

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Часть 8. Асинхронный частотно-регулируемый электропривод. — Томск: Изд-во ТПУ, 2000. — 448 с.
2. Glazyrin A.S., Bolovin E.V. Time delay adjustment for the method of parameter identification of dynamic object // Aktualne problemy nowjczesnych nauk-2012: Materiały VIII Międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji. — Пшемисль, 7–15 czerwca 2012. — Przemysl: Nauka i studia, 2012. — Т. 45. — С. 79–81.
3. Копченова Н.В., Марон И.А. Вычислительная математика в примерах и задачах. — М.: Изд-во «Наука», 1972. — 367 с.
4. Кирьянов Д.В. Многоточечные аппроксимации производных // YouTube. 2011. URL: http://www.youtube.com/watch?v=oJ-EFFCfNeHU&list=PL1516D0C35386B45A&index=8&feature=plpp_video (дата обращения 05.10.2012).
5. Глазырин А.С., Боловин Е.В. Разработка и лабораторное опробование метода идентификации параметров электродвигателей на основе разностных схем // Известия Томского политехнического университета. — 2012. — Т. 321. — № 4. — С. 112–115

Поступила 15.10.2012 г.

УДК 621.313.333.2

ПРИНЦИП ПОСТРОЕНИЯ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АСИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ

Р.Ю. Ткачук*, А.С. Глазырин

Томский политехнический университет
*ОАО «НПО «Карат», г. Санкт-Петербург
E-mail: Tkachuk.R.U@npo-karat.ru

Предложен метод построения отказоустойчивой системы управления асинхронным электроприводом. Рассмотрены способы адаптации системы управления к переходным процессам, возникающим в электроприводе при смене метода управления. Исследованы переходные процессы в разработанной системе электропривода посредством имитационного моделирования.

Ключевые слова:

Асинхронный электропривод, устойчивость к неисправности, отказоустойчивая система управления.

Key words:

Induction motor drive, fault tolerance, fault-tolerant control system.

Введение

В последнее время большое внимание привлекают отказоустойчивые системы управления (*fault-tolerant control* — *FTC*) электроприводами, способные выявлять зарождающиеся неисправности датчиков и исполнительных механизмов и оперативно адаптировать закон управления таким образом, чтобы сохранить заданные характеристики (качество производства, безопасность и т. д.). Для достижения этой цели система управления реорганизуется таким образом, чтобы использовать наилучший метод управления в соответствии с имеющимися сигналами обратных связей [1].

Одним из способов повышения надежности электропривода с помощью *FTC* является функциональное резервирование, при котором функция регулирования скорости асинхронного электродвигателя может выполняться с использованием замкнутой системы управления с датчиками, замкнутой бездатчиковой системы и разомкнутой системы.

Функциональная схема электропривода переменного тока с отказоустойчивой системой управления

Функциональная схема асинхронного электропривода с отказоустойчивой системой управления приведена на рис. 1. На рис. 1 приняты следующие

обозначения: ПЧ — преобразователь частоты; М — асинхронный электродвигатель; ДС — датчик скорости; ДН — датчик напряжения; ДТ — датчик тока; И1, И2, И3 — системы идентификации; ПКП, ОКП — прямой и обратный координатные преобразователи.

Система управления реорганизуется таким образом, чтобы использовать наилучший метод управления в соответствии с имеющимися сигналами обратных связей. В случае отказа датчика скорости, он заменяется наблюдателем, который преобразует сигналы напряжения и тока статора в необходимую информацию о потокосцеплении и скорости двигателя. В случае отказа датчиков тока и датчика скорости, применяется разомкнутая система со скалярным управлением, чтобы гарантировать работоспособность электропривода.

Система *FTC* включает три модуля идентификации необходимых координат, и две системы управления — векторную и скалярную, переключение между которыми осуществляется в соответствии с табл. 1.

Таким образом, система *FTC* поддерживает электропривод в работоспособном состоянии при отказах датчиков тока и скорости. При таком подходе надежность системы электропривода значительно возрастает.

