

## ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

УДК 621.314.522, 621.316.717

### МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕСИММЕТРИИ ТРЕХФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ В MATLAB SIMULINK

Ещин Е.К.,

докт.техн.наук, профессор, e-mail: [eke\\_kuzstu@mail.ru](mailto:eke_kuzstu@mail.ru)

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, Россия, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

**Аннотация:** Актуальность работы: Идеология формирования искусственных механических характеристик асинхронных электродвигателей (АД) с короткозамкнутым ротором путем изменения величины питающего напряжения хорошо известна. Для управления таким способом режимом пуска АД получили широкое распространение физические устройства с названием Soft Starter или устройства плавного пуска (УПП), а также устройства безударного пуска (УБП), которые позволяют изменять величину питающего напряжения электродвигателя. Эти устройства реализуются обычно введением в цепи статорных обмоток АД попарно встречно-параллельно включенных тиристоров. Управляя временем открытия состояния тиристоров изменяют величину действующего напряжения, подаваемого на АД. Закрытое состояние тиристоров означает разрыв фазы питающего напряжения и возникновение несимметрии в системе. Моделирование этого режима питания АД необходимо для качественного и количественного прогноза формируемых механических характеристик АД.

Цель работы: Разработка в программном пакете MatLab SimuLink и системе быстрой разработки программ Delphi модели электромеханической системы 3-х фазного асинхронного электродвигателя и исследование на этой основе характеристик электродвигателя в режиме пуска с использованием Soft Starter.

**Методы исследований:** Основаны на использовании математической модели электромеханической системы 3-х фазного АД и реализации ее программными средствами MatLab (SimuLink) и Delphi. Математическая модель учитывает особенности исследования несимметричных режимов работы АД.

**Результаты:** Получены SimuLink – модель АД, которая учитывает большинство факторов, определяющих состояние электромеханической системы этого объекта. Приведены результаты компьютерных экспериментов.

**Ключевые слова:** 3-х фазный асинхронный электродвигатель, режим пуска, устройство плавного пуска.

**Введение.** Идеология формирования искусственных механических характеристик асинхронных электродвигателей (АД) с короткозамкнутым ротором путем изменения величины питающего напряжения хорошо известна.

Для формирования так называемых фазовых характеристик еще в 1971 году в Кузбассом политехническом институте Г.И.Ивониным [1] в цепь статора АД были введены блоки из попарно встречено – параллельно включенных тиристоров.

Целью управления была компенсация падения напряжения на АД при питании его через протяженную кабельную сеть при колебаниях нагрузки на его валу. При изменении угла отпирания тиристоров формировался требуемый уровень питающего напряжения АД, в том числе, за счет включения | отключения отпаек силового трансформатора.

Для управления режимом пуска АД таким способом получили широкое распространение физические устройства с названием Soft Starter или

устройства плавного пуска (УПП), также иногда [9] называемые устройствами безударного пуска (УБП), которые позволяют задавать темп роста величины питающего напряжения электродвигателя во время пуска. При этом обычно исключаются значительные колебания электромагнитного момента АД, характерные для режима прямого пуска включением электродвигателя в сеть.

Эти устройства реализуются также введением в цепи статорных обмоток АД встречно-параллельно включенных тиристоров (рис. 1, 2).

Управляя временем открытого состояния тиристоров изменяют величину действующего напряжения (рис.3), подаваемого на АД.

Закрытое состояние тиристоров означает разрыв фазы питающего напряжения и возникновение несимметрии в системе.

Созданием компьютерных моделей 3-х фазных асинхронных электродвигателей в среде MatLab Simulink занимались (и занимаются) значительное число исследователей [4,7,8,23].

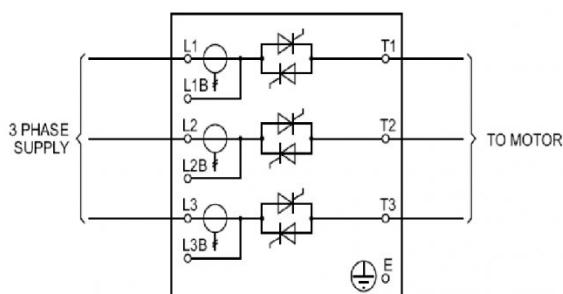


Рис. 1. Схема включения тиристоров в фазы АД по [6]

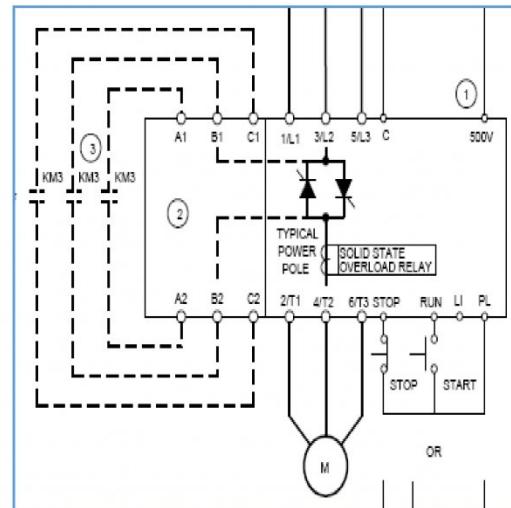


Рис. 2. Схема включения тиристоров в фазы АД по [5]

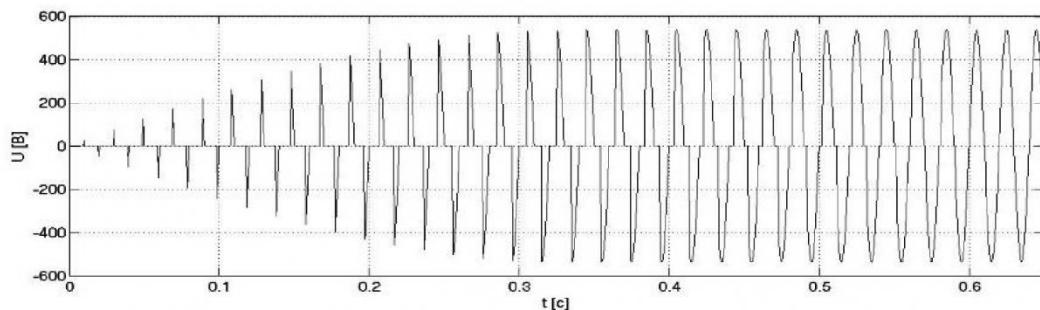


Рис. 3. Характер изменения питающего напряжения АД при использовании устройств плавного пуска

При этом используются оригинальные разработки моделей 3-х фазных АД [3,5,10,11,16,18,19,20,21,22,24] или используются модели из библиотеки компонентов MatLab - SimScape / SimPowerSystems / Specialized Technology / Machine/, например, рис. 4 [12,14,17].

