

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ В РЕАЛЬНОМ МАСШТАБЕ ВРЕМЕНИ

Курочкин Н. С.

научный руководитель д-р техн. наук Кочетков В. П.

*Хакасский технический институт*

Электропривод с трехфазным асинхронным двигателем является самым массовым приводом в промышленности, коммунальном и сельском хозяйстве. Такое положение определяется простотой изготовления и эксплуатации АД, их меньшими по сравнению с двигателями постоянного тока массой, габаритами, стоимостью, надёжностью в работе.

Традиционно механические характеристики асинхронных двигателей построены по общеизвестной формуле Клосса и соответствуют только статическим режимам, причем момент не может превысить момента критического  $M_k$  по паспортным данным, но они существенно отличаются от характеристик реальных. Это объясняется тем, что формула Клосса не учитывает электромагнитные процессы. В реальных характеристиках наблюдаются большие пульсации момента при пуске двигателя и реверсе, особенно они опасны при частых переключениях режима работы. С этой проблемой столкнулись при установке АД на прокатные станы на Урале в 50-х годах XX века, когда при наладке оборудования вышли из строя до 90% электродвигателей. При анализе повреждений было выявлено, что электромагнитные моменты в несколько раз превышали  $M_k$ , чего не учитывали при выборе двигателей, ориентированном на паспортные данные.

Целью данной работы является моделирование динамических режимов работы асинхронного двигателя в реальном масштабе времени.

Так как явления, происходящие в электрических машинах при переходных процессах сложны и громоздки в плане их математического описания, то будем использовать ряд допущений:

- отсутствие насыщения магнитной цепи;
- отсутствие гистерезиса;
- синусоидальное распределение в пространстве кривых МДС и магнитных индукций;
- независимость индуктивных сопротивлений рассеяния от положения ротора;
- полная симметрия обмоток статора.

Представим мат. описание асинхронного короткозамкнутого двигателя в виде систем уравнений, напряжений и потокосцеплений статорной цепи.

Уравнения напряжений для статорной и роторной цепи имеют вид:

$$\begin{cases} U_{s1} = \frac{d\psi_{s1}}{dt} + R_{s1} \cdot i_{s1}, \\ U_{s2} = \frac{d\psi_{s2}}{dt} + R_{s2} \cdot i_{s2}, \\ U_{s3} = \frac{d\psi_{s3}}{dt} + R_{s3} \cdot i_{s3}. \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} 0 = \frac{d\psi_{r1}}{dt} + R_{r1} \cdot i_{r1}, \\ 0 = \frac{d\psi_{r2}}{dt} + R_{r2} \cdot i_{r2}, \\ 0 = \frac{d\psi_{r3}}{dt} + R_{r3} \cdot i_{r3}. \end{cases} \quad (2)$$

Потокосцепление обмотки каждой фазы является функцией всех токов статора и ротора. Системы уравнений для потокосцеплений статора и ротора (соответственно индексы «s» и «r») имеют следующий вид:

$$\begin{cases} \psi_{s1} = L_s \cdot i_{1s} + L_{s1,2} \cdot i_{2s} + L_{s1,3} \cdot i_{3s} + L_{1,1} \cdot \cos \varphi \cdot i_{r1} + L_{1,2} \cdot \cos(\varphi + 2 \cdot \alpha) \cdot i_{r2} + L_{1,3} \cdot \cos(\varphi + \alpha) \cdot i_{r3}, \\ \psi_{s2} = L_s \cdot i_{2s} + L_{s2,1} \cdot i_{1s} + L_{s2,3} \cdot i_{3s} + L_{2,1} \cdot \cos(\varphi + \alpha) \cdot i_{r1} + L_{2,2} \cdot \cos \varphi \cdot i_{r2} + L_{2,3} \cdot \cos(\varphi + 2 \cdot \alpha) \cdot i_{r3}, \\ \psi_{s3} = L_s \cdot i_{3s} + L_{s3,1} \cdot i_{1s} + L_{s3,2} \cdot i_{2s} + L_{3,1} \cdot \cos(\varphi + 2 \cdot \alpha) \cdot i_{r1} + L_{3,2} \cdot \cos(\varphi + \alpha) \cdot i_{r2} + L_{3,3} \cdot \cos \varphi \cdot i_{r3}. \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{cases} \psi_{r1} = L_r \cdot i_{1r} + L_{r1,2} \cdot i_{2r} + L_{r1,3} \cdot i_{3r} + L_{1,1} \cdot \cos \varphi \cdot i_{s1} + L_{1,2} \cdot \cos(\varphi + 2 \cdot \alpha) \cdot i_{s2} + L_{1,3} \cdot \cos(\varphi + \alpha) \cdot i_{s3}, \\ \psi_{r2} = L_r \cdot i_{2r} + L_{r2,1} \cdot i_{1r} + L_{r2,3} \cdot i_{3r} + L_{2,1} \cdot \cos(\varphi + \alpha) \cdot i_{s1} + L_{2,2} \cdot \cos \varphi \cdot i_{s2} + L_{2,3} \cdot \cos(\varphi + 2 \cdot \alpha) \cdot i_{s3}, \\ \psi_{r3} = L_r \cdot i_{3r} + L_{r3,1} \cdot i_{1r} + L_{r3,2} \cdot i_{2r} + L_{3,1} \cdot \cos(\varphi + 2 \cdot \alpha) \cdot i_{s1} + L_{3,2} \cdot \cos(\varphi + \alpha) \cdot i_{s2} + L_{3,3} \cdot \cos \varphi \cdot i_{s3}. \end{cases} \quad (4)$$

