

ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В АСИНХРОННОМ ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ ПРИ ИМПУЛЬСНОМ РЕГУЛИРОВАНИИ

О. Г. МАКАРЧЕНКО, Ю. П. КОСТЮКОВ

(Представлена научным семинаром кафедр электрических машин
и общей электротехники)

В электроприводах с импульсным регулированием [1] возможна работа асинхронного двигателя с частыми пусками и торможением при повторно-кратковременном режиме, набросе или сбросе нагрузки и изменении относительной продолжительности включения. В зависимости от типа механизма и характера технологического процесса для этих электроприводов характерен тот или иной переходный режим.

При исследовании динамики асинхронных электроприводов наибольшее распространение получили экспериментальный метод и математическое моделирование, основанное на использовании аналоговых или цифровых вычислительных машин.

В настоящей работе исследование динамики пуска асинхронных двигателей с импульсным регулированием скорости проводилось методом математического моделирования на аналоговой вычислительной машине.

Электромеханические переходные процессы в асинхронном двигателе с импульсным преобразователем и добавочными сопротивлениями в роторной цепи переменного тока описываются следующей системой дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned} \frac{d\Psi_{\alpha s}}{d\tau} &= U_{\alpha s} - \frac{r_1}{x'_s} \Psi_{\alpha s} + k_r \frac{r_1}{x'_s} \Psi_{\alpha r} + \Psi_{\beta s}; \\ \frac{d\Psi_{\beta s}}{d\tau} &= U_{\beta s} - \frac{r_1}{x'_s} \Psi_{\beta s} + k_r \frac{r_1}{x'_s} \Psi_{\beta r} - \Psi_{\alpha s}; \\ \frac{d\Psi_{\alpha r}}{d\tau} &= k_s \frac{r_2 + bR_d}{x'_r} \Psi_{\alpha s} - \frac{r_2 + bR_d}{x'_r} \Psi_{\alpha r} + (1 - \omega) \Psi_{\beta r}; \\ \frac{d\Psi_{\beta r}}{d\tau} &= k_s \frac{r_2 + bR_d}{x'_r} \Psi_{\beta s} - \frac{r_2 + bR_d}{x'_r} \Psi_{\beta r} - (1 - \omega) \Psi_{\alpha r}; \\ \frac{d\omega}{d\tau} &= \frac{k_r}{I_2 x'_s} (\Psi_{\beta s} \Psi_{\alpha r} - \Psi_{\alpha s} \Psi_{\beta r}) - \frac{M_c}{I \cdot p}, \end{aligned} \quad (1)$$

где $\Psi_{\alpha s}; \Psi_{\beta s}$ — составляющие обобщенного вектора потокосцеплений статора;
 $\Psi_{\alpha r}; \Psi_{\beta r}$ — составляющие обобщенного вектора потокосцеплений ротора;
 $U_{\alpha s}; U_{\beta s}$ — составляющие обобщенного вектора напряжения статора;

ω — угловая скорость вращения ротора;

M_c — момент статической нагрузки;

$k_s = \frac{x_m}{x_s}$; $k_r = \frac{x_m}{x_r}$ — коэффициенты связи статора и ротора;

r_1 ; $x_s' = x_s - \frac{x_m^2}{x_r}$; $x_r' = x_r - \frac{x_m^2}{x_s}$; $x_s = x_1 + x_m$; $x_r = x_2' + x_m$;

r_2 — параметры T-образной схемы замещения асинхронного двигателя в относительных единицах;

R_d — добавочное сопротивление роторной цепи;

b — логический коэффициент, принимающий значения 0, 1;

$b=1$ при выключенных тиристорах импульсного преобразователя;

$b=0$ при включенных тиристорах.

