

УДК 62-83

Н.О. ВОЛОШИН, В.Ф. БОРИСЕНКО (канд.техн.наук, доц.), **И.С. ПЕРЕВЕРЗЕВ,**
А.В. СОРОКИН, В.Н. ХОМЕНКО, А.А. МЕЛЬНИК
 Донецкий национальный технический университет
 slava.khomenko@gmail.com

КОЛЕБАНИЯ В ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ С ПРИВОДНЫМ СИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ, ОБУСЛОВЛЕННЫЕ РЕЖИМОМ РАБОТЫ И ПУЛЬСАЦИЯМИ НАПРЯЖЕНИЯ ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ

В статье представлены модели синхронной машины в фазных координатах, преобразователя частоты с инвертором напряжения и системы прямого управления моментом. Произведена оценка качества и характера колебаний координат синхронной машины в аварийных режимах, принимая во внимание влияние гармонического состава выходного напряжения инвертора на рассматриваемые координаты.

Проблема и ее связь с научными или практическими задачами. Широкое применение синхронных двигателей в различных отраслях промышленности для привода нерегулируемых механизмов и, в последнее время, для регулируемых приводов поставило ряд дополнительных задач по прогнозированию технического состояния электромеханических систем (ЭМС) и повышению уровня их эксплуатационной надежности. Питание синхронных двигателей осуществляется от сети или от преобразователей частоты. При осуществлении пусковых режимов, при работе с нагрузками, меняющимися в широких пределах, имеют место существенные колебания электромагнитного момента, которые требуют объяснения. Для их анализа нами применялись методы численного моделирования, проводились экспериментальные исследования на физической модели системы, обработка результатов выполнялась на основе гармонического анализа. То есть, в первую очередь внимание авторов обращено к детерминированным процессам в двигателе и питающем источнике.

Анализ исследований и публикаций. Вопросам статики и динамики синхронных двигателей (СД) посвящено большое количество исследований. Из них известно, что при набросе нагрузки на СД, превышающей перегрузочную способность двигателя, при исчезновении питания обмотки возбуждения СД возникают электромеханические колебания. В [1], [2] рассматриваются физические основы возникновения подобных процессов, приводятся аналитические зависимости, с помощью которых возможен расчет электромагнитного момента, но отсутствуют экспериментальные зависимости. Колебания электромагнитного момента, а также угловой скорости при пуске СД рассматриваются в [3], где приводятся только временные зависимости этих величин без должного их анализа. Современные способы мониторинга и диагностики вибраций анализируются в [4], [5] [6] и [7], но их можно использовать только для случая вибраций, возникающих по причине механических повреждений в системе.

Постановка задачи. На основании проведенного обзора выполненных работ нами была поставлена задача оценки качества и характера колебаний координат электропривода с СД, а также влияния гармоник питающего напряжения на исследуемую координату (угловая скорость, ток, момент).

Для решения поставленной задачи была создана модель СД в среде Simulink пакета Matlab; модель преобразователя частоты (ПЧ) с инвертором напряжения; синтезирован фильтр напряжения; разработана модель ЭМС с СД для случая системы прямого управления моментом (DTC).

Изложение материала и результаты. Для создания модели СД воспользуемся математическим описанием процессов, приведенным в [8]. Структурная схема модели приведена на рис. 1.