Электромагнитная энергия 3-х фазной машины определяется выражением:

$$W_\psi = \frac{1}{2} \psi_0 \cdot i_0 = \frac{1}{2} (\psi_{SA} \cdot i_{SA} + \psi_{SB} \cdot i_{SB} + \psi_{SC} \cdot i_{SC} + \psi_{ra} \cdot i_{ra} + \psi_{rb} \cdot i_{rb} + \psi_{rc} \cdot i_{rc}) \quad (5)$$

Момент находим из выражения:

$$M_\psi = p_n \cdot \frac{\partial W}{\partial \psi}$$

$$M_\psi = -\frac{2}{3} \cdot L_m \cdot p_n \cdot \mathbf{i}_r^T \cdot \mathbf{B}_T \cdot \mathbf{i}_s$$

В развёрнутом виде формула для нахождения момента имеет следующий вид:

$$M_\psi = \frac{p_n}{\sqrt{3}} \cdot [i_{ra} \cdot (\psi_{rb} - \psi_{rc}) + i_{rb} \cdot (\psi_{rc} - \psi_{ra}) + i_{rc} \cdot (\psi_{ra} - \psi_{rb})] \quad (6)$$

В дополнение к системам уравнений используем основное уравнение динамики электропривода:

$$J_\Sigma \frac{d\omega}{dt} = M - M_C \quad (7)$$

где  $J_\Sigma$ ,  $M$ ,  $M_C$ ,  $\omega$  - соответственно суммарный момент инерции, электромагнитный и статический моменты и угловая скорость двигателя.

Так как средства приложения Simulink позволяют оперировать векторными величинами, то запишем уравнения в векторной форме, это облегчит вычисления и ускорит работу приложения.

По составленным уравнениям в векторной форме сделаем модель в Simulink (рис.1.):

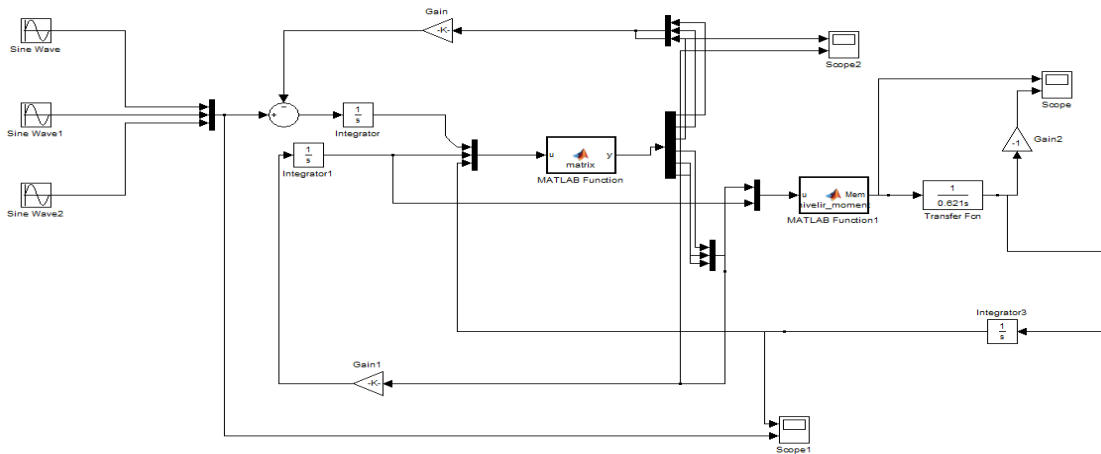


Рис.1. Модель асинхронного короткозамкнутого двигателя.

