

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ LABVIEW

*канд. техн. наук, доц. А. Л. АДАМОВИЧ,
магистрант А. В. ВОРОНКОВ, магистрант П. В. ГЕЛЬФЕР
(Полоцкий государственный университет
имени Евфросинии Полоцкой)*

Рассмотрены вопросы моделирования электромагнитных и механических процессов в асинхронном электродвигателе в режиме реального времени в программной среде LABVIEW. Рассмотрена система уравнений связывающие фазные напряжения, токи, потокосцепления, частоту вращения и электромагнитный момент нагрузки. Математическая модель реализована в среде LABVIEW с визуализацией выходных параметров.

Ключевые слова: *моделирование, асинхронный электродвигатель, LABVIEW, электромагнитный переходной процесс, индуктивности обмоток.*

Для моделирования работы асинхронного электродвигателя использовалась следующая система уравнений – уравнения равновесия ЭДС на обмотках статора и ротора по второму закону Кирхгофа и уравнения согласно закону Ампера, который связывает потокосцепления обмоток с токами, протекающими по обмоткам для статора и ротора соответственно [1]:

$$\begin{aligned} u_A &= R_s i_A + \frac{d\Psi_A}{dt} & u_a &= R_r i_a + \frac{d\Psi_a}{dt} \\ u_B &= R_s i_B + \frac{d\Psi_B}{dt} & u_b &= R_r i_b + \frac{d\Psi_b}{dt} \\ u_C &= R_s i_C + \frac{d\Psi_C}{dt} & u_c &= R_r i_c + \frac{d\Psi_c}{dt} \end{aligned} \quad (1)$$

где u_A, u_B, u_C – мгновенные напряжения на зажимах соответствующей фазы статора;

u_a, u_b, u_c – напряжения на фазах ротора;

R_s и R_r – активные сопротивления фазы статора и ротора;

Ψ – потокосцепления соответствующих фаз статора и ротора.

$$\begin{aligned} \Psi_A &= L_{AA} i_A + L_{AB} i_B + L_{AC} i_C + L_{Aa} i_a + L_{Ab} i_b + L_{Ac} i_c \\ \Psi_B &= L_{BA} i_A + L_{BB} i_B + L_{BC} i_C + L_{Ba} i_a + L_{Bb} i_b + L_{Bc} i_c \\ \Psi_C &= L_{CA} i_A + L_{CB} i_B + L_{CC} i_C + L_{Ca} i_a + L_{Cb} i_b + L_{Cc} i_c \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned}
\Psi_a &= L_{aA}i_A + L_{aB}i_B + L_{aC}i_C + L_{aa}i_a + L_{ab}i_b + L_{ac}i_c \\
\Psi_b &= L_{bA}i_A + L_{bB}i_B + L_{bC}i_C + L_{ba}i_a + L_{bb}i_b + L_{bc}i_c \\
\Psi_c &= L_{cA}i_A + L_{cB}i_B + L_{cC}i_C + L_{ca}i_a + L_{cb}i_b + L_{cc}i_c
\end{aligned}
\tag{3}$$

где $L_{AA}, L_{BB}, L_{CC}, L_{aa}, L_{bb}, L_{cc}$ – собственные индуктивности соответствующих обмоток фаз статора и ротора, а другие – взаимные индуктивности между соответствующими обмотками.

Для асинхронного двигателя с фазным ротором можно принять $u_a = u_b = u_c = 0$.

Если принять симметрию обмоток двигателя, симметрию токов фаз статора и фаз ротора, то можно записать:

$$\begin{aligned}
L_{AA} &= L_{BB} = L_{CC} = L_s & L_{aa} &= L_{bb} = L_{cc} = L_r \\
L_{AB} &= L_{BA} = L_{BC} = L_{CB} = L_{AC} = L_{CA} = L_1 \\
L_{ab} &= L_{ba} = L_{bc} = L_{cb} = L_{ac} = L_{ca} = L_2 \\
L_{Aa} &= L_{aA} = L_{Ba} = L_{aB} = L_{Ca} = L_{aC} = L_{Ab} = L_{aB} = \dots = L_{12}
\end{aligned}
\tag{4}$$

Для двигателя с неявнополюсным цилиндрическим ротором индуктивности и взаимные индуктивности обмоток не зависят от угла.

