

РАЗДЕЛ «ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА. ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА»

УДК 621.313.3

СЪЯНОВ А.М., д.т.н., профессор
КУЛИК М.В., студент

Днепродзержинский государственный технический университет

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Представлена математична модель асинхронного двигуна і її реалізація в програмі Simulink. Створено стенд для експериментального дослідження динамічних режимів роботи асинхронного двигуна. У блоці датчиків стенда використовуються сучасні прилади й програми, призначені для цифрової обробки експериментальних даних.

Представлена математическая модель и ее реализация в программе Simulink. Создан стенд для экспериментального исследования динамических режимов работы асинхронного двигателя. В блоке датчиков стенда используются современные приборы и программы, предназначенные для цифровой обработки экспериментальных данных.

In given article the mathematical model and its realization in program Simulink is submitted. The stand for an experimental research of dynamic operating modes of the asynchronous engine is created. In the block of gauges of the stand it is used modern devices and the programs intended for digital processing of experimental data.

Введение. Динамические режимы работы асинхронных двигателей (АД) являются наиболее опасными. Так при пуске двигатель проходит резонансные частоты, пусковой ток может достигать семикратного значения, пуск может быть затянут во времени за счет падения напряжения в сети. Эти и другие причины вызывают значительные электродинамические усилия между элементами обмоток статора и ротора, неравномерный их нагрев, взаимное перемещение, трение, повреждение изоляции и выход двигателя из строя.

Разработке современных методов математического моделирования и экспериментальных исследований динамических режимов работы в настоящее время уделяется значительное внимание [1,2,3]. Это связано с появлением измерительных приборов с аналого-цифровым преобразованием и запоминающими устройствами, возможностью подключения приборов к компьютеру и использованию специализированных программ.

Постановка задачи. Математическое моделирование переходных процессов и создание экспериментального стенда для исследования динамических режимов работы АД.

Результаты работы. В общем виде АД описывается системой дифференциальных уравнений, которая имеет вид:

$$\begin{aligned}
 u_1 &= r_1 i_1 + \frac{d \sum_{n=1}^i \Psi_{1n}(\gamma)}{dt}; & u_2 &= r_2 i_2 + \frac{d \sum_{n=1}^i \Psi_{2n}(\gamma)}{dt}; \\
 u_3 &= r_3 i_3 + \frac{d \sum_{n=1}^i \Psi_{3n}(\gamma)}{dt}; & u_k &= r_k i_k + \frac{d \sum_{n=1}^i \Psi_{kn}(\gamma)}{dt},
 \end{aligned}$$

где $u_1, u_2 \dots u_k$ – мгновенные значения линейных напряжений;
 r – активные сопротивления фаз;
 Ψ – полные потокосцепления фаз.

Система уравнений дополняется уравнениями движения и угла поворота ротора

$$\frac{d\omega_2}{dt} = (m - m_c) / J_\Sigma; \quad \frac{d\gamma}{dt} = \omega_2.$$

В частном случае для шестиконтурной модели АД система уравнений примет вид [4]

$$[u] = [R][i] + \frac{d[L(\gamma)][i]}{dt}, \quad (1)$$

где $[u] = [u_A \ u_B \ u_C \ 0 \ 0 \ 0]^T$; $[R] = \text{diag}[r_A \ r_B \ r_C \ r_X \ r_Y \ r_Z]$;
 $[i] = [i_A \ i_B \ i_C \ i_X \ i_Y \ i_Z]^T$; $[L(\gamma)] = [[L_1] \ [L_2]]$;

$$[L_1] = \begin{bmatrix} L_A & M_{AB} \cos(2\pi/3) & M_{AC} \cos(2\pi/3) \\ M_{BA} \cos(2\pi/3) & L_B & M_{BC} \cos(2\pi/3) \\ M_{CA} \cos(2\pi/3) & M_{CB} \cos(2\pi/3) & L_C \\ M_{XA} \cos(p\gamma) & M_{XB} \cos(p\gamma - 2\pi/3) & M_{XC} \cos(p\gamma + 2\pi/3) \\ M_{YA} \cos(p\gamma + 2\pi/3) & M_{YB} \cos(p\gamma) & M_{YC} \cos(p\gamma - 2\pi/3) \\ M_{ZA} \cos(p\gamma - 2\pi/3) & M_{ZB} \cos(p\gamma + 2\pi/3) & M_{ZC} \cos(p\gamma) \end{bmatrix};$$