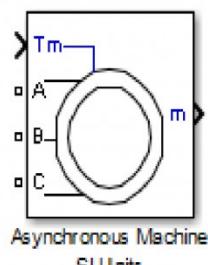


Рис. 4.

Следует сразу отметить, что компонент “Asynchronous Machine SI Units”, строго говоря, не является моделью 3-х фазного асинхронного электродвигателя, как об этом говорится в разделе Help этого компонента (Model the dynamics of three-phase asynchronous machine, also known as induction machine ...), поскольку реализует хорошо известную [2, с.493] 2-х фазную модель асинхронного электродвигателя (The electrical part of the machine is represented by a fourth-order (or sixth-order for the double squirrel-cage machine) state-space model).

Переход в компоненте “Asynchronous Machine SI Units” от 3-х фазной системы напряжений к 2-х фазной производится с помощью блока преобразователя фаз 3/2 “abc to dq transformation” находящегося во внутренней структуре этого компонента. Применимость “Asynchronous Machine SI Units” – симметричные условия питания АД.

При несимметрии обычно используется математическая модель (1,2) именно 3-х фазного АД, например, по [4], где отмечается, что «... уравнения напряжений обобщенной машины в заторможенных трехфазных координатах, позволяют решать целый ряд задач, которые уравнениями двухфазной машины описываются с большими допущениями».

Обозначения в (1,2):  $\psi_{sa}, \psi_{s\beta}, \psi_{ra}, \psi_{r\beta}$  – составляющие потокосцеплений обмоток статора и ротора по осям  $\alpha, \beta$ ;  $u_{sa}, u_{s\beta}$  – составляющие напряжений на обмотках статора и ротора;  $i_{sa}, i_{s\beta}, i_{ra}, i_{r\beta}$  – составляющие токов обмоток статора и ротора;  $p_n$  – количество пар полюсов,  $\omega_m = p_n \omega$ ,  $\omega$  – скорость вращения ротора;  $M_m$  – электромагнитный момент;  $L_m$  – взаимная индуктивность обмоток статора и ротора;  $r_s, r_r$  – активные сопротивления обмоток статора и ротора.  $\psi_{sy}, \psi_{ry}$  – составляющие потокосцеплений обмоток статора и ротора по оси  $\gamma$ ;  $u_{sy}$  – составляющая напряжений на обмотке статора по оси  $\gamma$ ;  $i_{sy}, i_{ry}$  – составляющие токов обмоток статора и ротора по оси  $\gamma$ .

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\psi_{sa}}{dt} &= u_{sa} - r_s i_{sa}, & \frac{d\psi_{ra}}{dt} &= -r_r i_{ra} - \frac{p_n \omega}{\sqrt{3}} (\psi_{r\beta} - \psi_{r\gamma}), \\ \frac{d\psi_{s\beta}}{dt} &= u_{s\beta} - r_s i_{s\beta}, & \frac{d\psi_{r\beta}}{dt} &= -r_r i_{r\beta} - \frac{p_n \omega}{\sqrt{3}} (\psi_{r\gamma} - \psi_{ra}), \\ \frac{d\psi_{s\gamma}}{dt} &= u_{s\gamma} - r_s i_{s\gamma}, & \frac{d\psi_{r\gamma}}{dt} &= -r_r i_{r\gamma} - \frac{p_n \omega}{\sqrt{3}} (\psi_{ra} - \psi_{r\beta}), \\ M_{\text{эл}} &= p_n \frac{\sqrt{3}}{2} L_M [(i_{sa} i_{r\gamma} + i_{s\beta} i_{ra} + i_{s\gamma} i_{r\beta}) - (i_{sa} i_{r\beta} + i_{s\beta} i_{r\gamma} + i_{s\gamma} i_{ra})] \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$$\left. \begin{aligned} \psi_{sa} &= (L_M + L_s) i_{sa} - \frac{1}{2} L_M i_{s\beta} - \frac{1}{2} L_M i_{s\gamma} + L_M i_{ra} - \frac{1}{2} L_M i_{r\beta} - \frac{1}{2} L_M i_{r\gamma}, \\ \psi_{s\beta} &= -\frac{1}{2} L_M i_{sa} + (L_M + L_s) i_{s\beta} - \frac{1}{2} L_M i_{s\gamma} - \frac{1}{2} L_M i_{ra} + L_M i_{r\beta} - \frac{1}{2} L_M i_{r\gamma}, \\ \psi_{s\gamma} &= -\frac{1}{2} L_M i_{sa} - \frac{1}{2} L_M i_{s\beta} + (L_M + L_s) i_{s\gamma} - \frac{1}{2} L_M i_{ra} - \frac{1}{2} L_M i_{r\beta} + L_M i_{r\gamma}, \\ \psi_{ra} &= L_M i_{sa} - \frac{1}{2} L_M i_{s\beta} - \frac{1}{2} L_M i_{s\gamma} + (L_M + L_r) i_{ra} - \frac{1}{2} L_M i_{r\beta} - \frac{1}{2} L_M i_{r\gamma}, \\ \psi_{r\beta} &= -\frac{1}{2} L_M i_{sa} + L_M i_{s\beta} - \frac{1}{2} L_M i_{s\gamma} - \frac{1}{2} L_M i_{ra} + (L_M + L_s) i_{r\beta} - \frac{1}{2} L_M i_{r\gamma}, \\ \psi_{r\gamma} &= -\frac{1}{2} L_M i_{sa} - \frac{1}{2} L_M i_{s\beta} + L_M i_{s\gamma} - \frac{1}{2} L_M i_{ra} - \frac{1}{2} L_M i_{r\beta} + (L_M + L_s) i_{r\gamma}, \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

**Цель работы.** Разработка в программном пакете MatLab SimuLink и системе быстрой разработки программ Delphi моделей электромеханической системы 3-х фазного асинхронного электродвигателя и исследование на этой основе характеристик электродвигателя в пусковом режиме с использованием устройств плавного пуска (*Soft Starter*).