Переходные процессы асинхронного двигателя  $M(t)$  и  $\omega(t)$  в трёхфазной системе координат представлены на рис.2. Статические и динамические механические характеристики представлены на рис. 3 и рис.4.

Получаем результаты для двигателя мощностью 55 кВт:

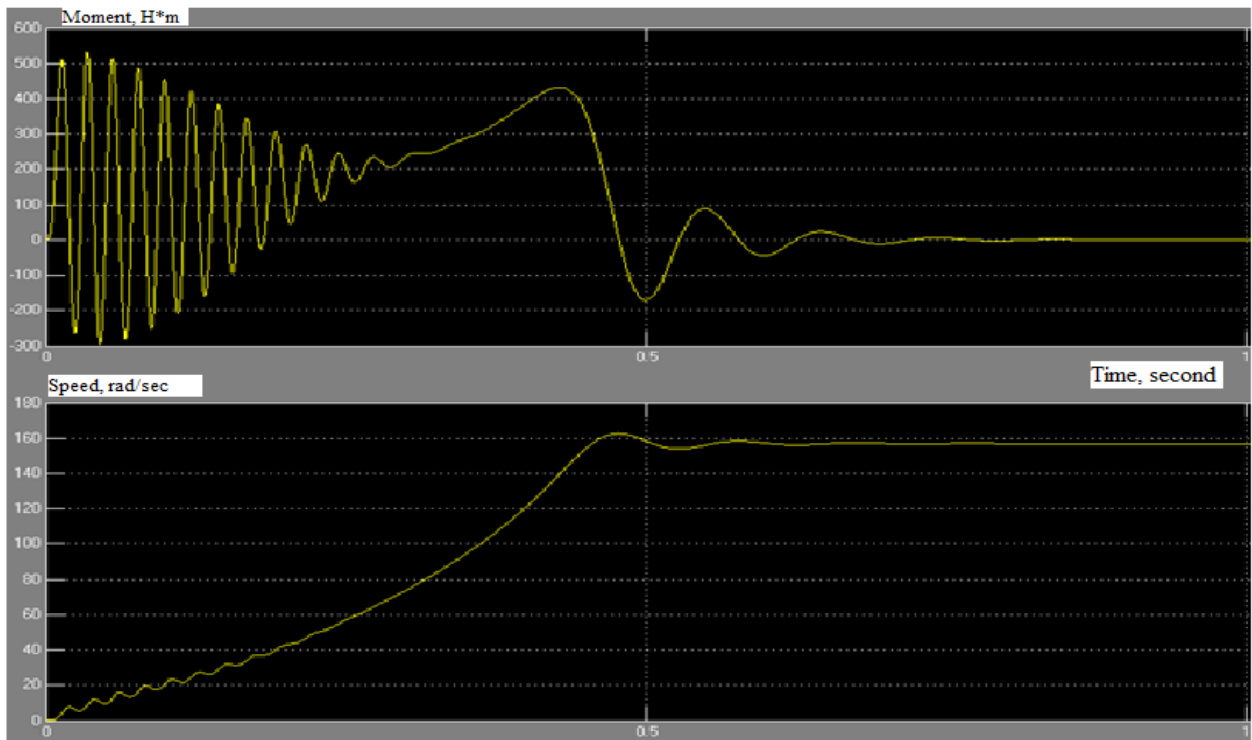


Рис2. Переходные процессы асинхронного двигателя при пуске в трёхфазной системе координат.