$$[L_2] = \begin{bmatrix} M_{XA} \cos(p\gamma) & M_{XB} \cos(p\gamma - 2\pi/3) & M_{XC} \cos(p\gamma + 2\pi/3) \\ M_{YA} \cos(p\gamma + 2\pi/3) & M_{YB} \cos(p\gamma) & M_{YC} \cos(p\gamma - 2\pi/3) \\ M_{ZA} \cos(p\gamma - 2\pi/3) & M_{ZB} \cos(p\gamma + 2\pi/3) & M_{ZC} \cos(p\gamma) \\ L_X & M_{XY} \cos(2\pi/3) & M_{XZ} \cos(2\pi/3) \\ M_{YX} \cos(2\pi/3) & L_Y & M_{YZ} \cos(2\pi/3) \\ M_{ZX} \cos(2\pi/3) & M_{ZY} \cos(2\pi/3) & L_Z \end{bmatrix};$$

где u_A, u_B и u_C – мгновенные значения фазных напряжений;
 r – активные сопротивления фаз;
 L – собственные индуктивности фаз обмоток;
 M – взаимные индуктивности между фазами обмоток;
 γ – геометрический угол поворота ротора относительно осей фаз обмоток.

Индексы в (1) означают: А, В и С – фазы обмотки статора; X, Y и Z – фазы обмотки ротора.

В системе дифференциальных уравнений (1) некоторые собственные и взаимные индуктивности зависят от угла поворота ротора и скольжения, которые в свою очередь зависят от времени. Приняв, что электромагнитные параметры постоянны и не зависят от угла поворота ротора, то есть являются взаимно независимыми и, выполнив дифференцирование последнего члена выражения (1), получим

$$[u] = [R][i] + [L(\gamma)] \frac{d[i]}{dt} + \frac{\partial [L(\gamma)]}{\partial \gamma} \omega_2 p [i].$$

Для выполнения моделирования переходных процессов в АД, при питании от сети, в программе Simulink была создана модель, в основу которой положена модель АД, написанная на алгоритмическом языке FORTRAN и представленная S-Function (рис.1). Такое представление АД дает выигрыш во времени счета и позволяет использовать возможности Simulink (графическая визуализация результатов моделирования,

использование стандартных программ MatLab). В модели использовались электромагнитные параметры АД типа 4AA50A4У3.