**Материал и результаты исследований.** Основная проблема при решении (1) – реализация связей (2) между потокосцеплениями и токами. При использовании, например, программной среды *Delphi* решение дифференциальных уравнений (1) можно организовать, используя метод Рунге – Кutta 4-го порядка с автоматическим выбором шага интегрирования и при этом на каждом шаге интегрирования решать систему линейных алгеб-

раических уравнений относительно токов (2) с исходной матрицей коэффициентов (3) для нахождения значений токов.

Если ввести обозначения для

$$\begin{aligned} i_{sa} &\div x_1, & i_{s\beta} &\div x_2, & i_{s\gamma} &\div x_3, \\ i_{ra} &\div x_4, & i_{r\beta} &\div x_5, & i_{r\gamma} &\div x_6 \end{aligned}$$

а для элементов матрицы коэффициентов –  $a_{ij}$ , где  $i, j$  – соответственно номер строки и столбца матрицы и решая (2), например, методом Гаусса, то на этапе обратного хода при работе с преобразованной (треугольной) матрицей коэффициентов для вычисления значений токов используется строка –  $a_{ii}x_i + a_{i,i+1}x_{i+1} + \dots + a_{in}x_n = a_{i,n+1}$ , из которой следует правило (4) нахождения неизвестных –

$$\left| \begin{array}{cccccc} (L_M + L_s) & -\frac{1}{2} L_M & -\frac{1}{2} L_M & L_M & -\frac{1}{2} L_M & -\frac{1}{2} L_M & \psi_{sa} \\ -\frac{1}{2} L_M & (L_M + L_s) & -\frac{1}{2} L_M & -\frac{1}{2} L_M & L_M & -\frac{1}{2} L_M & \psi_{s\beta} \\ -\frac{1}{2} L_M & -\frac{1}{2} L_M & (L_M + L_s) & -\frac{1}{2} L_M & -\frac{1}{2} L_M & L_M & \psi_{s\gamma} \\ L_M & -\frac{1}{2} L_M & -\frac{1}{2} L_M & (L_M + L_r) & -\frac{1}{2} L_M & -\frac{1}{2} L_M & \psi_{ra} \\ -\frac{1}{2} L_M & L_M & -\frac{1}{2} L_M & -\frac{1}{2} L_M & (L_M + L_r) & -\frac{1}{2} L_M & \psi_{r\beta} \\ -\frac{1}{2} L_M & -\frac{1}{2} L_M & L_M & -\frac{1}{2} L_M & -\frac{1}{2} L_M & (L_M + L_r) & \psi_{r\gamma} \end{array} \right| \quad (3)$$

$$x_i = \frac{1}{a_{ii}} \left( a_{i,n+1} - \sum_{j=i+1}^n a_{ij} x_j \right) \quad (4)$$

Здесь  $i=n-1,..,1$ ,  $n=6$ .

В варианте *SimuLink* из (2) прямо следует:

$$\left. \begin{aligned} i_{sa} &= \frac{1}{(L_M + L_s)} \left( \psi_{sa} + \frac{1}{2} L_M i_{s\beta} + \frac{1}{2} L_M i_{s\gamma} - L_M i_{ra} + \frac{1}{2} L_M i_{r\beta} + \frac{1}{2} L_M i_{r\gamma} \right) \\ i_{s\beta} &= \frac{1}{(L_M + L_s)} \left( \psi_{s\beta} + \frac{1}{2} L_M i_{s\alpha} + \frac{1}{2} L_M i_{s\gamma} + \frac{1}{2} L_M i_{ra} - L_M i_{r\beta} + \frac{1}{2} L_M i_{r\gamma} \right) \\ i_{s\gamma} &= \frac{1}{(L_M + L_s)} \left( \psi_{s\gamma} + \frac{1}{2} L_M i_{s\alpha} + \frac{1}{2} L_M i_{s\beta} + \frac{1}{2} L_M i_{ra} + \frac{1}{2} L_M i_{r\beta} - L_M i_{r\gamma} \right) \\ i_{ra} &= \frac{1}{(L_M + L_s)} \left( \psi_{ra} - L_M i_{sa} + \frac{1}{2} L_M i_{s\beta} + \frac{1}{2} L_M i_{s\gamma} + \frac{1}{2} L_M i_{r\beta} + \frac{1}{2} L_M i_{r\gamma} \right) \\ i_{r\beta} &= \frac{1}{(L_M + L_s)} \left( \psi_{r\beta} + \frac{1}{2} L_M i_{s\alpha} - L_M i_{s\beta} + \frac{1}{2} L_M i_{ra} + \frac{1}{2} L_M i_{r\alpha} + \frac{1}{2} L_M i_{r\gamma} \right) \\ i_{r\gamma} &= \frac{1}{(L_M + L_s)} \left( \psi_{r\gamma} + \frac{1}{2} L_M i_{s\alpha} + \frac{1}{2} L_M i_{s\beta} - L_M i_{s\gamma} + \frac{1}{2} L_M i_{ra} + \frac{1}{2} L_M i_{r\beta} \right) \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Общим (4) и (5) является структура их аналитических конструкций. Однако, если метод Гаусса предусматривает знание последующих значений неизвестных (токов) для определения очередного в их обратной последовательности от большего к меньшему

$$(i_{r\gamma} \div x_6, i_{r\beta} \div x_5, i_{ra} \div x_4, \\ i_{s\gamma} \div x_3, i_{s\beta} \div x_2, i_{s\alpha} \div x_1),$$

то определение значений токов на основе (5) предусматривает одновременное знание всех значений токов, т.е. предусматривается реализация механизмов обратных связей между структурами, реализующими (5).