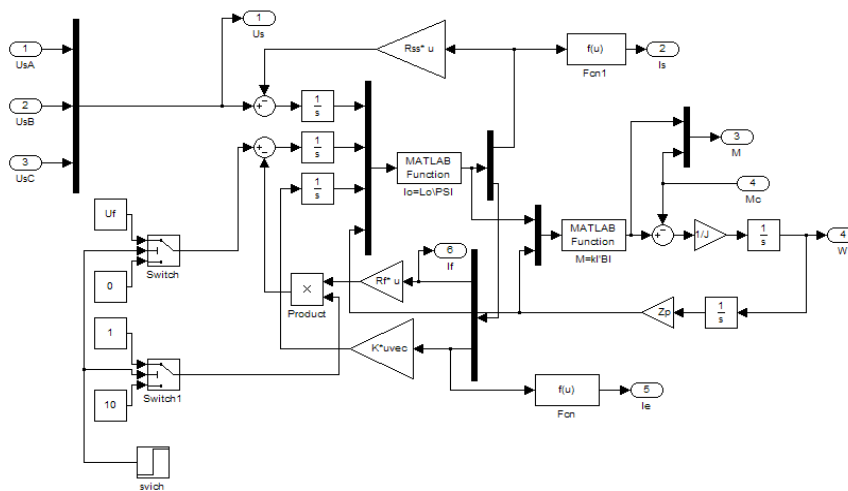


Рисунок 1 - Simulink-модель СД в фазных координатах

Предполагается, что питание СД будет осуществляться от сети переменного тока (первый случай) или от преобразователя частоты (второй случай). Для системы ПЧ-СД необходимо было синтезировать фильтр [9]. Simulink-модель ПЧ с инвертором напряжения представлена на рис. 2, а блок ПЧ с выходным фильтром – на рис. 3.

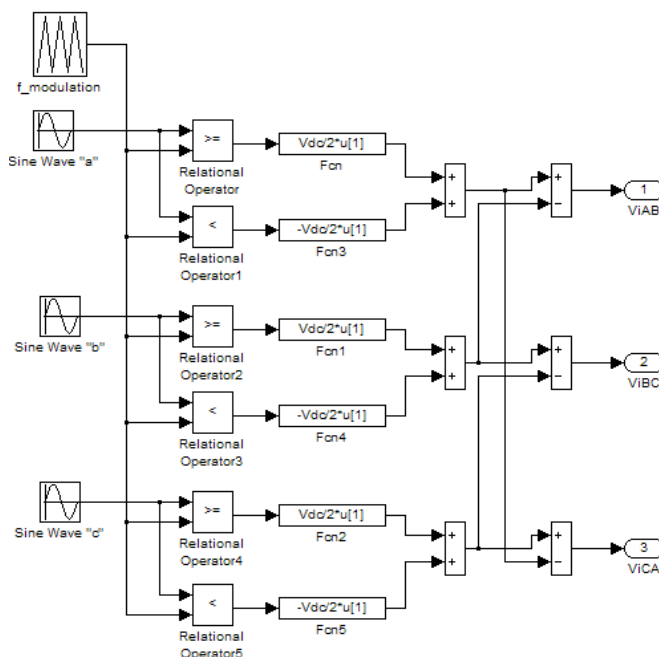


Рисунок 2 - Simulink-модель ПЧ с инвертором напряжения

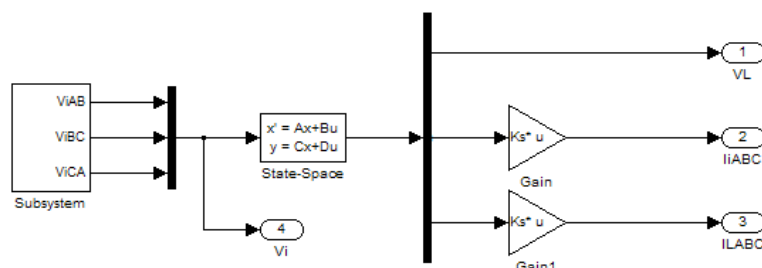


Рисунок 3 - Simulink-модель ПЧ с выходным фильтром

Одним из современных способов управления СД является применение метода прямого управления моментом, предложенного фирмой АВВ в 1980 г. Довольно подробное описание метода DTC приведено в [10]. Базируясь на материалах [10], нами была синтезирована модель системы ПЧ-СД, которая была реализована в Matlab, она приведена в виде укрупненных блоков на рис. 4.