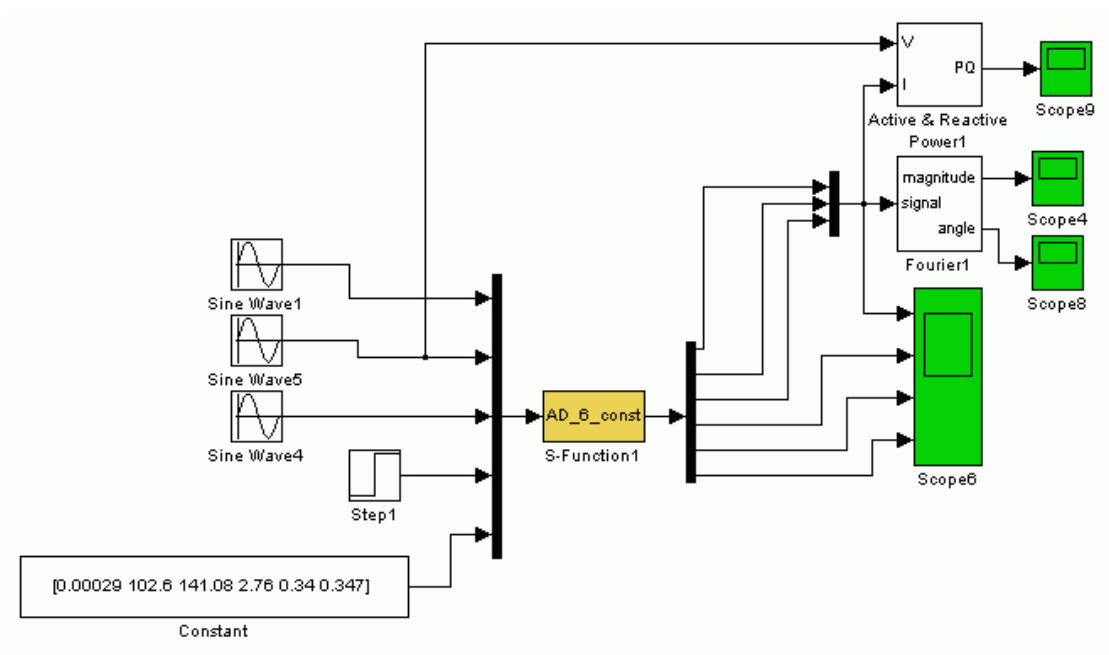


Рисунок 1 – Модель АД

На рис.2. показаны результаты моделирования режима пуска АД без нагрузки при питании от сети.

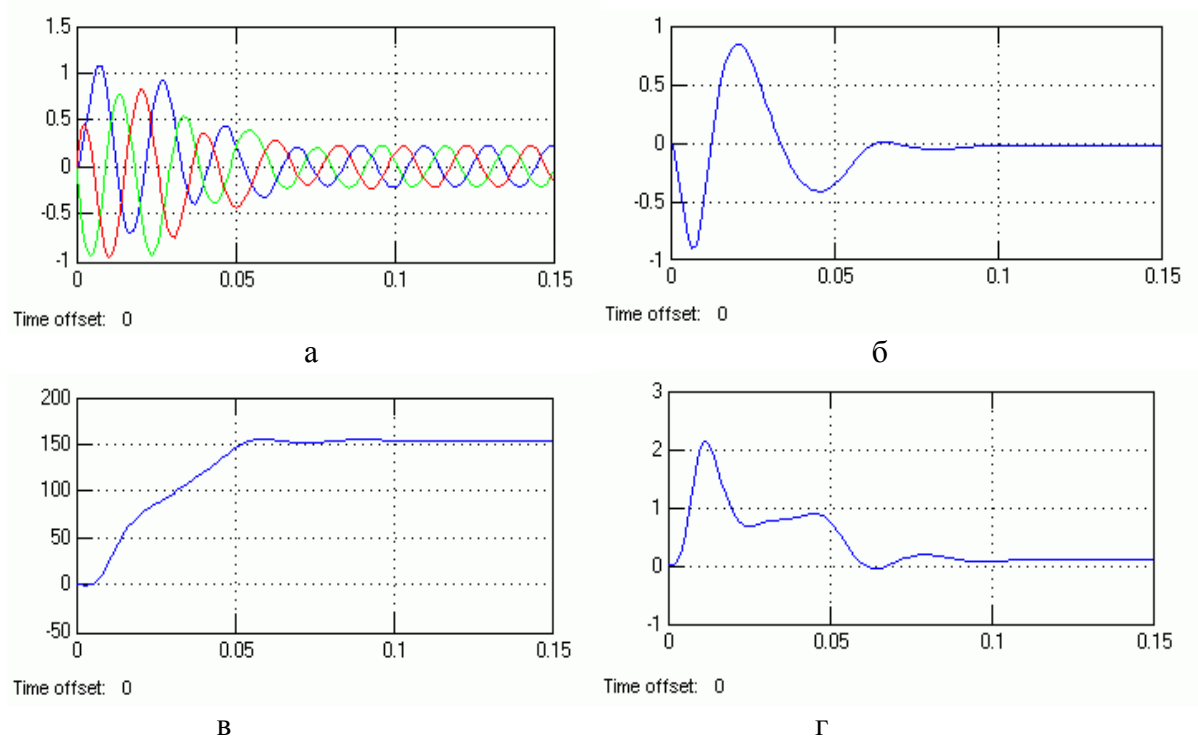


Рисунок 2 – Результаты моделирования пуска АД при питании от сети: ток статора (а), ток ротора (б), угловая скорость (в), момент на валу двигателя (г)

В результате моделирования установлено, что пуск двигателя происходит за три периода тока и по времени составляет 0,75 с, а максимальная его величина составляет 1А.

Для проверки адекватности результатов моделирования экспериментальным данным разработан экспериментальный стенд, основанный на осциллографической приставке PCS500 и компьютерной программе MatLab. Структурная схема стенда показана на рис.3.