Связи таких структур как (5) просты, например, для тока  $i_{ra}$  выглядят в виде подсистем (рис. 5). Здесь  $M \div L_m$ .

Аналогичные подсистемы объединены в подсистему «Вычисление токов», внутренняя структура которой показана на рис. 6.

Соответствие обозначений на рисунках и формульных записях таковы – индексам в формулах  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  соответствуют  $a$ ,  $b$ ,  $g$  или  $A$ ,  $B$ ,  $C$  на рисунках, изображающих структуры *SimuLink*.

Моделирование условий изменения напряжений питания по фазам с одновременным изменением значений активных сопротивлений фаз, имитирующих разрыв цепи питания для закрытых состояний тиристоров на рис. 7,8.

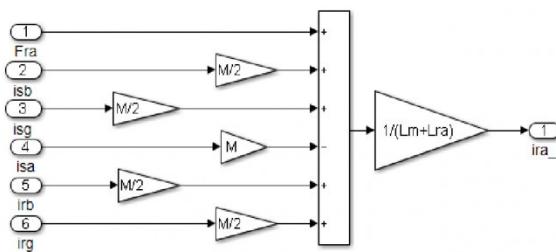
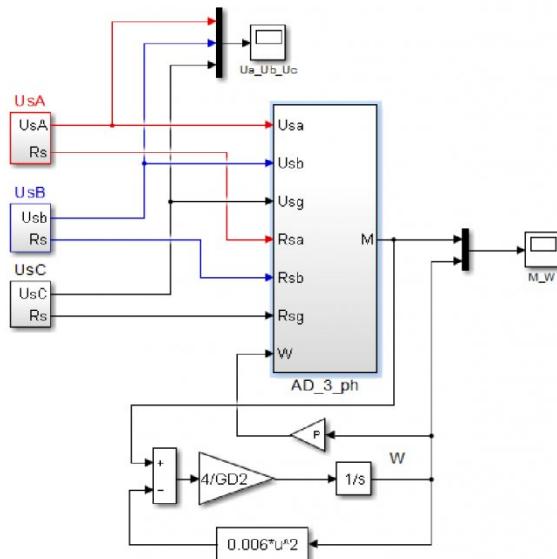
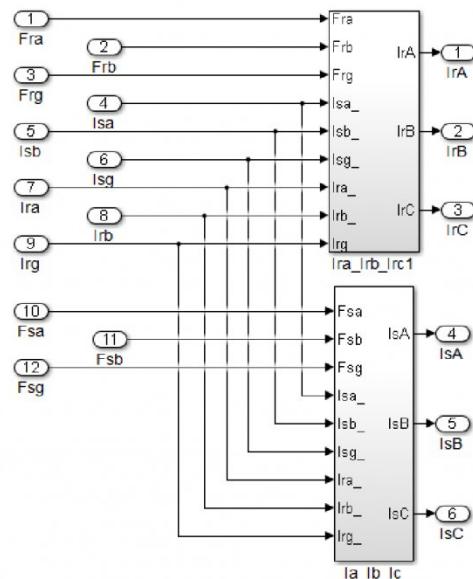


Рис. 5. Реализация связей для вычисления значений токов ( $i_{ra}$ )

Рис. 6. Внутренние связи подсистемы «Вычисление токов»



Результаты расчетов «плавного» пускового режима АД ВРП160М4 мощностью 15 кВт с параметрами  $R_{sa}$ ,  $R_{sb}$ ,  $R_{sc}=0.516$  Ом;  $R_{ra}$ ,  $R_{rb}$ ,  $R_{rc}=0.406$  Ом;  $X_{sa}$ ,  $X_{sb}$ ,  $X_{sc}=1.419$  Ом;  $X_{ra}$ ,  $X_{rb}$ ,  $X_{rc}=1.109$  Ом;  $X_m=35.0$  Ом;  $p=2$ ;  $GD^2=0.7$  кГм<sup>2</sup> приведены на рис. 9, 10, 11, где приведены сравнительные характеристики расчетов, выполненных в системах разработки *MatLab SimuLink* и *Delphi*.

Рисунок 11 показывает полную идентичность расчетов, выполненных в различных программных средах реализующих математическую модель 3-х фазного АД по (1,2).

На рис. 12 приведен расчет режима «плавного» пуска, основанных на 2-х фазной математической модели АД.

Совмещение изображений рис. 9 и 12 на рис. 13 показывает существенное различие в расчетах «плавных» пусковых режимов АД, которые сопровождаются несимметрией питания.

Рис.14, 15 показывают изменение амплитуды, частоты и формы пульсаций электромагнитного момента АД. Следует отметить, что частота пульсаций составляет 300 Гц для 3-х фазной модели и 200 Гц для 2-х фазной.

#### Выводы.

Результаты моделирования режима плавного пуска АД при использовании 2-х и 3-х фазных математических моделей существенно разнятся в количественном отношении до момента перехода в симметричный режим питания.

Несимметрия, вызываемая разрывами цепи питания в режиме плавного пуска АД сопровождается появлением изменяющихся по амплитуде, форме и частоте (300 Гц) пульсаций величины электромагнитного момента электродвигателя.

Использование библиотечных компонентов *MatLab*, таких как, например, “Asynchronous