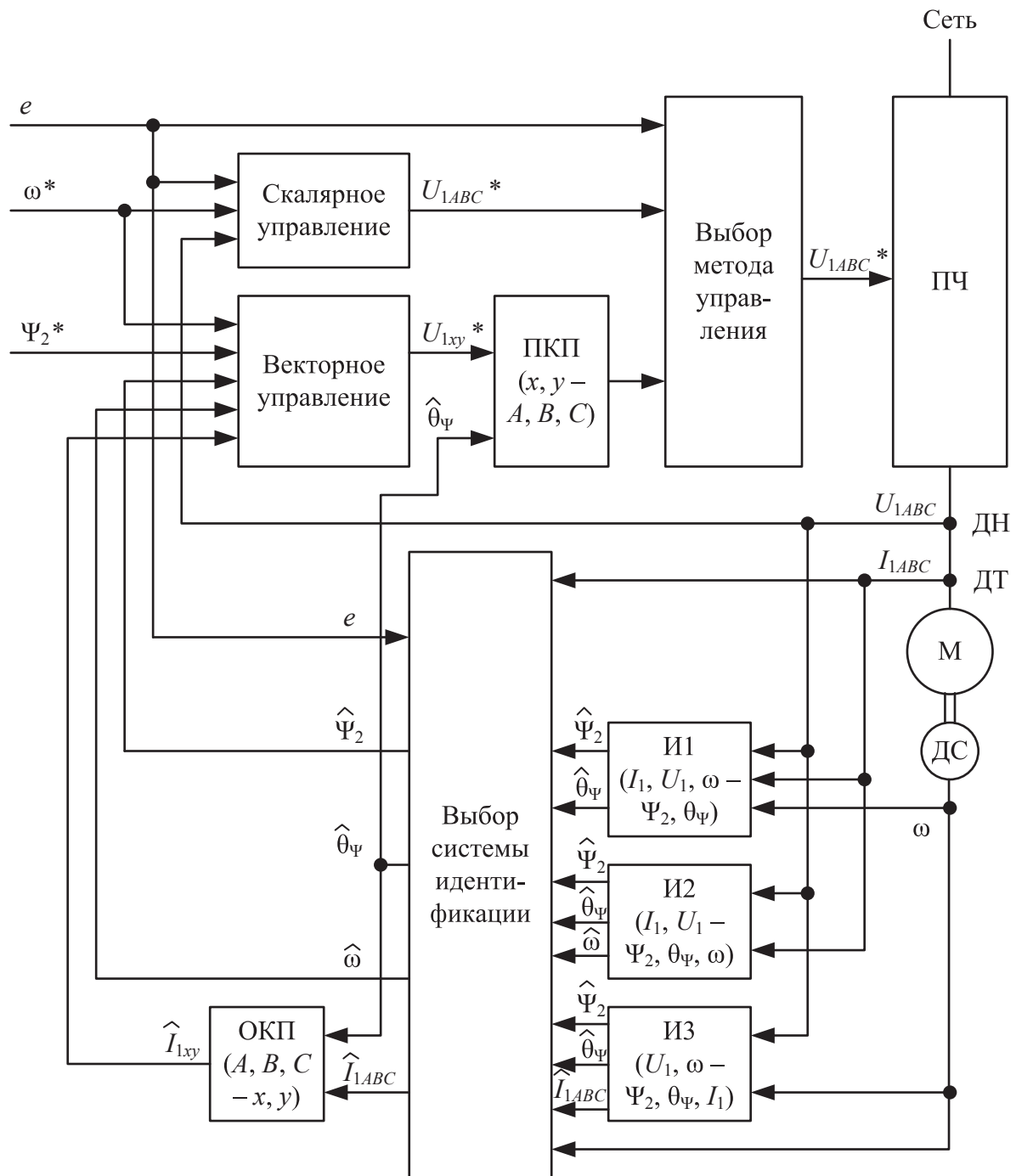


Рис. 1. Функциональная схема электропривода переменного тока с отказоустойчивой системой управления

Таблица 1. Выбор систем идентификации и управления

Логический сигнал неисправности датчика тока, e ,	Логический сигнал неисправности дат- чика скорости, e_ω	Система идентифи- фикации	Система управле- ния
0	0	№ 1	Векторная
0	1	№ 2	Векторная
1	0	№ 3	Векторная
1	1	–	Скалярная

Адаптация системы управления к переходным процессам, возникающим в электроприводе при смене метода управления

В электроприводе с *FTC* (рис. 1) при переходе с векторной системы управления на скалярную возникают ударные моменты, превышающие номинальный момент M_n более чем в 2 раза (рис. 2, 3), что может привести к повреждению электропривода. Броски момента являются следствием мгновенного изменения сигналов задания напряжения ста-