По дифференциальным уравнениям (1), записанным относительно потокосцеплений в синхронно вращающейся системе координат, составлялась электронная модель асинхронного двигателя с импульсным преобразователем и добавочными сопротивлениями в роторной цепи. Проводящее состояние вентилей импульсного преобразователя имитировалось на модели замыканием контактов реле. Схема управления этого реле набиралась на моделирующей установке и состояла из генератора импульсов и широтно-импульсного модулятора.

Параметры асинхронного двигателя изменяются в зависимости от скольжения и токов. В рассматриваемых системах импульсного регулирования [2] ток ротора имеет непрерывный характер. При повышенной частоте коммутации содержание высших гармонических в токе двигателя ничтожно мало. Поэтому учет влияния эффектов вытеснения тока и насыщения магнитной цепи при моделировании асинхронного двигателя может быть осуществлен специальными методами [3].

Проведенные расчеты электромеханических переходных процессов в асинхронном электроприводе с импульсным регулированием показали, что в кривой электромагнитного момента появляются дополнительные пульсации, частота которых равна частоте коммутации.

На электронной модели проведено исследование влияния частоты коммутации f_k на величину и характер электромагнитного момента асинхронного двигателя. Исследования показали, что с увеличением частоты коммутации при прочих равных условиях пульсации электромагнитного момента, обусловленные влиянием импульсной системы, уменьшаются. По данным обработки большого количества расчетных осциллограмм, полученных на модели при номинальной нагрузке и вариации частоты коммутации, на рис. 1 построена зависимость коэффициента пульсаций электромагнитного момента M_2/M_1 в области ударного значения от частоты коммутации. Эта зависимость показывает, что при $f_k > 1000$ Гц коэффициент пульсаций момента изменяется незначительно.

Пульсации момента зависят от относительной продолжительности включения вентилей импульсного преобразователя γ и при постоянной в процессе пуска частоте коммутации имеют максимальное значение при $\gamma \cong 0,5$. Причем с уменьшением частоты коммутации этот максимум смещается в сторону меньших γ (рис. 2). С уменьшением относительной продолжительности включения γ величина электромагнитного момента двигателя снижается. Это позволяет осуществить синтез заданной динамической характеристики при импульсном регулировании.

Исследования показали, что при управлении изменением относительной продолжительности включения γ происходит заметное уменьшение пиков ударных моментов. В этом случае момент двигателя мо-