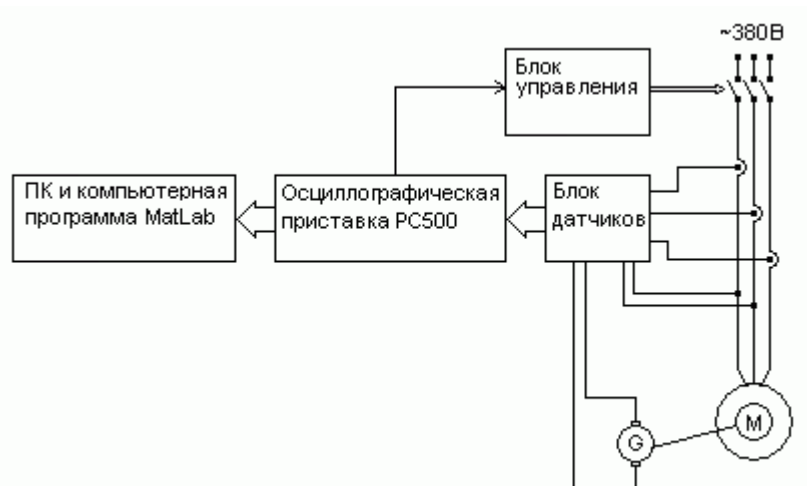


Рисунок 3 – Структурная схема стенда

Блок датчиков представляет собой законченный узел, обеспечивающий преобразования входных данных (тока, напряжения и скорости) в формат для обработки на ПК. Данный узел стенда состоит из платы датчиков, где размещены регистрирующие элементы и предварительные усилители сигналов; платы формирователя импульсов, запускающих осциллографическую приставку во время пуска двигателя, и платы стабилизированного источника питания блока датчиков. Плата датчиков представляет собой оптоэлектронные преобразователи, одновременно развязывающие гальванически входные и выходные цепи и служащие для усиления сигнала.

Формирователь импульсов запуска обеспечивает стабильный запуск осциллографической приставки (рис.4). Формируемые импульсы состоят из импульсов запуска и конца шкалы (рис.5), после чего суммируются и подаются на синхронизирующий вход осциллографической приставки.

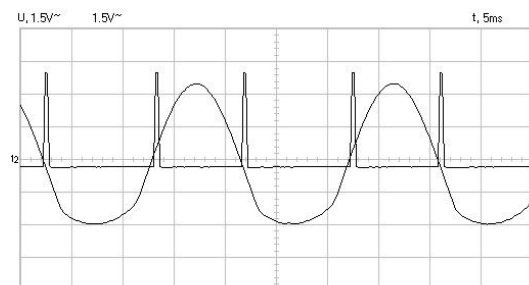


Рисунок 4 – Импульсы запуска с выхода одновибратора

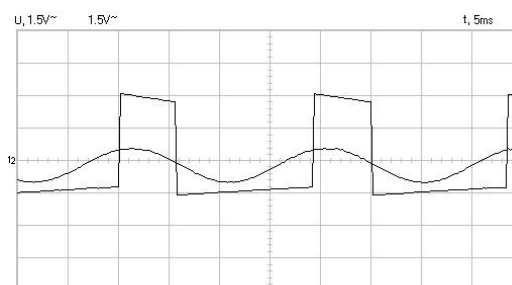


Рисунок 5 – Импульсы запуска с выхода счётчика

Данная конструкция дает возможность быстро и эффективно выполнять осциллографирование различных режимов работы и разной номинальной мощности АД.

Записанные осциллограммы пуска АД 4AA50A4У3 от трехфазной сети при помощи блока оптоэлектронных датчиков приведены на рис.6, а, б. Полученные результаты сохраняются в памяти компьютера и могут быть использованы для дальнейшего анализа в программе MatLab. Из результатов исследования установлено, что оптронные пары правильно передают форму тока и напряжения сети, в кривой скорости вращения присутствуют колебания, вызванные щеточным узлом тахогенератора.