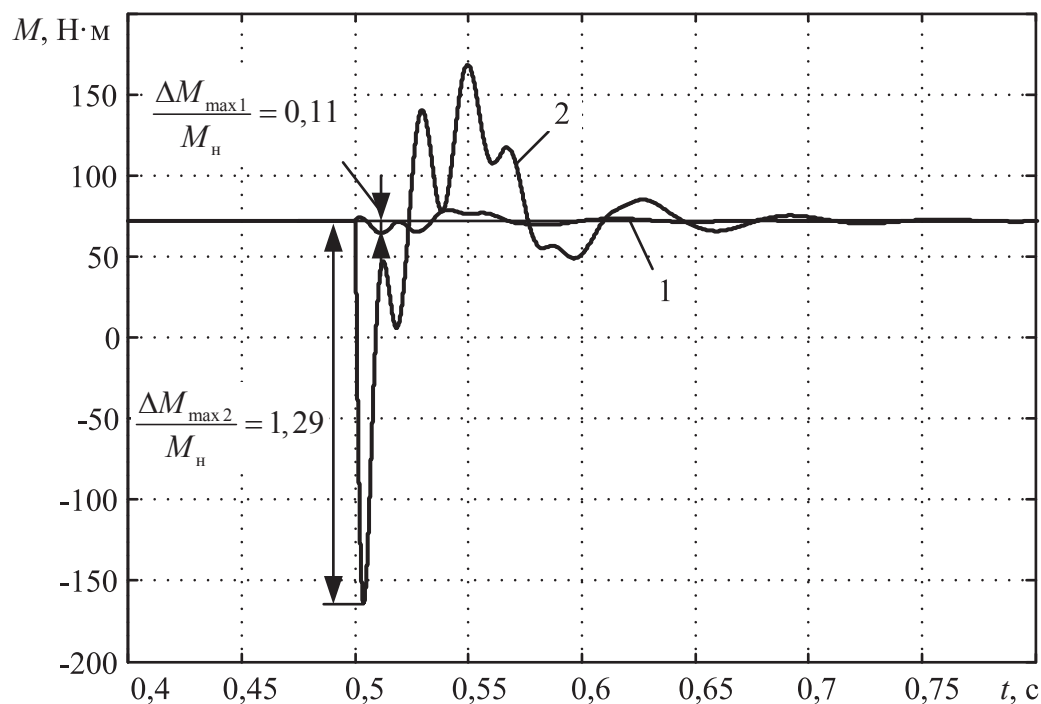


Рис. 2. Графики переходных процессов электромагнитного момента АД в электроприводах с адаптированной (1) и обычной (2) системой скалярного управления при переходе с векторной системы управления на скалярную ($\omega^* = \omega_n$, $M_c = M_n$)

