

Е. С. Кожевникова, В. В. Челпанов

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА САМОЗАПУСКА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Определение условий работы электродвигателей при перерывах питания и глубоких посадках напряжения является актуальной задачей электроэнергетики.

Характер процесса самозапуска определяется величинами остаточных напряжений и вращающихся электромагнитных моментов электродвигателей (ЭД).

Невозможность получения достоверной информации о характеристиках процесса в ходе натурных испытаний обусловила необходимость создания компьютерной модели питающей сети и двигательной нагрузки, участвующей в самозапуске [1].

Использование модели позволило определить остаточные напряжения, аппроксимированные характеристики моментов ЭД при изменении скольжения и произвести сравнение электромагнитных моментов ЭД с моментами сопротивления механизмов.

Исходные данные для формирования модели отражают топологию питающей сети, электрические и механические параметры оборудования. Распределённые электрические сопротивления питающей системы представляются в виде сосредоточенного полного сопротивления $Z_c = R_c - jX_c$.

При расчёте остаточных напряжений учитывается фаза вектора падения напряжения в полном сопротивлении сети до расчётной точки. Напряжение на выводах ЭД ($U_{дв}$) и ток самозапуска ($I_{сз\ n}$) определяются соотношениями:

$$U_{дв} = U_C - I_{сз\ n} \cdot Z_C; \quad I_{сз\ n} = \frac{U_C}{Z_C} + Z_{дв}.$$

В начале самозапуска двигателя заторможены и вводятся в расчётную модель пусковыми сопротивлениями, т. е. $Z_{дв} = X_{пуск}$. При расчётах самозапуска последующих очередей, развернувшиеся двигатели вводятся сопротивлением $Z_{дв} = 0,9X_{ном}$. Расчётное остаточное напряжение в произвольном n -ом узле равно

$$U_{ост\ n}^* = \frac{U_{ост\ n-1}^* \cdot Z_{\Sigma}}{Z_{\Sigma} + Z_C},$$

где Z_{Σ} — суммарное сопротивление нагрузки, подключённой к расчётному узлу.

Определение величины остаточных напряжений для формирования очереди следует выполнять в режиме, наиболее тяжёлом для самозапуска. Выбор режима производится на основе глубокого анализа схемы питания.

Расчёт механических характеристик ЭД сводится к определению остаточного момента в процессе изменения напряжения. С достаточной для практики точностью зависимость вращающего момента от величины скольжения можно определить по выражению

$$m_{*s} = m_{*\max} \frac{2+q}{\frac{s}{s_{\text{кр}}} + \frac{s_{\text{кр}}}{s+q}},$$

где s — заданные значения скольжения ($s = 1; 0,5; s_{\text{кр}}$), а величина расчётного коэффициента q определяется из соотношения:

$$q = \frac{m_{*\Pi} \left(s_{\text{кр}} + \frac{1}{s_{\text{кр}}} \right) - 2m_{*\max}}{m_{*\max} - m_{*\Pi}}.$$

Вращающий момент электродвигателя и приложенное к нему напряжение связаны между собой квадратичной зависимостью:

$$\frac{m}{m_{\text{H}}} = \left(\frac{U_{\text{ост}}}{U_{\text{H}}} \right)^2 \quad \text{или} \quad m = m_{\text{H}} \left(\frac{U_{\text{ост}}}{U_{\text{H}}} \right)^2.$$

В технологических установках нефтеперерабатывающих предприятий приводимыми механизмами в основном являются вентиляторы, насосы и компрессоры. Зависимость момента сопротивления механизма от скорости вращения определяется соотношением

$$m_{*Cn} = m_{*C\text{нач}} + \frac{n}{n_{\text{нач}}} (m_{*C\text{ном}} - m_{*C\text{нач}}),$$

где $m_{*\text{нач}}$ и $m_{*C\text{ном}}$ — начальный ($n = 0$) и номинальный ($n = n_{\text{ном}}$) моменты сопротивления механизмов. Для указанных механизмов можно принять

$$m_{C\text{нач}} = (0,15 \div 0,4) m_{C\text{ном}}.$$

Выражение для определения момента сопротивления при любой скорости вращения и соответствующем скольжении имеет следующий вид:

$$m_{*Cn} = m_{*C\text{нач}} + (1 - m_{*C\text{нач}})(1 - s)^p,$$

где p зависит от вида механизма и принимает значения $p = 1,5 \div 2,5$.

С помощью указанных соотношений рассчитываются кривые изменения моментов электродвигателей $m_{\text{дв}}$ и моментов сопротивления механизмов $m_{*\text{мех}}$ в процессе пуска, разгона и выхода каждого электродвигателя в рабочий режим.

Пуск электродвигателя из заторможенного состояния является крайним случаем, при этом $s = 1$. Для оценки характера разгона можно принять режим при $s = 0,5$. После достижения скольжением критического значения $s \leq s_{кр}$ происходит выход электродвигателя на рабочий режим, и скольжение приближается к номинальному значению $s \approx s_{ном}$. Таким образом аппроксимацию моментов электродвигателей и механизмов можно производить по трём точкам при $s_{кр}$.

Самозапуск считается успешным, если в момент восстановления питания напряжение на выводах электродвигателей не ниже $0,7U_{ном}$, а на валу имеется избыточный момент $m_{изб}$:

$$m_{*изб} = m_{*двиг} - m_{*мех} \geq 0,1.$$

С помощью данной модели выполнены расчёты процессов самозапуска на целом ряде предприятий (Московский, Новокуйбышевский, Волгоградский НПЗ, Рязанский НПК и др.).

Самарский государственный технический университет,
 ЗАО СЭПНУ «Оргнефтехимэнерго», г. Самара
 Chelpanov@sama.ru