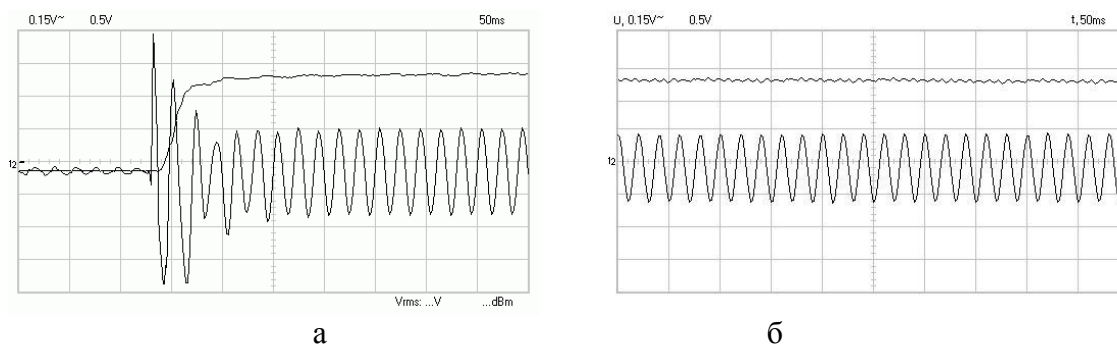


Рисунок 6 – Экспериментальные кривые изменения тока, скорости вращения (а) и приложенного напряжения сети (б) в режиме пуска АД

Выполненный сравнительный анализ расчетных зависимостей с экспериментальными показал, что значения экспериментального и расчетного тока в момент пуска практически совпадают. Наибольшее расхождение наблюдается в области $\omega \leq 0,4$ до 15%.

Выводы.

1. Разработанная математическая модель и реализованная в программе Simulink позволяет осуществлять смешанное программирование, что дает возможность использовать различные модели АД как с постоянными электромагнитными параметрами, так и нелинейными, определенными по разным схемам замещения.

2. Созданный экспериментальный стенд, основан на использовании оптоэлектронных приборов в качестве датчиков, что позволяет получить форму сигнала, адекватную току, напряжению в цепи двигателя. Схема запуска осциллографической приставки PCS500 позволила исследовать квазистатические и динамические режимы работы АД. Используемая схема запуска отстроена от возможных помех в сети, время пуска асинхронного двигателя и запуска схемы синхронизировано.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кахарчук В.В., Білінська М.Й. Мікропроцесорна система контролю параметрів обертального руху на основі оптико-електронного вимірювального перетворювача // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – 2004. – №2. – С.42-44.
2. Мельник В.Г., Василенко О.Д. Про вибір принципів побудови мультимплексних контрольно – вимірювальних систем // Технічна електродинаміка. – 2002. – Ч2. – С.108-112.
3. Гладырь А.И., Родькин Д.И., Барвинок Д.В. и др. Система диагностики и послеремонтной паспортизации электрических машин // Проблемы создания новых машин и технологий. Сб. научных трудов КГПУ: Выпуск 1/2001(1). – С.234-241.
4. Съянов А.М., Кулик М.В. Математические модели асинхронного двигателя для совместного моделирования с преобразователем энергии // Проблемы автоматизированного электропривода: Сб. научных трудов ДГТУ. – 2007. – С.183-184.

Днепродзержинский государственный технический университет

АНАЛИЗ ХАРАКТЕРА СКОЛЬЗЯЩЕГО РЕЖИМА ОПТИМАЛЬНОЙ ПО БЫСТРОДЕЙСТВИЮ ПОЗИЦИОННОЙ РЕЛЕЙНОЙ СУЭП

В роботі отримано співвідношення заданої величини переміщення та параметрів релейної системи регулювання, які забезпечують оптимальний за швидкодією аперіодичний перехідний процес позиційного електропривода.

В работе получены соотношения заданной величины перемещения и параметров релейной системы регулирования, которые обеспечивают оптимальный по быстродействию аperiodический переходный процесс позиционного электропривода.

In this paper obtained correlation for magnitude of performing transposition with parameters of sliding mode control system, which provides quasi-optimal aperiodical transient for servo-drive applications.