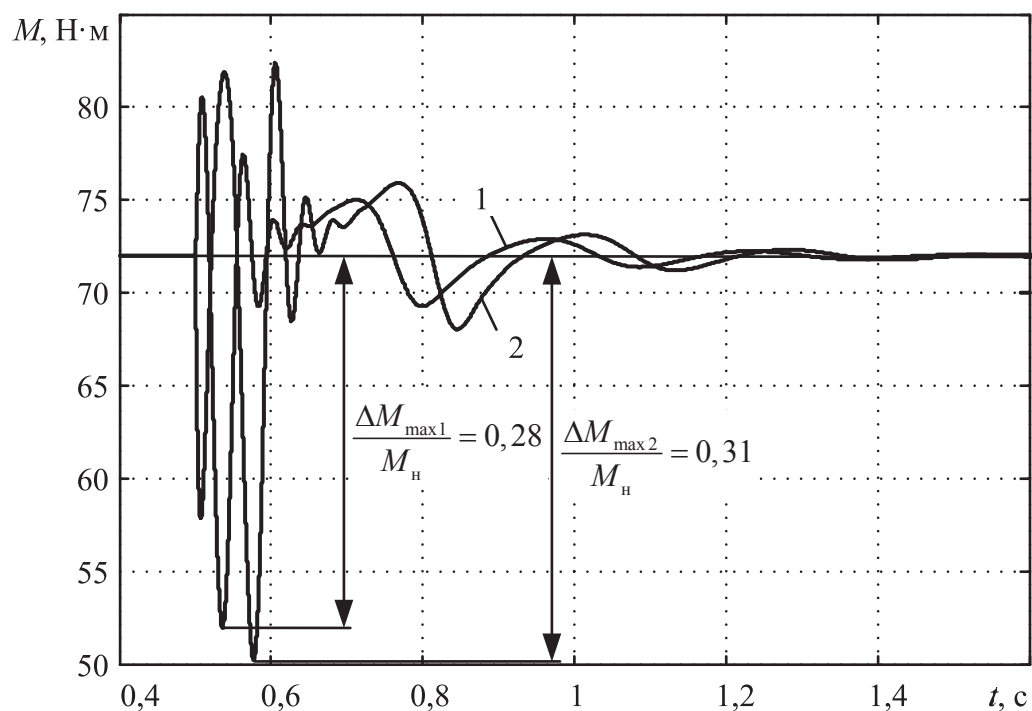


Рис. 3. Графики переходных процессов электромагнитного момента АД в электроприводах с адаптированной (1) и обычной (2) системой скалярного управления при переходе с векторной системы управления на скалярную ($\omega^* = 0,1 \cdot \omega_n$, $M_c = M_n$)

тора. Для их уменьшения необходимо внести изменения в скалярную систему управления, позволяющие принудительно задать вектор напряжений в момент переключения систем управления и ограничить скорость изменения амплитуды напряжения. Адаптированная система скалярного управления представлена на рис. 4, 5.

При появлении сигналов неисправности датчиков тока e_i и скорости e_ω в ЯП записывается угол поворота вектора напряжения статора θ_0 на предыдущем шаге дискретизации. Одновременно с этим начинается расчет угла вектора напряжения в соответствии с частотой, заданной скалярной системой управления, при этом в качестве начально-

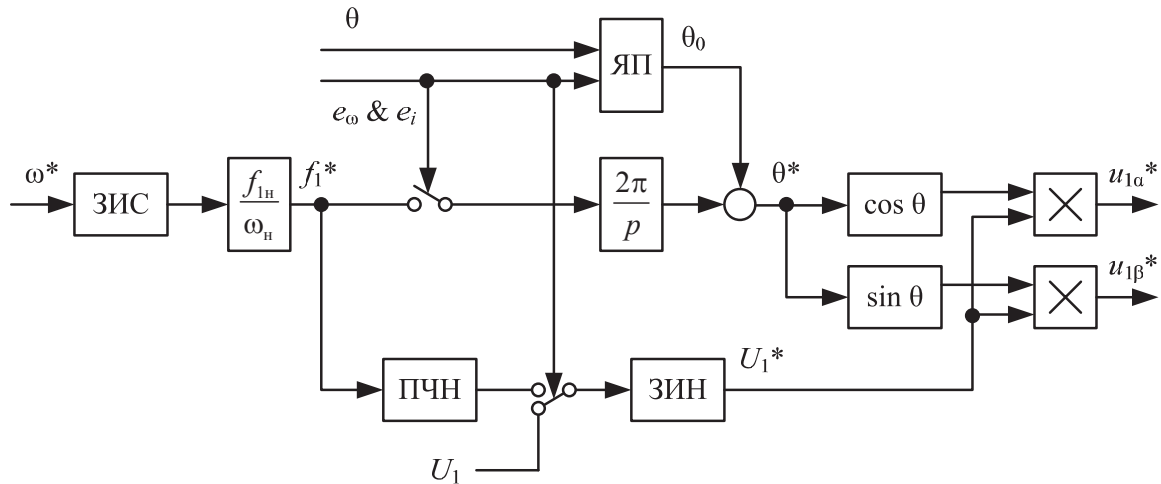


Рис. 4. Функциональная схема системы скалярного управления, адаптированной к переходным процессам, возникающим в электроприводе при смене метода управления (ЯП – ячейка памяти, ЗИС – задатчик интенсивности скорости, ПЧН – преобразователь «частота-напряжение», ЗИН – задатчик интенсивности напряжения)