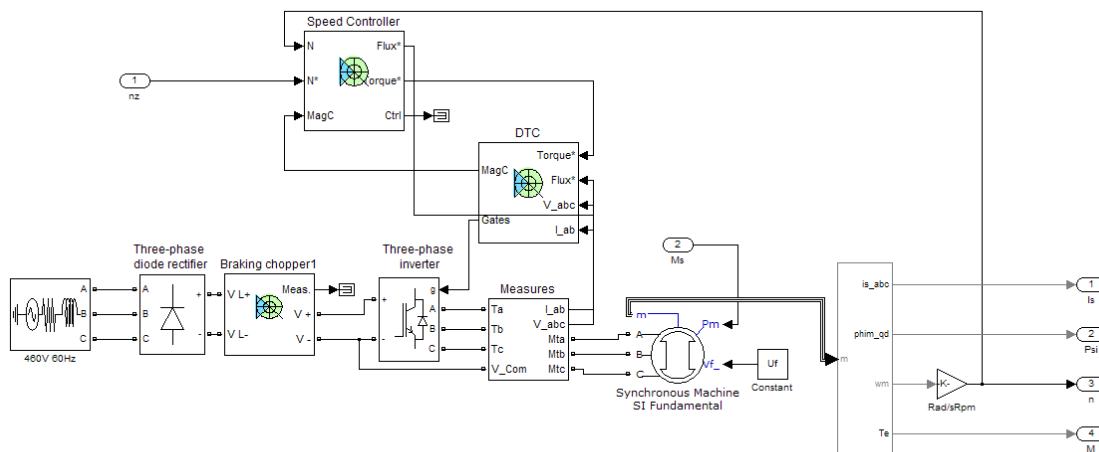
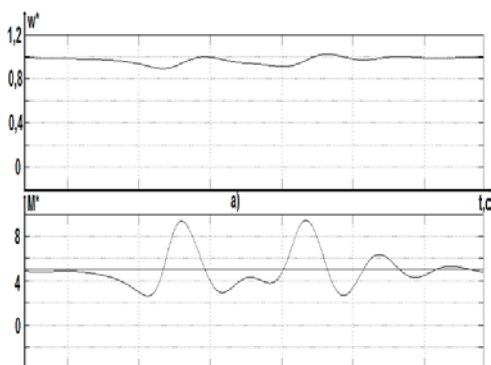


Рисунок 4 - Simulink-модель системы DTC с СД



Получены расчетные модели для исследования отмеченных выше характерных случаев возникновения колебательных режимов работы СД.

Наиболее простым случаем для моделирования является наброс нагрузки на работающий СД, причем, нами задается нагружение, превышающее перегрузочную способность двигателя. При моделировании в этом и последующих случаях были использованы параметры СД типа ЕСС-52-4У2.

Типовые расчетные зависимости координат привода приведены на рис. 5, а спектрограммы угловой скорости, момента и тока даны на рис. 6.

Оценим действующие значения гармонических

составляющих по отношению к постоянной составляющей на базе известных выражений:

$$A_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n A_i^2}{n}} \quad (1)$$

$$\Delta_A = \frac{A_d}{A_{ном}} \cdot 100\% \quad (2)$$

Результаты расчетов сведены в табл. 1.