Введение. Системы разрывного управления обеспечивают высокую точность регулирования при низкой чувствительности к параметрическим и координатным возмущениям. Вместе с тем, структурным свойством релейных систем является максимально возможное при заданных ограничениях координат ЭП быстродействие. Реализацию этого свойства в системах подчиненного регулирования обеспечивает метод N-и переключений [1]. Он позволяет синтезировать систему N-го порядка, в которой каждый i-й (считая от входа) контур совершает при вхождении в скользящий режим N-i согласованных переключений, воспроизводя оптимальную траекторию, прогнозируемую по заданным уровням ограничений. Данный метод оптимизирует переходный процесс при больших отклонениях от положения равновесия. При этом уравнения гиперплоскостей переключения синтезируемых регуляторов, описывающие динамику контуров регулирования в скользящем режиме, оказываются устойчивыми, благодаря сходимости расчетных траекторий. Однако устойчивость «в малом» данным методом синтеза не контролируется непосредственно. Более того, исходный вариант метода N-и переключений при обобщении на N-й порядок системы реализован как рекурсивная вычислительная процедура, что делает возможной только численную оценку устойчивости полученных алгоритмов разрывного управления.

Постановка задачи. Типовым требованием к современным позиционным электроприводам является обеспечение оптимальности по быстродействию, что делает целесообразным применение при их проектировании метода N-и переключений. Однако, для большинства позиционных СУЭП колебательный характер переходного процесса недопустим даже при малых ошибках регулирования, что делает актуальной аналитическую оценку характера скользящего режима синтезируемых данным методом систем.

Для позиционного электропривода, динамика которого описывается системой дифференциальных уравнений

$$\left. \begin{aligned} p\varphi = \omega; \quad p\omega = \varepsilon = \frac{k_p \cdot c}{J} \cdot (i - i_c) \\ p\varepsilon = a = \frac{k_p \cdot c}{J} \cdot \frac{u - R \cdot i - c \cdot \omega}{L} \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

метод N-i переключений приводит к построению каскадно-подчиненной системы регуляторов, реализующей алгоритмы управления:

$$\left. \begin{aligned} u_{pp} = \omega^* &= \omega_{\max} \cdot \text{sign}(\varphi^* - \varphi - K_{\varphi\omega} \cdot \omega - K_{\varphi\varepsilon} \cdot \varepsilon) \\ u_{pc} = \varepsilon^* &= \varepsilon_{\max} \cdot \text{sign}(\omega^* - \omega - K_{\omega\varepsilon} \cdot \varepsilon) \\ u_{py} = u^* &= u_{\max} \cdot \text{sign}(\varepsilon^* - \varepsilon) \end{aligned} \right\}, \quad (2)$$

где $\varphi, \omega, \varepsilon, a$ – соответственно угловые положение, скорость, ускорение и рывок исполнительного вала,

u – напряжение преобразователя; символом * отмечены заданные значения соответствующих переменных, как входное, так и формируемые регуляторами для подчиненных им контуров;

$k_p, R, L, J, c = k\Phi$ – параметры электропривода; индексами «max» отмечены уровни ограничения координат состояния.

В [2] были получены *аналитические* выражения для коэффициентов обратных связей оптимальной по быстродействию системы подчиненного регулирования положения

$$K_{\omega\varepsilon} = \frac{\varepsilon_{\max}}{2 \cdot a_{\max}}, \quad K_{\varphi\omega} = \frac{\omega_{\max}}{2 \cdot \varepsilon_{\max}} + \frac{\varepsilon_{\max}}{2 \cdot a_{\max}}, \quad K_{\varphi\varepsilon} = \frac{\omega_{\max}}{4 \cdot a_{\max}} + \frac{\varepsilon_{\max}^2}{12 \cdot a_{\max}^2}, \quad (3)$$

что сделало возможной оценку устойчивости уравнений скольжения ее регуляторов.

Частично такая оценка была выполнена в [3] для случая настройки системы на режим малых перемещений, оптимальным переходным траекториям которого присущи наиболее жесткие взаимосвязи максимальных значений канонических координат. В результате была выявлена колебательность скользящего движения системы в окрестности точки равновесия.

Задача настоящей работы состоит в общей оценке устойчивости системы регулирования положения, синтезированной методом N-i переключений, а также в определении диапазона перемещений, в котором система вида (2) с параметрами (3) наряду с предельным быстродействием обеспечивает аperiodический характер скользящего режима.

