо элемента **ramp** будет



находится входная координата – ω .

Рис. 1.

Для моделирования зависимости $M_c = f(\alpha)$ необходимо иметь информацию об угле поворота вала, которую можно определить интегрированием входной координаты – частоты вращения.

Смоделируем, например, следующую зависимость:

- при изменении α от $-\pi$ до $-\pi/2$ момент нагрузки равен 5 Н·м;
- при изменении α от $-\pi/2$ до 0 момент нагрузки равен 10 Н·м;

- при изменении α от 0 до $\pi/2$ момент нагрузки равен 15 Н·м;
- при изменении α от $\pi/2$ до π момент нагрузки равен 20 Н·м.

Модель, реализующая указанный закон изменения M_c от угла поворота α , показана на рис. 2. Блок **ramp** имитирует проинтегрированное значение входной координаты, т.е. угла α . Использование функций тангенса (блок **tan**) и арктангенса (блок **atan**), а также элемента **gain** (коэффициента передачи) позволяет нормировать бесконечно возрастающее значение интеграла к интервалу от $-\pi$ до π . Собственно функциональная зависимость реализуется несколькими элементами **switch** (ключ). В установках ключей заданы значения угла поворота, при которых происходит переключение на другое значение M_c : для Switch4 это $-\pi/2$, для Switch5 – 0, для Switch6 – $\pi/2$. Условие переключения – значение на управляющем входе больше либо равно заданному значению ($u2 \geq \text{Threshold}$).

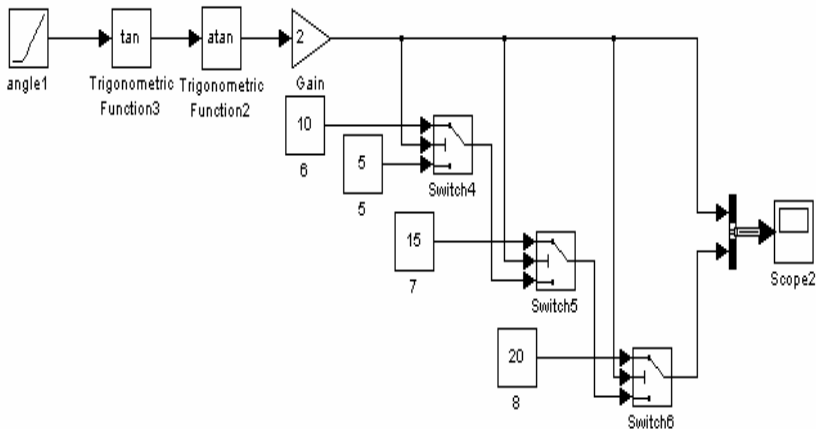


Рис. 2.

Полученные графики для M_c (верхняя кривая) и нормированного значения угла поворота вала α (нижняя кривая) представлены на рис. 3.

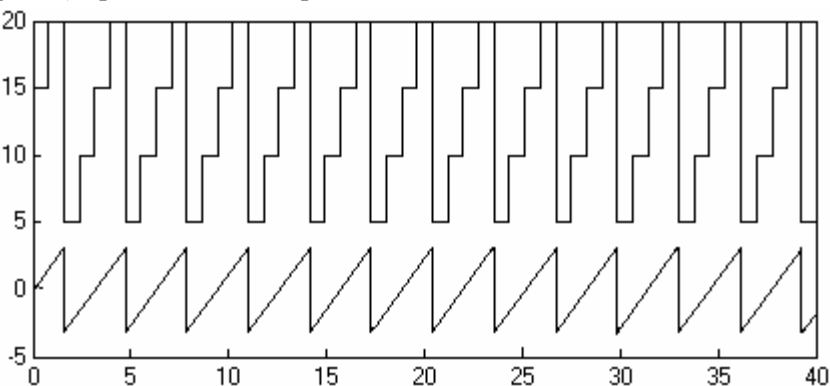


Рис. 3.

На рис. 4 приведена модель реактивного статического момента, величина которого изменяется случайным образом, т.е. соответствует 5 группе механизмов.

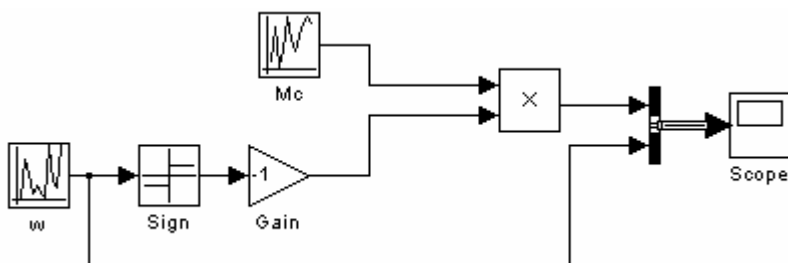


Рис. 4.

Для моделирования реактивного характера статического момента используется элементная группа, состоящая из блоков определения знака *sign*, *gain* и линейного умножителя.

Моделирование случайной зависимости M_c от времени реализуется блоком **Uniform Random Number**. В настройках блока есть возможность задания границ случайной величины

(Minimum, Maximum) и частоты изменения величины (Sample time). Полученные зависимости показаны на рис. 5.

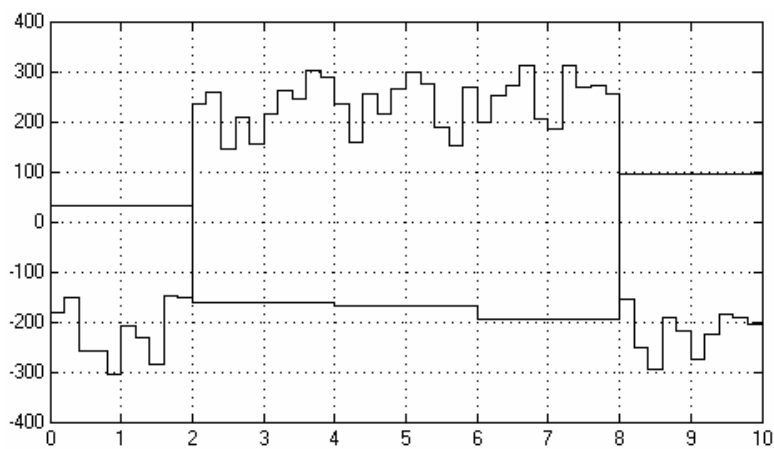


Рис. 5.