

УДК 621.313

Исследование работы синхронного двигателя при просадке напряжения питающей сети

Кипервассер Михаил Вениаминович, кандидат технических наук, доцент
Князев Валерий Семенович, кандидат технических наук, доцент
Давыдов Сергей Владимирович, студент
Сибирский государственный индустриальный университет (г. Новокузнецк)

Аннотация. Составлена математическая модель электромеханической системы в составе синхронного двигателя и центробежного насоса. Исследовалась ситуация глубокой просадки напряжения питающей сети. Получены графики изменения токов обмоток статора и ротора при просадке напряжения питающей сети и выполнен их анализ.

Ключевые слова: синхронный двигатель, центробежный насос, тиристорный выпрямитель, форсировка, напряжения питающей сети.

Синхронные электродвигатели (СД) предназначены для привода насосов, вентиляторов, дымососов и других механизмов с большими мощностями, не требующих регулирования частоты вращения, которые используются для приводов турбокомпрессоров, компрессорных станций, водоотливных установок и насосов оборотного цикла [1, с.25].

Проблемой в работе агрегатов является снижения момента двигателя при просадке напряжения питающей сети. При посадке напряжения электродвигатель может выйти из синхронизма, что в дальнейшем приведет перегреву обмоток статора и выходу двигателя из строя [2, с.156]. С целью изучения поведения комплекса «насосный агрегат - синхронный электродвигатель» при посадке напряжения питающей сети произведено исследование работы насоса НДЗ-20 с приводом синхронным двигателем типа СДЗ-2-1000-1000УЗ.

Система дифференциальных уравнений явнополюсного СД с демпферной обмоткой на роторе имеет вид [1,2]:

$$\begin{cases} U_d = R_1 \cdot I_d + \frac{d\psi_d}{dt} - (1-s) \cdot \psi_d, \\ U_q = R_1 \cdot I_q + \frac{d\psi_q}{dt} - (1-s) \cdot \psi_q, \\ U_f = R_f \cdot I_f + \frac{d\psi_f}{dt}, \\ 0 = R_D \cdot I_D + \frac{d\psi_D}{dt}, \\ 0 = R_Q \cdot I_Q + \frac{d\psi_Q}{dt}, \end{cases} \quad (1)$$

где U_d и U_q – составляющие вектора напряжения U по осям d и q ; U_f – напряжение обмотки возбуждения; I_d и I_q – составляющие вектора тока по осям d и q ; I_f – ток возбуждения; I_D и I_Q – составляющие вектора тока демпферной обмотки; R_1, R_f, R_D, R_Q – активные сопротивления статора, ротора и демпферной обмотки по осям d и q ; $\Psi_d, \Psi_f, \Psi_D, \Psi_Q$ – потокосцепления статора, ротора и демпферной обмотки по осям d и q ; s – скольжение.

Потокосцепления в (1) определяются (2):

$$\begin{cases} \psi_d = x_d \cdot I_d + x_{ad} \cdot I_f + x_{ad} \cdot I_D, \\ \psi_q = x_q \cdot I_q + x_Q \cdot I_Q, \\ \psi_f = x_{ad} \cdot I_d + x_{ad} \cdot I_f + x_D \cdot I_D, \\ \psi_{kq} = x_{aq} \cdot I_q + x_Q \cdot I_Q, \end{cases} \quad (2)$$

где x_d, x_q – синхронные индуктивные сопротивления по осям d и q ; x_{ad}, x_{aq} – индуктивные сопротивления взаимной индукции статора и ротора по осям d и q ; x_f – индуктивное сопротивление обмотки возбуждения; x_D, x_Q – индуктивные сопротивления демпферной обмотки по осям d и q .

Для исследования переходных процессов (1) требуется дополнить описанием электромагнитного момента:

$$M = \psi_d \cdot I_q - \psi_q \cdot I_d \quad (3)$$

С учетом выражений (2) и (3) совместная система запишется (4)[3]:

$$\left\{ \begin{array}{l} U_d = R_1 \cdot I_d - (x_q \cdot I_q + x_{aq} \cdot I_Q), \\ U_q = R_1 \cdot I_q + (x_d \cdot I_d + x_{aq} \cdot I_f + x_{ad} \cdot I_D), \\ U_f = R_f \cdot I_f + (x_{ad} \cdot \frac{dI_d}{dt} + x_{ad} \cdot \frac{dI_f}{dt} + x_D \cdot \frac{dI_D}{dt}), \\ 0 = R_D \cdot I_D + (x_{ad} \cdot \frac{dI_d}{dt} + x_{ad} \cdot \frac{dI_f}{dt} + x_D \cdot \frac{dI_D}{dt}), \\ 0 = R_Q \cdot I_Q + (x_{aq} \cdot \frac{dI_q}{dt} + x_Q \cdot \frac{dI_Q}{dt}), \\ M = \psi_d \cdot I_q - \psi_q \cdot I_d, \\ M - M_c = J \cdot \frac{d\omega}{dt} \end{array} \right. \quad (4)$$

где M_c – момент сопротивления на валу синхронного двигателя, создаваемый насосом НДЗ-20[3].