Результаты работы. Скользящий режим регулятора положения системы (2), возникающий в малой окрестности точки равновесия, характеризуется высокой частотой переключений. Условие переключения регулятора положения

$$\Delta\varphi + K_{\varphi\omega} \cdot \omega + K_{\varphi\varepsilon} \cdot \varepsilon = 0$$

с учетом взаимосвязи координат состояния, выраженной (1), позволяет записать характеристическое уравнение позиционной системы, функционирующей в скользящем режиме, в виде

$$K_{\varphi\varepsilon} \cdot p^2 + K_{\varphi\omega} \cdot p + 1 = 0. \quad (4)$$

Корни уравнения (4)

$$p_{1,2} = \frac{-K_{\varphi\omega}}{2 \cdot K_{\varphi\varepsilon}} \pm \sqrt{\frac{K_{\varphi\omega}^2 - 4 \cdot K_{\varphi\varepsilon}}{2 \cdot K_{\varphi\varepsilon}}}$$

при комплексно-сопряженных значениях всегда имеют отрицательную действительную часть

$$\operatorname{Re}[p_{1,2}] = -\frac{1}{2} \left(\frac{\omega_{\max}}{2 \cdot \varepsilon_{\max}} + \frac{\varepsilon_{\max}}{2 \cdot a_{\max}} \right) / \left(\frac{\omega_{\max}}{4 \cdot a_{\max}} + \frac{\varepsilon_{\max}^2}{12 \cdot a_{\max}^2} \right) < 0,$$

поскольку коэффициенты обратных связей (3) всегда положительны.

При действительных корнях условие сходимости также всегда выполняется, так как меньший по модулю корень

$$p_1 = \frac{-K_{\varphi\omega}}{2 \cdot K_{\varphi\varepsilon}} + \frac{\sqrt{K_{\varphi\omega}^2 - 4 \cdot K_{\varphi\varepsilon}}}{2 \cdot K_{\varphi\varepsilon}}$$

всегда отрицателен:

$$K_{\varphi\omega} > \sqrt{K_{\varphi\omega}^2 - 4 \cdot K_{\varphi\varepsilon}}.$$

Очевидно, что скользящий режим подсистемы регулирования скорости устойчив, поскольку характеристическое уравнение

$$K_{\omega\varepsilon} \cdot p + 1 = 0$$

всегда имеет отрицательный корень, благодаря положительному значению $K_{\omega\varepsilon}$, рассчитываемому согласно (3).

Данные результаты целиком подтверждают предположение об устойчивости системы, точки переключения которой расположены на сходящейся фазовой траектории.

Условием *неколебательного* скользящего движения системы с характеристическим уравнением (4) является неравенство

$$K_{\varphi\omega}^2 - 4 \cdot K_{\varphi\varepsilon} \geq 0,$$

которое с учетом (3) принимает вид

$$\left(\frac{\omega_{\max}}{2 \cdot \varepsilon_{\max}} + \frac{\varepsilon_{\max}}{2 \cdot a_{\max}} \right)^2 - 4 \cdot \left(\frac{\omega_{\max}}{4 \cdot a_{\max}} + \frac{\varepsilon_{\max}^2}{12 \cdot a_{\max}^2} \right) \geq 0. \quad (5)$$

После некоторого упрощения

$$\frac{\omega_{\max}^2}{4 \cdot \varepsilon_{\max}^2} + \frac{\varepsilon_{\max}^2}{4 \cdot a_{\max}^2} + \frac{\omega_{\max}}{2 \cdot a_{\max}} - \frac{\omega_{\max}}{a_{\max}} - \frac{\varepsilon_{\max}^2}{3 \cdot a_{\max}^2} \geq 0$$

имеем:

$$\frac{\omega_{\max}^2}{4 \cdot \varepsilon_{\max}^2} - \frac{\varepsilon_{\max}^2}{12 \cdot a_{\max}^2} - \frac{\omega_{\max}}{2 \cdot a_{\max}} \geq 0. \quad (6)$$

Неравенство (6) выражает взаимосвязь максимальных значений канонических координат системы для участка оптимальной по быстродействию траектории, соответствующего режиму торможения. Подставив в (6) полученное в [4] для оптимальной по быстродействию траектории выражение максимальной скорости как функции перемещения

$$\omega_{\max} = \sqrt{\left(\frac{\varepsilon_{\max}^2}{2 \cdot a_{\max}}\right)^2 + \varphi \cdot \varepsilon_{\max} - \frac{\varepsilon_{\max}^2}{2 \cdot a_{\max}}},$$