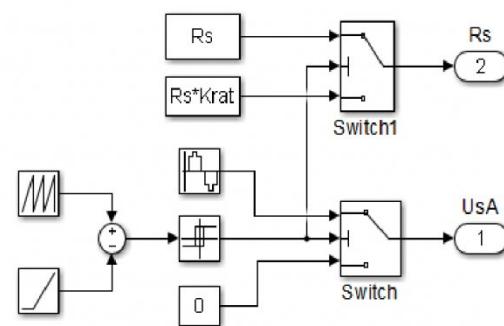
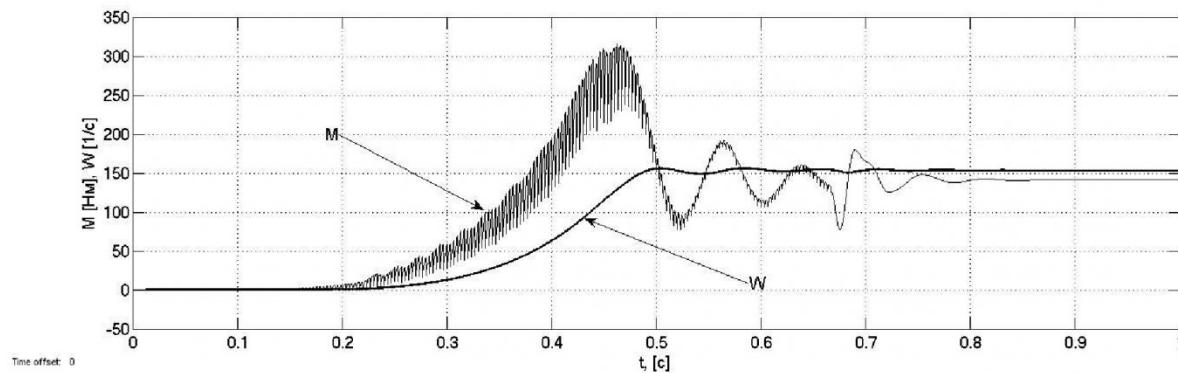


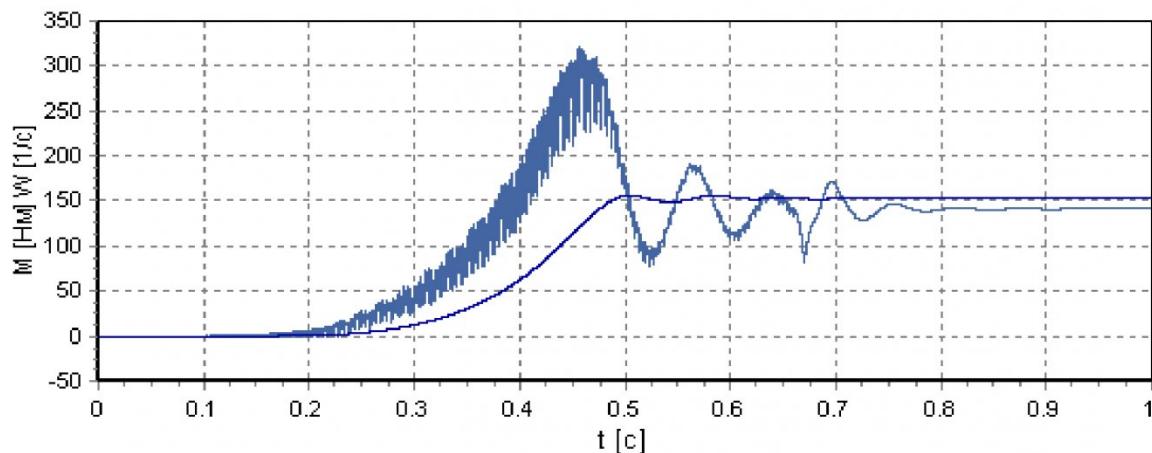
Рис. 8. Изменение сопротивления фаз ( $Rs$ ) при открытом или закрытом состоянии тиристоров

Рис. 7. Схема питания АД и формирования значений активного сопротивления фаз

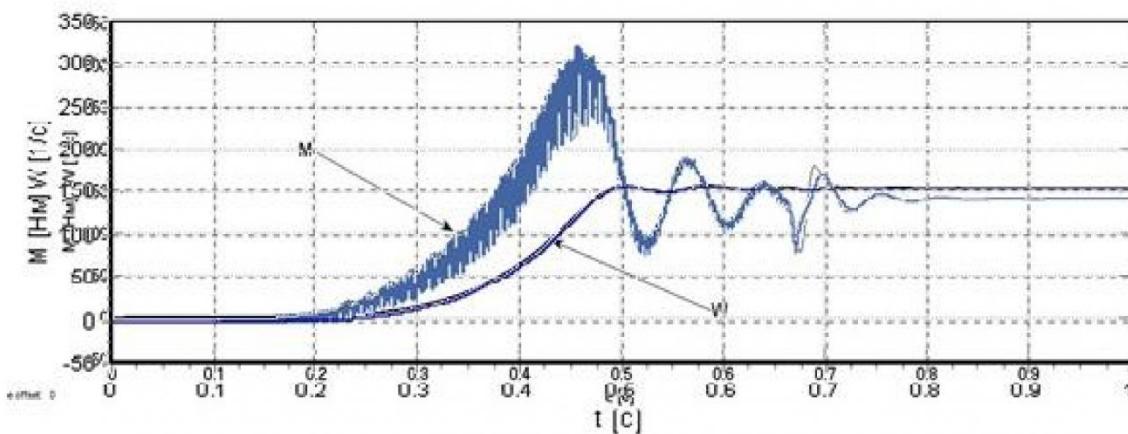
Machine SI Units", для расчета режимов работы – проблематично.  
АД, сопровождающихся появлением несимметрии



*Рис. 9. Изменение электромагнитного момента (M) и скорости (W) вращения ротора АД ВРП160М4 при пуске с вентиляторной нагрузкой (3-х фазная модель. MatLab SimuLink)*



*Рис. 10. Изменение электромагнитного момента (M) и скорости (W) вращения ротора АД ВРП160М4 при пуске с вентиляторной нагрузкой (3-х фазная модель. Delphi)*