Насосная установка характеризуется равенством подачи и напора насоса расходу и давлению в сети. Мощность центробежного насоса выражается [4]:

$$P_n = H_{cm} \cdot Q = M_c \cdot \alpha_{снх}, \quad \text{где } H_{cm} = \frac{p_2 + p_1}{\rho g} + (z_2 - z_1) \quad (5)$$

Тогда момент двигателя составит:

$$M_c = \frac{H_{cm} \cdot Q}{\alpha_{снх}} \quad (6)$$

С учётом (6) общая система уравнений запишется (7) [4,5]:

$$\left\{ \begin{array}{l} U_d = R_1 \cdot I_d - (x_q \cdot I_q + x_{aq} \cdot I_Q), \\ U_q = R_1 \cdot I_q + (x_d \cdot I_d + x_{aq} \cdot I_f + x_{ad} \cdot I_D), \\ U_f = R_f \cdot I_f + (x_{ad} \cdot \frac{dI_d}{dt} + x_{ad} \cdot \frac{dI_f}{dt} + x_D \cdot \frac{dI_D}{dt}), \\ 0 = R_D \cdot I_D + (x_{ad} \cdot \frac{dI_d}{dt} + x_{ad} \cdot \frac{dI_f}{dt} + x_D \cdot \frac{dI_D}{dt}), \\ 0 = R_Q \cdot I_Q + (x_{aq} \cdot \frac{dI_q}{dt} + x_Q \cdot \frac{dI_Q}{dt}), \\ M = \psi_d \cdot I_q - \psi_q \cdot I_d, \\ M - \frac{H_{cm} \cdot Q}{\alpha_{снх}} = J \cdot \frac{d\omega}{dt} \end{array} \right. \quad (7)$$

На основании (7) в среде MatLab, пакете расширения Simulink была составлена модель электромеханического комплекса (рисунок 1) [6,7].

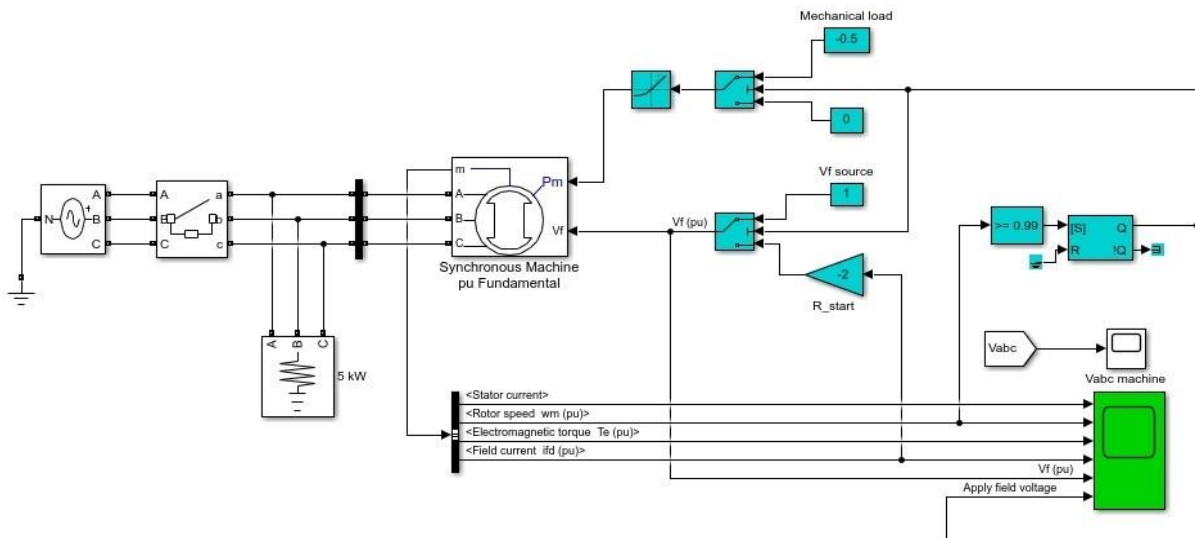


Рис. 1. Схема системы ТВД-СД насосного агрегата в MatLab Simulink

В модели исследовался режим посадки напряжения питающей сети на 20% от номинального значения. Графики переходных процессов показаны на рисунке 2.