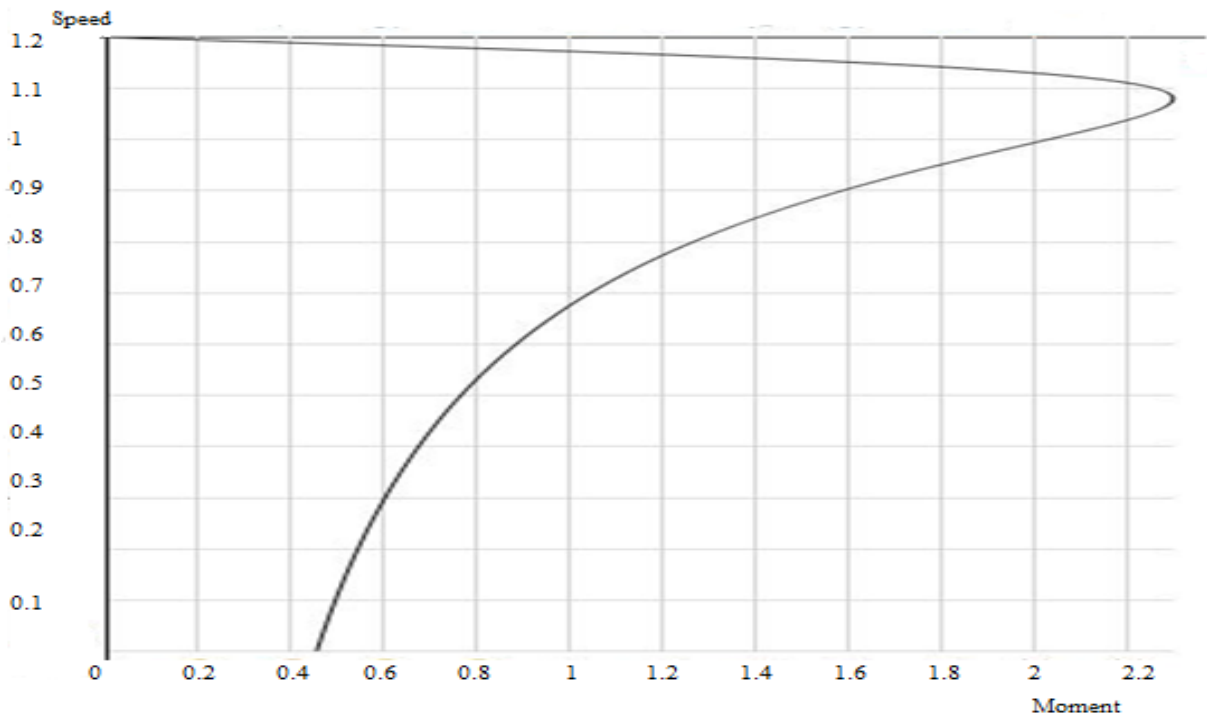


Рис. 3. Статическая механическая характеристика.