*Рис.11. Совмещение изображений рисунков 9,10*

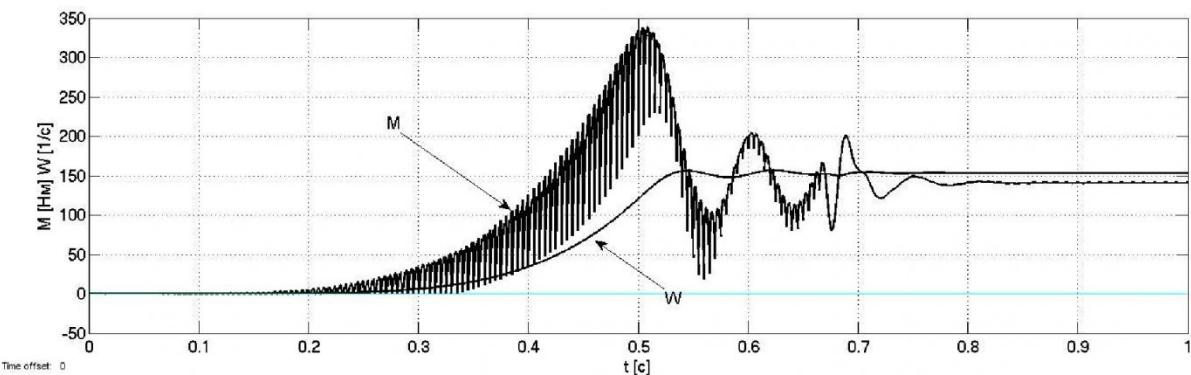


Рис. 12. Изменение электромагнитного момента ( $M$ ) и скорости ( $W$ ) вращения ротора АД ВРП160М4 при пуске с вентиляторной нагрузкой (2-х фазная модель. MatLab SimuLink)

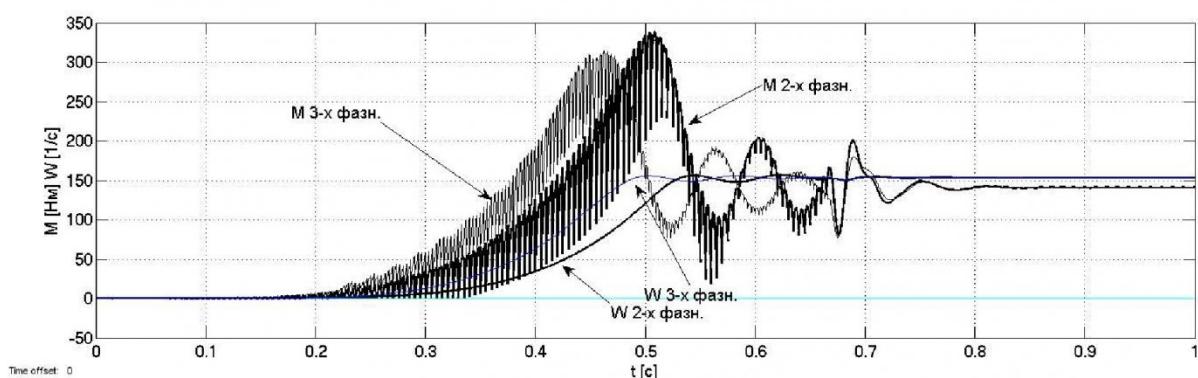


Рис. 13. Изменение электромагнитного момента ( $M$ ) и скорости ( $W$ ) вращения ротора АД ВРП160М4 при пуске с вентиляторной нагрузкой (совмещение результатов расчетов 3-х и 2-х фазных моделей)

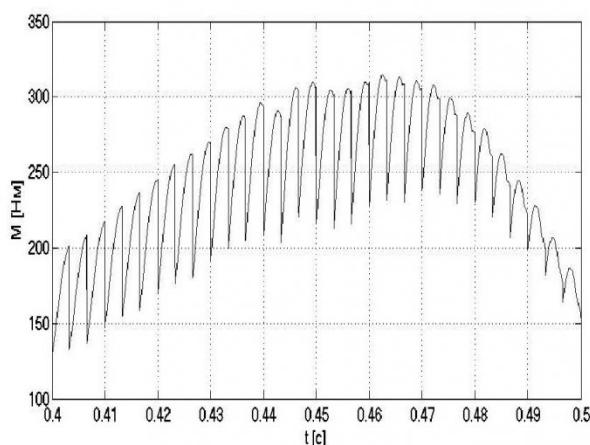


Рис. 14. Изменение формы и амплитуды пульсаций электромагнитного момента АД

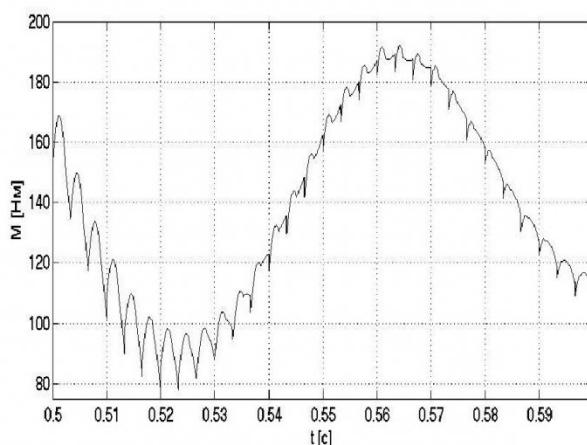


Рис. 1.5 Изменение формы и амплитуды пульсаций электромагнитного момента АД

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ивонин Г.И. Исследование и разработка тиристорных регуляторов напряжения в участковых электрических сетях шахт Кузбасса : дис...канд. техн. наук: (05.173) Кузбас. политехн. ин-т, Кемерово , 1971.
2. Ковач К.П., Рац И. Переходные процессы в машинах переменного тока. –М.-Л., Госэнергоиздат, 1963. 744 с.