Электромагнитный момент, создаваемый двигателем:

$$M = \frac{p\sqrt{3}}{2} L_m (i_A i_c + i_B i_a + i_C i_b - i_A i_b + i_B i_c + i_C i_a),
\tag{5}$$

где p – число пар полюсов двигателя;

L_m – взаимная индуктивность между статором и ротором.

Уравнение для угловой частоты вращения:

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{M - M_c}{J},
\tag{6}$$

где J – момент инерции на валу двигателя;

M_c – механической момент нагрузки на валу.

Потребляемая мгновенная активная мощность двигателем от трехфазной сети:

$$P_1 = u_A i_A + u_B i_B + u_C i_C.$$

Напряжения на зажимах фаз статора задавались в виде:

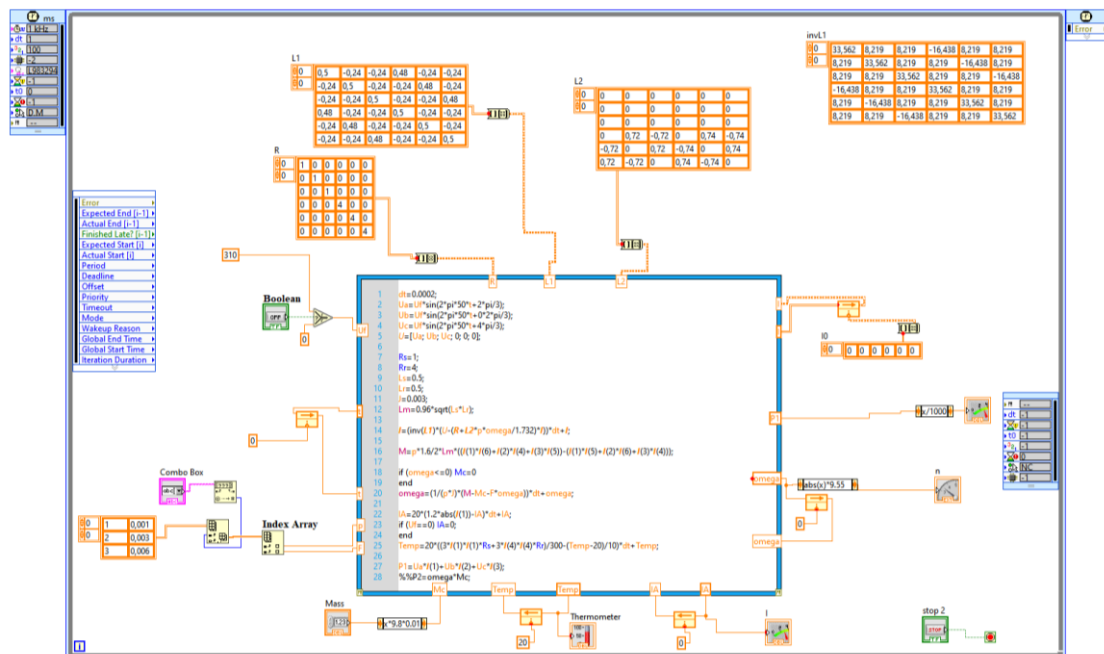
$$u_A = u_\phi \sin \omega t, \quad u_B = u_\phi \sin \left(\omega t - \frac{2\pi}{3} \right), \quad u_C = u_\phi \sin \left(\omega t + \frac{2\pi}{3} \right),
\tag{7}$$

где u_ϕ – фазное амплитудное значение напряжения в сети;

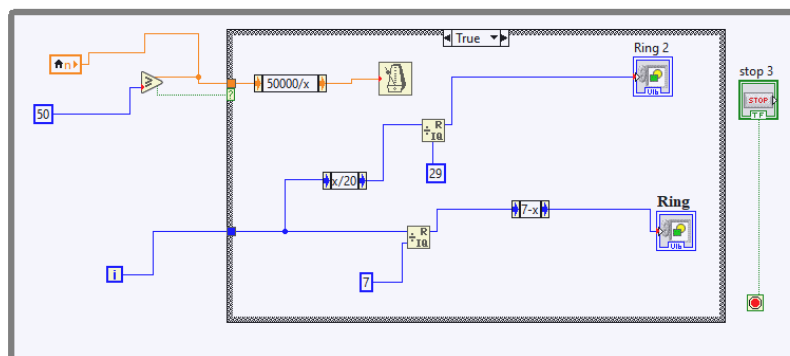
ω – угловая частота тока питающей сети на частоте 50 Гц.