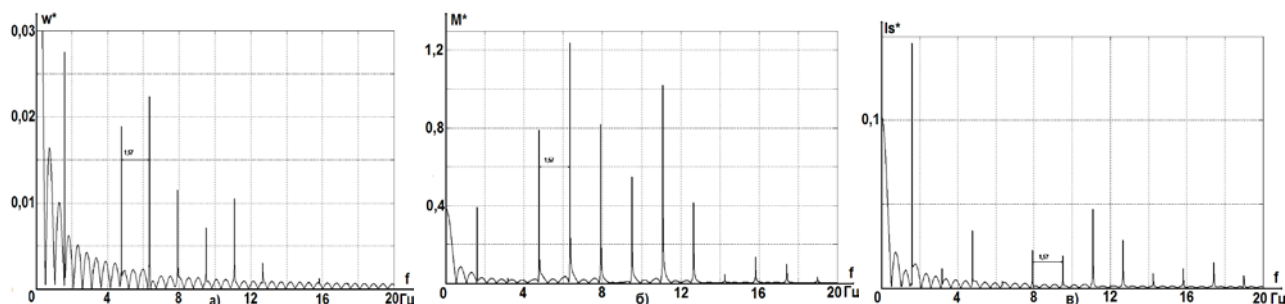


Рисунок 6 – Спектрограммы координат СД при набросе нагрузки
(а – угловая скорость, б – момент, в – ток статора)

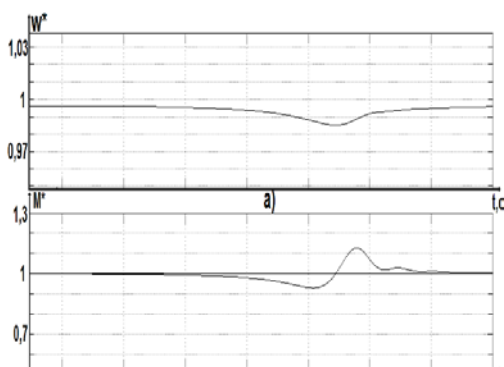


Таблица 1 – Действующие значения колебаний и их процентное соотношение к постоянной составляющей при набросе нагрузки

Скорость		
$w_{ном}$	w_d	Δ_w
0,931	0,015	1,61%
Момент		
$M_{ном}$	M_d	Δ_M
4,807	0,615	1,28%
Ток статора		
$I_{sном}$	I_{s_d}	Δ_{I_s}
1,268	0,0415	3,27%

Из осциллограмм видно, что все гармонические составляющие кратны частоте 1,57 Гц.

При моделировании случая исчезновения питающего напряжения на обмотке возбуждения СД было получено, что СД выпадает из синхронизма и переходит на работу в асинхронный режим. Расчетные кривые $w(t)$, $M(t)$, $I_s(t)$ даны на рис. 7, а спектрограммы – на рис. 8.

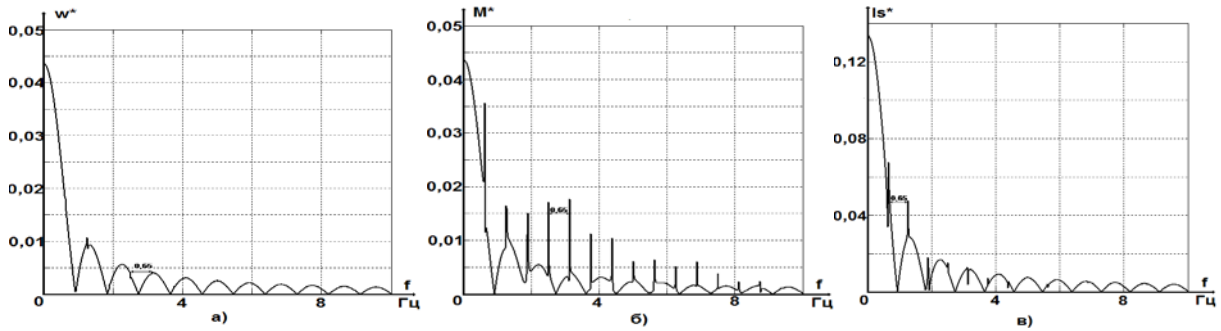


Рисунок 8 – Спектрограммы координат СД при исчезновении возбуждения

Из осциллограмм видно, что все гармонические составляющие кратны частоте 0,65 Гц. Результаты оценки действующих значений гармонических составляющих сведены в табл. 2.