3. Копылов И. П. Математическое моделирование электрических машин. - М.: Высш. шк., 2001. -327 с.
4. Терёхин В.Б. Моделирование систем электропривода в Simulink (Matlab 7.0.1): учебное пособие. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 292 с.
5. ALTISTART 46 Soft Start Controller User's Manual Instruction Bulletin VD0C32S301B June 1998 Raleigh, NC, USA
6. AuCom Electronics Limited 123 Wrights Road Christchurch, New Zealand. P.O.Box 21-245 Christchurch, New Zealand Phone: +64 3 338-8280 Fax: +64 3 338-8104 E-mail: [salesupport@aucom.co.nz](mailto:salessupport@aucom.co.nz) Internet: <http://www.aucom.co.nz>
7. Пустоветов М., Солтус К., Синявский И. Компьютерное моделирование асинхронных двигателей и трансформаторов. LAP Lambert Academic Publishing, 2013, -209 р.
8. Тимошкин В.В. Разработка и исследование наблюдателей угловой скорости для асинхронных электроприводов по схеме ТРН-АД: дис...канд.техн.наук, Томск, НИ ТПУ, 2014.
9. Альтшуллер М. Из под удара двигатель выводится устройством УПБВД / Альтшуллер М., Шамис М., Матисон А. // Новости электротехники, 4(34) 2005 (<http://news.elteh.ru/arh/2005/34/46.php>)
10. Ansari D. M. Deshpande. "Mathematical Model of Asynchronous Machine in MATLAB Simulink," *Int. J. Eng. Sci. Technol.*, vol. 2, pp. 1260–1267, 2010.
11. M. H. Moradi and P. G. Khorasani, "A new Matlab simulation of induction motor," *2008 in Australas. Univ. Power Eng. Conf.*, 2008.
12. H. Sarhan, "Energy Efficient Control of Three-Phase Induction Motor Drive," *Energy and Power Engineering*, vol. 03, no. 02. pp. 107–112, 2011.
13. Lakhya Jyoti Phukon, Neelanjana Baruah "A Generalized Matlab Simulink Model of a Three Phase Induction Motor" in International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology (*An ISO 3297: 2007 Certified Organization*) Vol. 4, Issue 5, May 2015.
14. Manish Kumar Singh, Madhur Chauhan, Amit Kumar Singhal, Nitin Saxena "A Methodology to Develop A Simulink Model of Three Phase Induction Motor" in International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, Volume 4, Special Issue 1, February 2014.
15. Stanislav Rusnok, Pavel Sobota, Martin Slivka, Pavel Svoboda "Assessment Transients During Starting of Induction Motor in Matlab Simulink And Verification by Measurement" in *Advanced Research in Scientific Areas 2012*, International Virtual Conference, Section Electronics, Electrical Systems, Electrical Engineering, 2012, pp.1672-1676.
16. Sifat Shah, A. Rashid, MKL Bhatti "Direct Quadrature (D-Q) Modeling of 3-Phase Induction Motor Using MatLab / Simulink" in *Canadian Journal on Electrical and Electronics Engineering* Vol. 3, No. 5, May 2012, pp.237-243.
17. Saffet Ayasun and Chika O. Nwankpa "Induction Motor Tests Using MATLAB / Simulink and Their Integration In to Undergraduate Electric Machinery Courses" in *IEEE TRANSACTIONS ON EDUCATION*, VOL. 48, NO.1, FEBRUARY 2005, pp.37-46.
18. Munira Batool, Aftab Ahmad "Mathematical Modeling And Speed Torque Analysis Of Three Phase Squirrel Cage Induction Motor Using Matlab Simulink For Electrical Machines Laboratory Mathematical Modeling And Speed Torque Analysis Of Three Phase Squirrel Cage Induction Motor Using Matlab Simulink For Electrical Machines Laboratory" in *International Electrical Engineering Journal (IEEJ)* Vol. 4 (2013) No.1, pp. 880-889.
19. Punit L. Ratnani, Thosar A. G. "Mathematical Modelling of an 3 Phase Induction Motor Using MATLAB/Simulink" in *International Journal Of Modern Engineering Research (IJMER)* Vol. 4 | Iss. 6| June. 2014, pp.62-67.
20. Mazouz Salhat, Omar Barbarawe, Mohammad AbuZalata, Shebel Asad "Modular Approach for Investigation of the Dynamic Behavior of Three-Phase Induction Machine at Variation Load" in *Engineering*, 2011, 3, 525-531 Published Online May 2011 (<http://www.scirp.org/journal/eng>).
21. Aleck W. Leedy "Simulink / MATLAB Dynamic Induction Motor Model for Use as A Teaching and Research Tool" in *International Journal of Soft Computing and Engineering (IJSCE)* ISSN: 2231-2307, Volume-3, Issue-4, September, 2013, pp.102-107
22. Ещин Е.К. О взаимности задач управления состоянием асинхронного электродвигателя // Вестник Кузбасского государственного технического университета, 2014. №2. С.107-110.
23. Однокопылов Г.И. Математическая модель асинхронного двигателя в неполнофазном режиме работы / Однокопылов Г.И., Брагин А.Д. // Известия Томского политехнического университета. Вып. №4, том 323. 2013. С.133-137.

*Поступило в редакцию 15 июля 2015*

## SIMULATION OF ASYMMETRIC THREE-PHASE ASYNCHRONOUS MOTOR IN MATLAB SIMULINK

Eshchin Evgeny.K.,

Dr. Sc. in Engineering, e-mail: [eke\\_kuzstu@mail.ru](mailto:eke_kuzstu@mail.ru)

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28 street Vesennaya, Kemerovo, 650000, Russian Federation

**Abstract:** The urgency of the discussed issue: Ideology of formation of artificial mechanical characteristics of induction motors (IM) squirrel cage by varying the supply voltage is well known. To manage in this way start mode IM widespread physical devices called Soft Starter as well as non-impact device start (FSM), which allow you to change the value of the supply voltage of the motor. These devices are usually realized introduction in the chain of the stator-coil of a counter parallel-connected thyristors. By controlling the opening time of the state of the thyristors, changing the operating voltage applied to IM. Closed state of thyristor means breaking phase supply voltage and the occurrence of asymmetric in the system. Modeling this mode is necessary for qualitative and quantitative forecast of formed mechanical characteristics of IM.

The main aim of the study: Development software package MatLab SimuLink system and the rapid development of the program model of electromechanical system Delphi 3-phase induction motor and research on this basis, the characteristics of the motor in start mode using the Soft Starter.

The methods used in the study: Based on the use of a mathematical model of electromechanical system 3-phase IM, and the implementation of its software MatLab (SimuLink) and Delphi. The mathematical model takes into account the studies of asymmetric modes AD.

The results: The obtained SimuLink - model, which takes into account most of the factors determining the state of the electromechanical system of the object. The results of computer experiments.