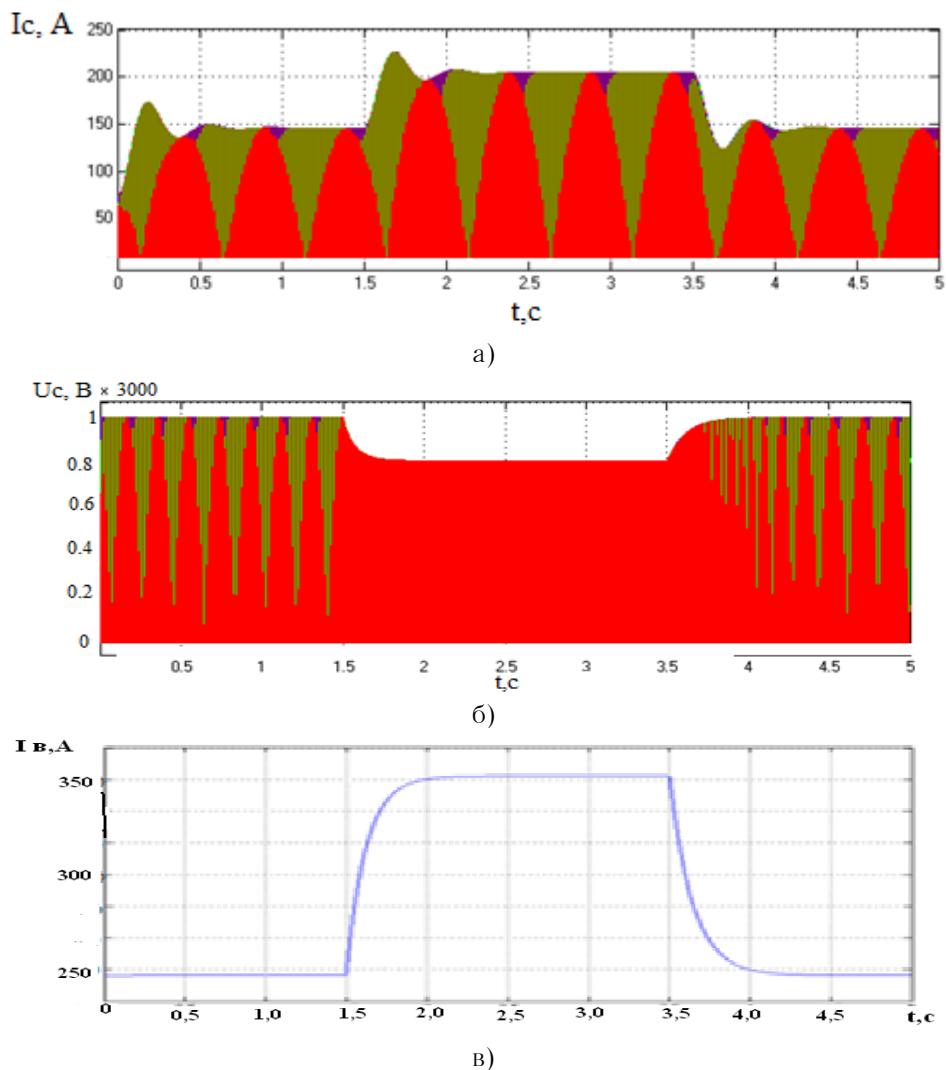


Рис. 2. Графики переходных процессов в СД при просадки питающей сети:

- а) график тока статора синхронной машины;
- б) график напряжения статора синхронной машины;
- в) график тока возбуждения синхронной машины.

Посадка напряжения питающей сети приводит к активации режимов форсировки возбудителя синхронного электродвигателя. Ток ротора возрастает в 1,4 раза (рис.2 в). Применение форсировки возбуждения позволяет кратковременно увеличить перегрузочную способность двигателя без срабатывания комплекса

реле синхронного двигателя. Увеличение тока ротора при форсировки повышает устойчивость работы синхронного двигателя при снижении напряжения питающей сети, предотвращая перерывы в работе насосных станций.

Литература:

1. Сипайлов Г.А. Электрические машины (специальный курс)/Г.А. Сипайлов, Е.В. Кононенко, К.А. Хорьков. -М.: Высшая школа, 1987. -287 с.
2. Ковач К.П. Переходные процессы в машинах переменного тока/К.П. Ковач, И. Рац. -М.-Л.: Госэнергоиздат, 1963. -744 с.
3. Пугачев Е.В., Кипервассер М.В., Гуламов Ш.Р. Динамические характеристики системы гидротурбина - синхронный генератор работающей на автономную нагрузку в аварийных режимах. /Вестник Таджикского национального университета, 2014, № 1/2 (130). с. 117-124.
4. Быстрицкий Г.Ф. Основы энергетики: учебник, 3-е изд., стер.-М.: КНОРУС, 2012. -352 с.
5. Пугачев Е.В., Кипервассер М.В., Гуламов Ш.Р. . Косвенное оценивание неисправностей механической части гидроагрегатов// Вестник Кузбасского государственного технического университета. - 2015. № 2(108). С. 122-127.
6. Mark S. Gockenbach. MATLAB Tutorial to accompany Partial Differential Equations: Analytical and Numerical Methods, 2nd edition, SIAM, 2010, 136p.
7. A A Ansari, D M Deshpande, Mathematical Model of Asynchronous Machine in MATLAB Simulink, A. Ansari et. al. /International Journal of Engineering Science and Technology, Vol. 2(5), 2010, 1260-1267.