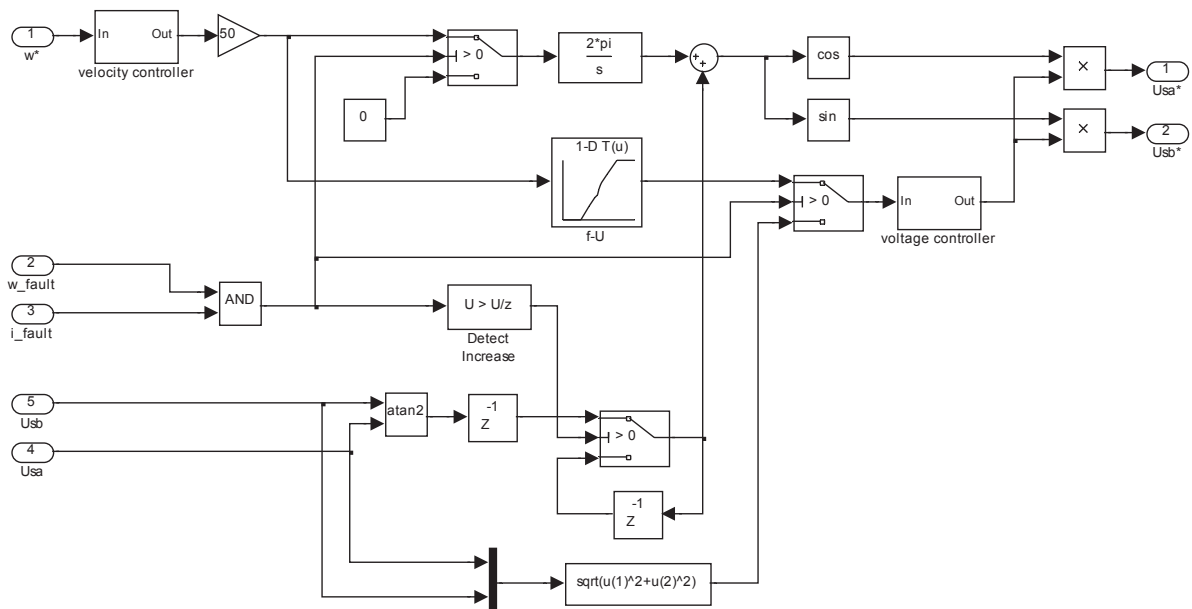


Рис. 5. Имитационная модель системы скалярного управления, адаптированной к переходным процессам, возникающим в электроприводе при смене метода управления

го значения угла принимается записанное в ЯП значение θ_0 . Также производится переключение сигнала задания амплитуды напряжения статора с текущей амплитуды напряжения на заданную скалярной системой управления. Благодаря линейному ЗИН переключение сигнала задания амплитуды напряжения статора происходит плавно. Постоянную времени ЗИН приняли

$$T_{\text{ЗИН}} = \frac{n_{\text{с max}}}{n_{\text{н max}}} T_{\text{ЗИС}} = T_{\text{ЗИС}} = 0,17 \text{ с},$$

так как при $T_{\text{ЗИН}} > T_{\text{ЗИС}}$ скорость изменения U_1 при пуске и изменении задания на скорость будет меньше, чем заданная ЗИС, при $T_{\text{ЗИН}} < T_{\text{ЗИС}}$ возрастет амплитуда колебаний момента.

Амплитуду колебаний момента при смене метода управления можно регулировать, изменяя $T_{\text{ЗИН}}$.

На рис. 6 приведена зависимость относительной просадки по моменту $\frac{\Delta M_{\text{max}}}{M_{\text{н}}}$ от $T_{\text{ЗИН}}$, полученная с помощью имитационного моделирования переходных процессов при переходе с векторной системы управления на скалярную при работе электропривода на номинальной скорости $\omega_{\text{н}}$.

Реакция системы диагностики на неисправность не является мгновенной. Для уменьшения влияния задержки выдачи сигнала неисправности на динамические характеристики электропривода были введены в цепи обратных связей дополнительные сглаживающие фильтры.

Найдены постоянные времени дополнительных фильтров в цепях обратных связей. В худшем случае

временная зависимость сигнала обратной связи при повреждении датчика описывается уравнением:

$$x(t) = x_{\max} e^{-\frac{t}{T_{\text{ф.ос}}}},$$

где $x_{\max}$ — максимальное значение сигнала; $T_{\text{ф.ос}}$ — постоянная времени фильтра в цепи обратной связи.

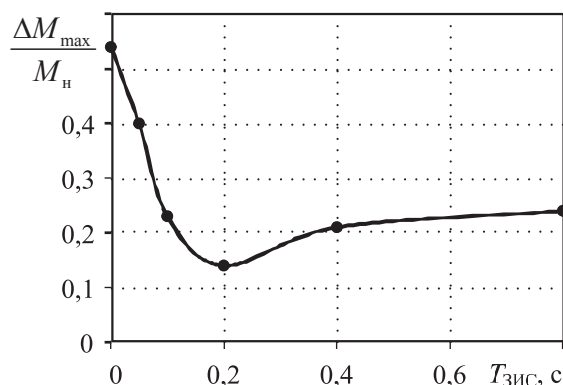


Рис. 6. Зависимость относительной просадки по моменту $\frac{\Delta M_{\max}}{M_n}$ от величины постоянной времени задатчика интенсивности напряжения $T_{\text{ЗИС}}$.