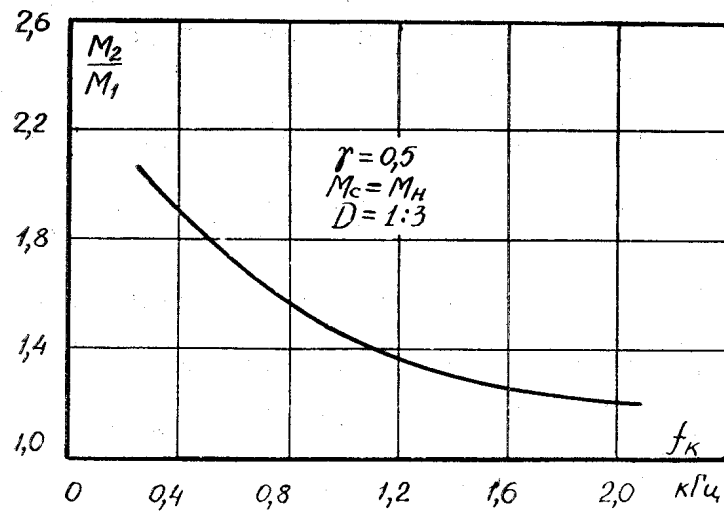


Рис. 1

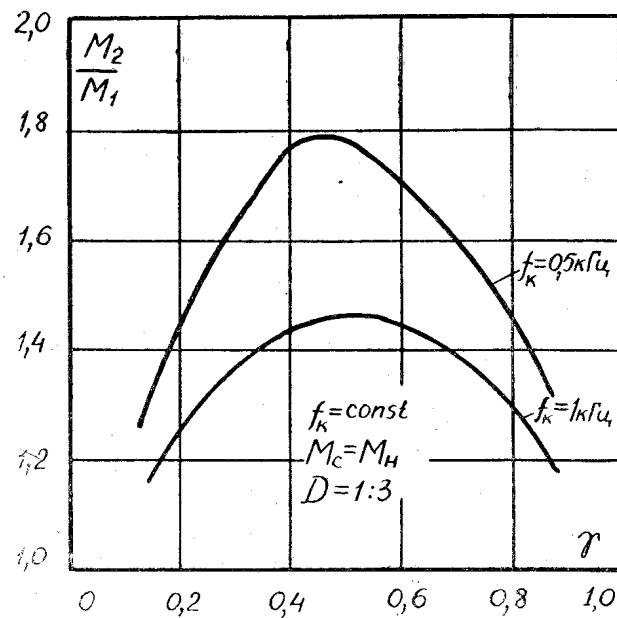


Рис. 2

жет быть ограничен до определенного наперед заданного значения, поддерживаться неизменным в течение всего времени пуска или регулироваться по величине.

Возможность управления переходными электромагнитными моментами и осуществления управляемого пуска двигателя с заданной динамической характеристикой расширяют область практического применения рассматриваемых импульсных систем регулирования.

На модели были исследованы также переходные процессы при набросе и сбросе нагрузки, скачке управляющего воздействия, изменении момента инерции электропривода, повторном включении с разных начальных скоростей.

С увеличением момента инерции электропривода время пуска возрастает, поэтому скорость изменения скольжения двигателя снижается, что создает условия для большего числа пульсаций переходного электромагнитного момента двигателя.

При возрастании начальной скорости в момент включения величина электромагнитного момента двигателя уменьшается.

Проведенные исследования электромеханических переходных процессов позволяют сделать вывод о том, что импульсная система вызывает появление в кривой электромагнитного момента двигателя дополнительных пульсаций, частота которых равна частоте коммутации. Величина этих пульсаций при высокой частоте коммутации незначительна и не оказывает существенного влияния на характер переходного процесса. Качественно переходные процессы в этом случае аналогичны переходным процессам при реостатном регулировании скорости.

Эти обстоятельства позволяют производить расчеты электромеханических переходных процессов на АВМ в случае $\gamma = \text{const}$ и $f_k = \text{const}$ без модели импульсной системы. Для этого в системе дифференциальных уравнений следует брать эквивалентную величину сопротивления роторной цепи $r_2 = r_2' + R_d'(1 - \gamma)$.

Основные выводы подтверждены экспериментами на асинхронном двигателе типа МТ-112-6. Расхождение расчетных и опытных значений электромагнитного момента асинхронного двигателя составляет 10—15%.

Выводы

1. Импульсное регулирование приводит к появлению в кривой электромагнитного момента асинхронного двигателя дополнительных пульсаций, частота которых равна частоте коммутации. С увеличением частоты коммутации дополнительные пульсации момента уменьшаются.
2. С уменьшением относительной продолжительности включения величина электромагнитного момента асинхронного двигателя снижается.
3. При повышенной частоте коммутации и неизменной γ качественные электромеханические переходные процессы аналогичны таковым в асинхронном электроприводе с реостатным регулированием.
4. При изменении γ по определенному закону возможен управляемый пуск асинхронного двигателя с заданной динамической характеристикой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ю. П. Костюков, О. Г. Макаренко. Регулирование скорости асинхронного двигателя импульсным изменением активного сопротивления роторной цепи. Сб.: «Доклады VIII научно-технической конференции. Статические преобразователи в автоматике и электроприводе». Томск, 1971.
2. О. Г. Макаренко. Разработка и исследование асинхронных электроприводов с импульсным регулированием скорости вращения. Автореферат кандидатской диссертации. Томск, 1972.
3. Ву Жа Хань. Исследование влияния насыщения на динамику пуска асинхронного двигателя. «Электротехника», 1967, № 8.