Таблица 2 – Действующие значения колебаний и их процентное соотношение к постоянной составляющей при исчезновении возбуждения

Скорость			Момент			Ток статора		
$w_{ном}$	w_{δ}	Δ_w	$M_{ном}$	M_{δ}	Δ_M	$I_{sном}$	$I_{s\delta}$	Δ_{I_s}
0,972	0,071	0,73%	0,978	0,0143	1,46%	2,915	0,035	1,2%

В случае питания СД от ПЧ всегда имеют место колебания координат привода. При сопоставлении расчетных зависимостей $U_s(t)$, $M(t)$, $I_s(t)$ без фильтра на выходе ПЧ (рис. 9) и с фильтром (рис. 10) можно сделать вывод о заметном влиянии фильтра на характер изменения координат привода.

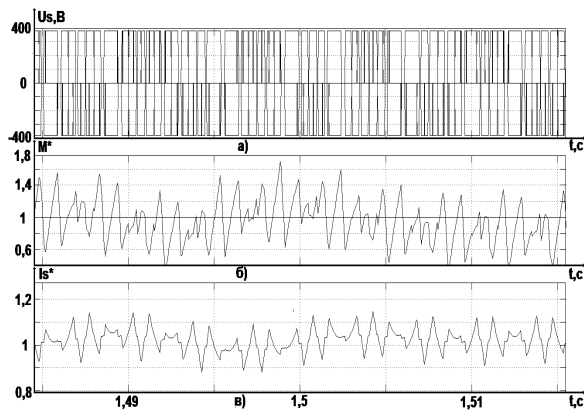


Рисунок 9 – Колебания при работе от ПЧ без выходного фильтра (а – напряжение статора, б – момент, в – ток статора)

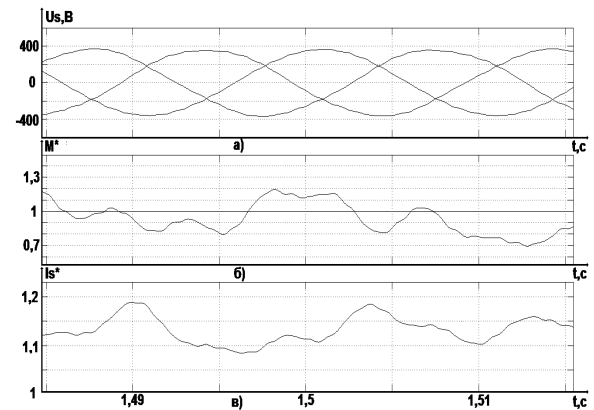


Рисунок 10 – Колебания при работе от ПЧ с выходным фильтром (а – напряжение статора, б – момент, в – ток статора)

Тем не менее, наличие фильтра не гарантирует полного устранения колебательности координат электропривода. Существенно лучший характер поведения системы наблюдается при управления приводом по схеме DTC. Пример работы ЭМС с прямым управлением моментом СД показан для случая номинальной нагрузки и угловой частоты вращения 500 об/мин (рис. 11).

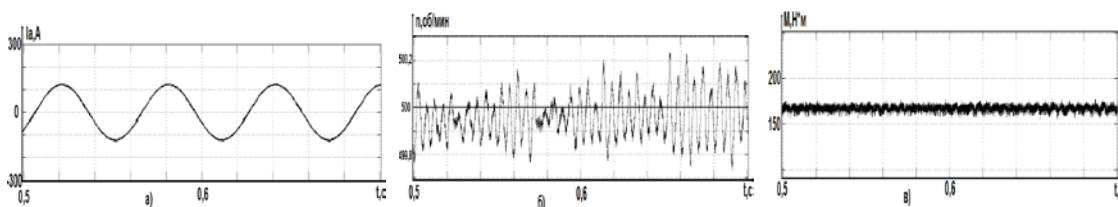


Рисунок 11 - Колебания при работе в системе DTC (а – ток фазы А статора, б – частота вращения, в – момент)

В этом случае фазный ток статора имеет синусоидальную форму, а амплитуда этих колебаний определяется величиной ограничения момента, частота вращения имеет колебания в районе $\pm 0,3$ об/мин, а момент двигателя – практически постоянная величина. Последнее достигается за счет соответствующих настроек регуляторов момента и потока.