Указанные уравнения с начальными условиями решались в среде LABVIEW [2] в режиме реального времени с использованием разностного численного метода. Для этого использовался операнд среды «Timed Loop», в котором предусмотрена возможность определения времени для каждой итерации, которая выполняется в ходе выполнения цикла, а также узел «MathScript» для редактирования и выполнения математических команд, создания математических скриптов и отображения переменных в табличном или графическом виде (рис. 1, а). Для более точных результатов расчета и сходимости решения минимальный интервал приращения времени выбран $2 \cdot 10^{-5}$ с.

Анимация вращения вала двигателя выполнена из отдельных рисунков созданных в Autodesk 3dsMax. Покадровое отображение с учетом скорости вращения вала выполнено в узлах «While Loop» и «Case Structure» и функции «Ring» (рис. 1, б).



а



б

Рисунок 1. – Блок-диаграммы в среде LABVIEW

На рисунке 2 показана передняя панель со схемой включения двигателя, измерительными приборами (ваттметр, амперметр и тахометр для определения частоты вращения вала). Задаваемыми параметрами является тип асинхронного электродвигателя и механическая нагрузка на валу (в виде массы поднимаемого груза).

При помощи данной модели и разработанного виртуального стенда можно исследовать механические и рабочие характеристики асинхронных двигателей, а при оснащении стенда виртуальным осциллографом – переходные процессы при пуске, остановке двигателя или изменении нагрузки на валу.

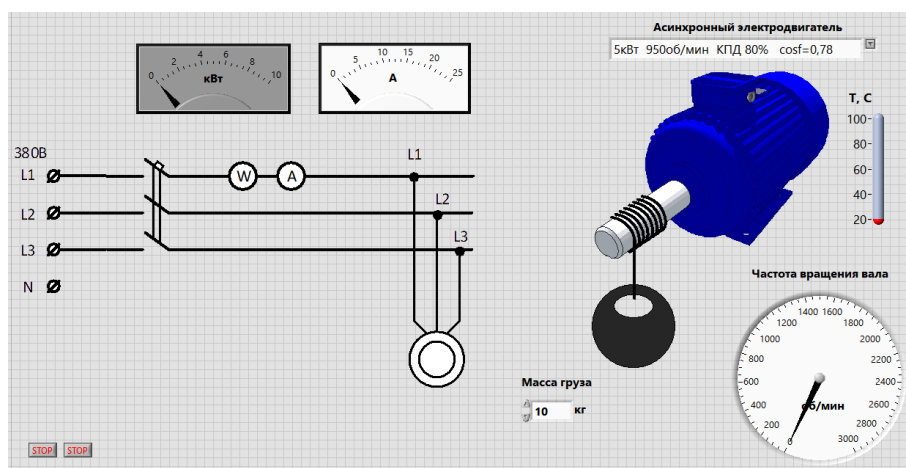


Рисунок 2. – Передняя панель виртуального стенда в среде LABVIEW

Программная среда LabVIEW имеет широкие возможности для моделирования в энергетике и электротехнике, позволяет просто выполнить расчеты систем дифференциальных уравнений, описывающих работу электрических машин, а также исследовать переходные электромагнитные и электромеханические процессы в системах производства, передачи и потребления электроэнергии. Все более широкое применение LabVIEW находит в образовании, в университетских лабораторных практикумах по электротехнике, механике и физике [3].

ЛИТЕРАТУРА

1. Виноградов, А. Б. Векторное управление электроприводами переменного тока / А. Б. Виноградов. – ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В. И. Ленина». – Иваново, 2008. – 298 с.
2. Трэвис, Дж. LabVIEW для всех / Трэвис Дж., Кринг Дж. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : ДМК Пресс, 2011. – 904 с.
3. Адамович А. Л. Опыт разработки и применения виртуальных лабораторных работ по электротехнике // Электронный сборник статей международной научно-практической конференции, посвященной 50-летию Полоцкого государственного университета «Инновационные подходы в образовательном процессе высшей школы: национальный и международные аспекты», Новополоцк, 8–9 февраля, 2018 г. / Полоцкий государственный университет ; под ред. Ю. П. Голубева, Н. А. Борейко. – Новополоцк, 2018. – С. 65–67.