**Keywords:** 3-phase asynchronous motor, start mode, the soft starter.

## REFERENCES

1. Ivonin G.I. Issledovanie i razrabotka tiristorniyh reguljatorov napryazheniya v uchastkovyih elektricheskikh setyah shajta Kuzbassa : dis...kand. tehn. nauk: (05.173) Kuzbas. politehn. in-t, Kemerovo , 1971.
2. Kovach K.P., Rats I. Perehodnyie protsessyi v mashinah peremennogo toka. –M.-L., Gosenergoizdat, 1963. 744 s.
3. Kopyilov I. P. Matematicheskoe modelirovanie elektricheskikh mashin. - M.: Vyssh. shk., 2001. -327 s.
4. TerYohin V.B. Modelirovanie sistem elektroprivoda v Simulink (Matlab 7.0.1): uchebnoe posobie. – Tomsk: Izd-vo Tomskogo politehnicheskogo universiteta, 2010. – 292 s.
5. ALTISTART 46 Soft Start Controller User's Manual Instruction Bulletin VD0C32S301B June 1998 Raleigh, NC, USA
6. AuCom Electronics Limited 123 Wrights Road Christchurch, New Zealand. P.O.Box 21-245 Christchurch, New Zealand Phone: +64 3 338-8280 Fax: +64 3 338-8104 E-mail: [salessupport@aucom.co.nz](mailto:salessupport@aucom.co.nz) Internet: <http://www.aucom.co.nz>
7. Pustovetov M., Soltus K., Sinyavskiy I. Kompyuternoe modelirovanie asinhronnyih dvigateley i transformatorov. LAP Lambert Academic Publishing, 2013, -209 p.
8. Timoshkin V.V. Razrabotka i issledovanie nablyudateley uglovoy skorosti dlya asinhronnyih elek-troprivodov po sheme TRN-AD: dis...kand.tehn.nauk, Tomsk, NI TPU, 2014.
9. Altshuler M. Iz pod udara dvigatel vyvoditsya ustroystvom UPBVD / Altshuler M., Shamis M., Matison A. // Novosti elektrotehniki, 4(34) 2005 (<http://news.elteh.ru/arh/2005/34/46.php>)
10. Ansari, D. M. Deshpande. "Mathematical Model of Asynchronous Machine in MATLAB Simulink," *Int. J. Eng. Sci. Technol.*, vol. 2, pp. 1260–1267, 2010.
11. M. H. Moradi and P. G. Khorasani, "A new Matlab simulation of induction motor," *2008 in Australas. Univ. Power Eng. Conf.*, 2008.
12. H. Sarhan, "Energy Efficient Control of Three-Phase Induction Motor Drive," *Energy and Power Engineering*, vol. 03, no. 02. pp. 107–112, 2011.
13. Lakhya Jyoti Phukon, Neelanjana Baruah "A Generalized Matlab Simulink Model of a Three Phase Induction Motor" in International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology (*An ISO 3297: 2007 Certified Organization*) Vol. 4, Issue 5, May 2015.
14. Manish Kumar Singh, Madhur Chauhan, Amit Kumar Singhal, Nitin Saxena "A Methodology to Develop A Simulink Model of Three Phase Induction Motor" in International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, Volume 4, Special Issue 1, February 2014.
15. Stanislav Rusnok, Pavel Sobota, Martin Slivka, Pavel Svoboda "Assessment Transients During Starting of Induction Motor in Matlab Simulink And Verification by Measurement" in *Advanced Research in Scientific Areas 2012*, International Virtual Conference, Section Electronics, Electrical Systems, Electrical Engineering, 2012, pp.1672-1676.
16. Sifat Shah, A. Rashid, MKL Bhatti "Direct Quadrature (D-Q) Modeling of 3-Phase Induction Motor Using MatLab / Simulink" in *Canadian Journal on Electrical and Electronics Engineering* Vol. 3, No. 5, May 2012, pp.237-243.

17. Saffet Ayasun and Chika O. Nwankpa “Induction Motor Tests Using MATLAB / Simulink and Their Integration In to Undergraduate Electric Machinery Courses” in IEEE TRANSACTIONS ON EDUCATION, VOL. 48, NO.1, FEBRUARY 2005, pp.37-46.
18. Munira Batool, Aftab Ahmad “Mathematical Modeling And Speed Torque Analysis Of Three Phase Squirrel Cage Induction Motor Using Matlab Simulink For Electrical Machines Laboratory Mathematical Modeling And Speed Torque Analysis Of Three Phase Squirrel Cage Induction Motor Using Matlab Simulink For Electrical Machines Laboratory” in International Electrical Engineering Journal (IEEJ) Vol. 4 (2013) No.1, pp. 880-889.
19. Mr. Punit L. Ratnani, Dr. A. G. Thosar “Mathematical Modelling of an 3 Phase Induction Motor Using MATLAB/Simulink” in *International Journal Of Modern Engineering Research (IJMER)* Vol. 4 | Iss. 6| June. 2014, pp.62-67.
20. K. L.SHI, T. F.CHAN, Y.K.WONG and S. L. HO “Modelling And Simulation Of The Three-Phase Induction Motor Using Simulink” in Int. J. Elect. Engng. Educ., Vol. 36, pp. 163–172. Manchester U.P., 1999.
21. Mazouz Salahat, Omar Barbarawe, Mohammad AbuZalata, Shebel Asad “Modular Approach for Investigation of the Dynamic Behavior of Three-Phase Induction Machine at Variation Load” in *Engineering*, 2011, 3, 525-531 Published Online May 2011 (<http://www.scirp.org/journal/eng>).
22. Aleck W. Leedy “Simulink / MATLAB Dynamic Induction Motor Model for Use as A Teaching and Research Tool” in *International Journal of Soft Computing and Engineering (IJSCE)* ISSN: 2231-2307, Volume-3, Issue-4, September, 2013, pp.102-107
23. Eschin E.K. O vzaimnosti zadach upravleniya sostoyaniem asinhronnogo elektrodvigatelya // Vestn. KuzGTU, 2014. #2 S.107-110.
24. Odnokopyilov G.I. Matematicheskaya model asinhronnogo dvigatelya v nepolnofaznom rezhime rabotyi / Odnokopyilov G.I., Bragin A.D. // Izvestiya Tomskogo politehnicheskogo universiteta. Vyip. #4, tom 323. 2013. S.133-137.

*Received 15 July 2015*