Выводы и направления дальнейших исследований. Полученные результаты свидетельствуют о возможных колебательных режимах привода при определенных видах аварийных ситуаций, а также схем питания СД. Для предотвращения аварийных режимов необходимо разрабатывать специальные защиты, учитывающие работу преобразователя и темп нарастания электромагнитного момента, базовые характеристики возникающих колебаний приведены.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вольдек А.И. Электрические машины: учебник для студентов высш. учебн. заведений / А.И. Вольдек. – изд 2-е, перераб и доп. – Л.: «Энергия», 1974 – 840 с. с ил.
2. William R. Finley, Mark M. Hodowanec, Warren G. Holter. An Analytical Approach to Solving Motor Vibration Problems, Copyright material IEEE Paper No. PCIC-99-20.
3. Черный А.П. Экспериментальные исследования и анализ пусковых режимов синхронных двигателей шаровых рудоземельных мельниц / А.П. Черный, А.П. Калинов, Д.Г. Мамчур. – Кременчугский государственный университет им. Михаила Остроградского, 2002.
4. Вибрация и вибродиагностика судового электрооборудования / Александров А.А., Барков А.В., Баркова Н.А., Шафранский В.А. – Л.: Издательство Судостроение, 1986.
5. Барков А.В. Мониторинг и диагностика роторных машин по вибрации. Рекомендации для пользователей систем диагностики / А.В. Барков, Н.А. Баркова, А.Ю. Азовцев. – Санкт-Петербург: Издательство СПбГМТУ, 2000.
6. Эффективность внедрения стационарных систем вибродиагностики «КОМПАКС» на Омском НПЗ / Маслов Е.А., Шаталов А.А., Бронфин И.Б. и др. // Безопасность труда в промышленности. – 1997. – Вып. 1.
7. G. Lovat, P. Danière, T. Loyau. Le diagnostic vibro-acoustique, Cahiers de notes documentaires - Hygiène et sécurité du travail - N° 172, 3e trimestre 1998.
8. Иванов-Смоленский А.В. Электрические машины: учебник для вузов / А.В. Иванов-Смоленский. – М.: Энергия, 1980. – 928 с., ил.
9. Jin-Woo Jung. Sine- Δ PWM inverter – Ohio State University, 2005 – 26 p.
10. Ana M. Llor. Control directo de par a frecuencia de modulacion constante de motores sicronos de imanes permanentes. – La Universidad Carlos III de Madrid, 2003.

Надійшла до редколегії 26.10.2010

Рецензент: О.І. Толочко

М.О. ВОЛОШИН, В.П. БОРИСЕНКО, І.С. ПЕРЕВЕРЗЕВ,
А.В. СОРОКИН, В.М. ХОМЕНКО, А.А. МЕЛЬНИК
Донецький національний технічний університет

M. VOLOSHIN, V. BORYSENKO, I. PEREVERZEV,
A. SOROKIN, V. KHOMENKO, A. MELNYK
Donetsk National Technical University

Коливання в електромеханічній системі із приводним синхронним двигуном, що обумовлені режимом роботи та пульсаціями напруги джерела живлення. В статті представлено моделі синхронної машини у фазних координатах, перетворювача частоти з інвертором напруги та системи прямого керування моментом. Виконана оцінка якості та характеру коливань координат синхронної машини в аварійних режимах, приймаючи до уваги вплив гармонійного складу вихідної напруги інвертора на розглянуті координати.

Fluctuations in an Electromechanical System with Synchronous Motor Drive Caused by the Mode of Operation and Voltage Pulsations of the Power Source. The phase model of the synchronous machine, model of the frequency converter with the voltage inverter and model of DTC system are presented. The quality and character of fluctuations of coordinates of a synchronous machine in emergency operation are estimated taking into account the influence of the inverter output voltage harmonics spectra on the considered coordinates.