График зависимости $x(t)$ приведен на рис. 7. Отсюда найдена $T_{\text{ф.ос}}$:

$$T_{\text{ф.ос}} \geq -\frac{t_{\text{рн}}}{\ln(1 - \delta_{\text{доп}})},$$

где $t_{\text{рн}}$ — время реакции на неисправность;

$\delta_{\text{доп}} = \frac{\Delta x}{x_{\max}}$ — допустимое относительное отклонение сигнала.

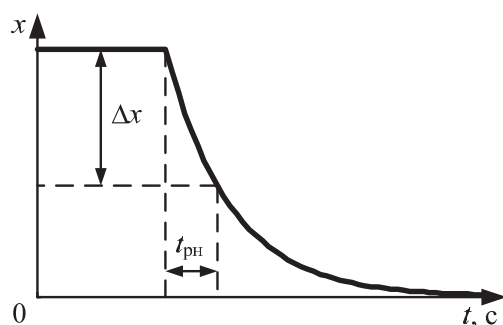


Рис. 7. Временная зависимость сигнала обратной связи при повреждении датчика

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Diallo D., Benbouzid M.E.H., Makouf A. A fault-tolerant control architecture for induction motor drives in automotive applications // IEEE Transactions on Vehicular Technology. — 2004. — № 6. — P. 1847–1855.
2. Интеллектуальный токовый датчик для управления драйвером электродвигателей // CHIPINFO. 2012. URL: <http://www.chi->

Суммарное время реакции на неисправность интеллектуального токового датчика для управления драйвером электродвигателей *HCPL-788J* компании Hewlett Packard составляет 3,4 мкс [2]. Было принято $t_{\text{рн}} = 10^{-5}$ с. Имитационное моделирование показало, что для улучшения динамических характеристик электропривода достаточно $\delta_{\text{доп}} = 0,2$. Тогда:

$$T_{\text{ф.ос}} = -\frac{10^{-5}}{\ln(1 - 0,2)} = 4,48 \cdot 10^{-5} \text{ с.}$$

На рис. 8 приведены графики переходных процессов скорости в бездатчиковом асинхронном электроприводе при переключении с системы идентификации № 1 на систему идентификации № 3 при работе электропривода на номинальной скорости ω_n . Для исследования переходных процессов при внезапном отказе датчика скорости по цепи обратной связи подавался сигнал, равный 0.

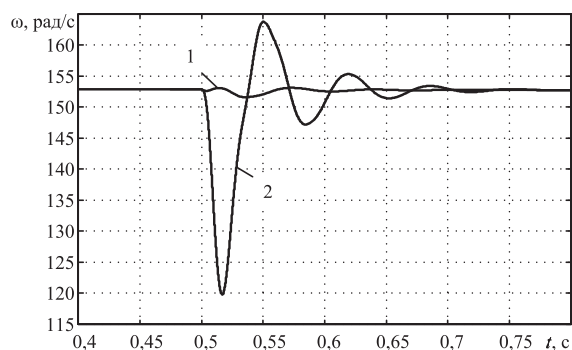


Рис. 8. Графики переходных процессов скорости в бездатчиковом асинхронном электроприводе при переключении с системы идентификации № 1 на систему идентификации № 3 с имитацией повреждения датчика скорости с фильтром (1) и без фильтра (2) в цепи обратной связи

Инерционности в цепях обратных связей необходимо учитывать при оптимизации контуров регулирования векторной системы управления. Их введение приведет к незначительному уменьшению быстродействия электропривода.

Выводы

Разработана отказоустойчивая система управления асинхронным электроприводом, гарантирующая работоспособность электропривода при отказах датчиков токов статора и скорости двигателя.

Применение функционального резервирования датчиков позволило повысить надежности электропривода без увеличения его себестоимости.

pinfo.ru/literature/chipnews/199901/34.html (дата обращения: 19.11.2012).

3. Никифоров В.О., Ушаков А.В. Управление в условиях неопределенности: чувствительность, адаптация, робастность. — СПб.: СПб ГИТМО (ТУ), 2002. — 232 с.

Поступила 20.11.2012 г.