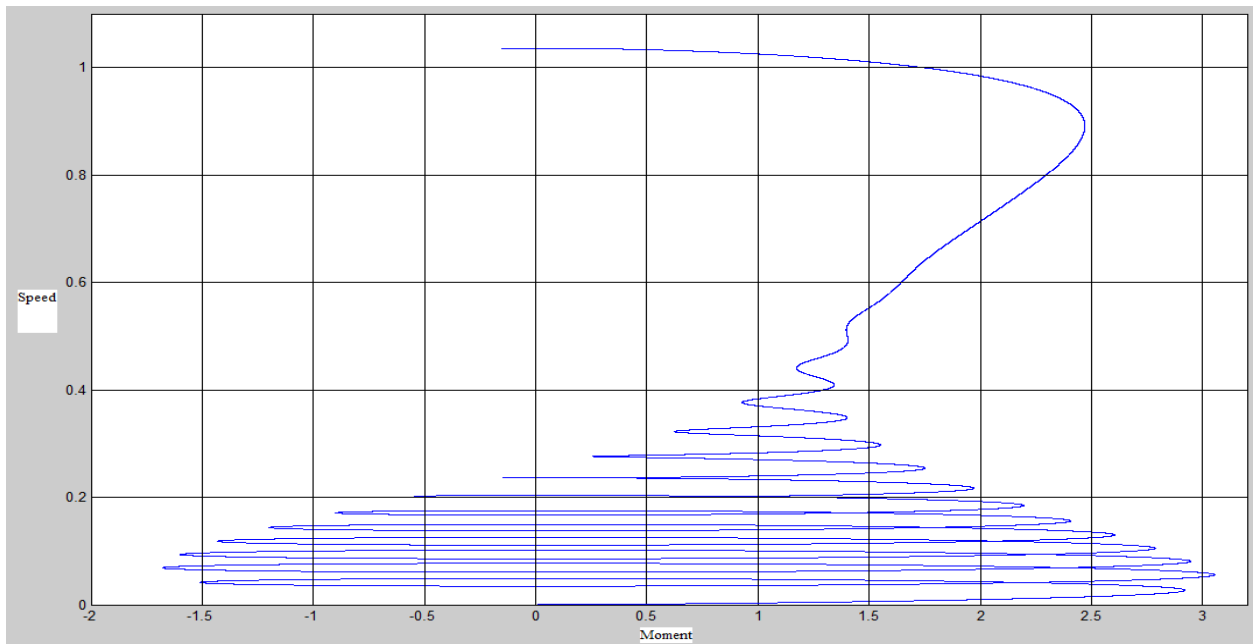


Рис. 4. Динамическая механическая характеристика в относительных единицах.

Сравним, получены данные с результатами моделирования в двухфазной системе координат (рис. 5.):

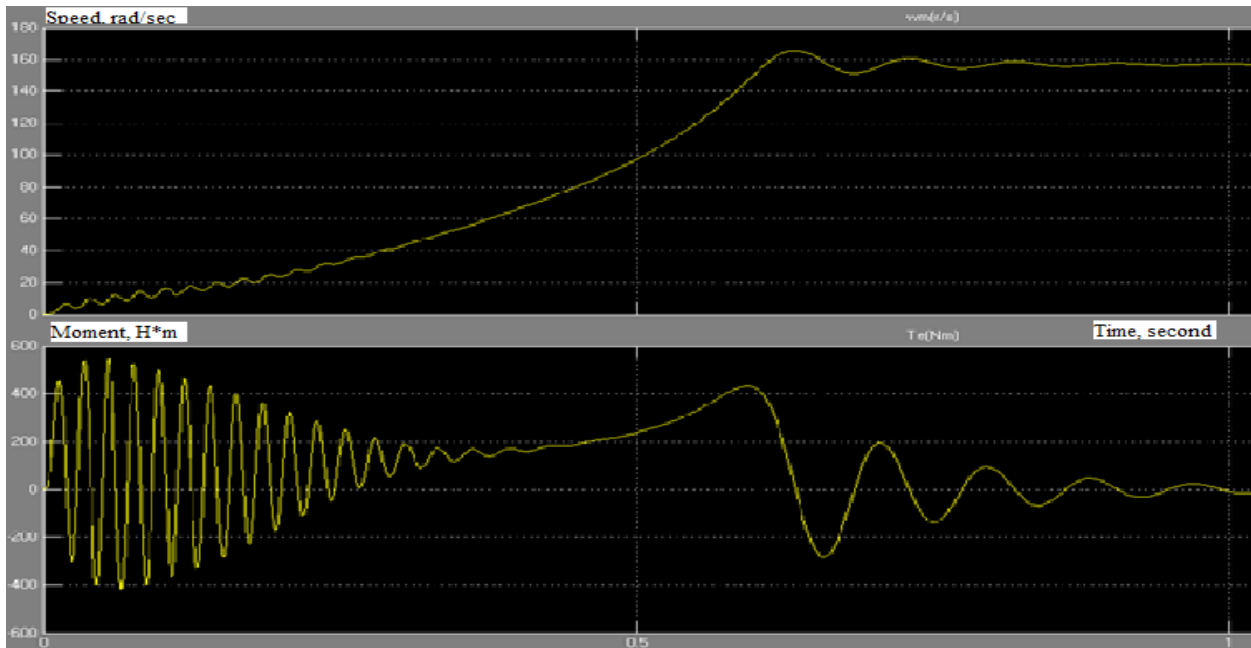


Рис 5. Переходные процессы двигателя при пуске в двухфазной системе координат.

Сравнивая результаты моделирования асинхронного двигателя в трёхфазной и двухфазной системе координат можно сделать вывод, что они практически идентичны. Погрешность в результатах моделирования составляют главным образом допущения принятые нами для упрощения математического описания. Стоит заметить, что моделирование асинхронного двигателя в трёхфазной системе координат даёт меньшую погрешность.

#### Библиографические ссылки

1. Герман - Галкин С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем. Коронапринт., 2001.
2. <http://www.masters.donntu.edu.ua/2003/eltf/pisanka/library/matopis.htm>