получим неравенство вида

$$\frac{1}{4 \cdot \varepsilon_{\max}^2} \left(\sqrt{\left(\frac{\varepsilon_{\max}^2}{2 \cdot a_{\max}}\right)^2 + \varphi \cdot \varepsilon_{\max} - \frac{\varepsilon_{\max}^2}{2 \cdot a_{\max}}} \right)^2 - \frac{1}{2 \cdot a_{\max}} \left(\sqrt{\left(\frac{\varepsilon_{\max}^2}{2 \cdot a_{\max}}\right)^2 + \varphi \cdot \varepsilon_{\max} - \frac{\varepsilon_{\max}^2}{2 \cdot a_{\max}}} \right) - \frac{\varepsilon_{\max}^2}{12 \cdot a_{\max}^2} \geq 0.$$

Его решение относительно величины перемещения φ позволит выразить через фиксированные уровни ω_{\max} , ε_{\max} , a_{\max} границы диапазона перемещений, внутри которого вхождение в скользящий режим носит аperiодический характер. На границах этого диапазона, соответствующего знаку равенства в (5), характер процесса является предельно - аperiодическим.

Выполнив ряд упрощений,

$$\frac{\varphi}{4 \cdot \varepsilon_{\max}} - \frac{3}{4 \cdot a_{\max}} \sqrt{\frac{\varepsilon_{\max}^4}{4 \cdot a_{\max}^2} + \varphi \cdot \varepsilon_{\max}} + \frac{7 \cdot \varepsilon_{\max}^2}{24 \cdot a_{\max}^2} \geq 0,$$

$$\frac{\varphi^2}{\varepsilon_{\max}^2} + \frac{7 \cdot \varphi \cdot \varepsilon_{\max}}{3 \cdot a_{\max}^2} + \frac{49 \cdot \varepsilon_{\max}^4}{36 \cdot a_{\max}^4} \geq \frac{9}{a_{\max}^2} \left(\frac{\varepsilon_{\max}^4}{4 \cdot a_{\max}^2} + \varphi \cdot \varepsilon_{\max} \right),$$

получим квадратное неравенство относительно φ

$$\frac{\varphi^2}{\varepsilon_{\max}^2} - \frac{20 \cdot \varepsilon_{\max}}{3 \cdot a_{\max}^2} \cdot \varphi - \frac{8 \cdot \varepsilon_{\max}^4}{9 \cdot a_{\max}^4} \geq 0, \tag{7}$$

дискриминант которого

$$D = \frac{400}{9} \cdot \frac{\varepsilon_{\max}^2}{a_{\max}^4} + \frac{32}{9} \cdot \frac{\varepsilon_{\max}^4}{\varepsilon_{\max}^2 \cdot a_{\max}^4} = 48 \frac{\varepsilon_{\max}^2}{a_{\max}^4}.$$

Среди решений неравенства (7)

$$\varphi \geq \frac{\frac{20}{3} \cdot \frac{\varepsilon_{\max}}{a_{\max}^2} \pm 4\sqrt{3} \cdot \frac{\varepsilon_{\max}}{a_{\max}^2}}{\frac{2}{\varepsilon_{\max}^2}}$$

физический смысл имеют положительные значения

$$\varphi \geq \frac{10+6\sqrt{3}}{3} \cdot \frac{\varepsilon_{\max}^3}{a_{\max}^2}. \quad (8)$$

Полученное неравенство ограничивает снизу величину перемещения, после отработки которого система, синтезированная методом N-i переключений, обеспечивает апериодическое вхождение в скользящий режим. Ограничений величины перемещения сверху по условиям вхождения в скользящий режим не выявлено.

Следует отметить, что результаты данного исследования согласуются с результатами работы [3]. Наибольшая величина малого перемещения, воспроизводимого с треугольной диаграммой ускорения, по результатам [3] равна

$$\varphi_{\text{мп}} = 2 \cdot a_{\max} \cdot \frac{\varepsilon_{\max}^3}{a_{\max}^3} = 2 \cdot \frac{\varepsilon_{\max}^3}{a_{\max}^2},$$

то есть не удовлетворяет условию (8), что обуславливает колебательный характер скользящего режима после выполнения малых перемещений.

Очевидно, что неколебательный характер скользящего движения после позиционирования на величину φ , не удовлетворяющую условию (8), может быть обеспечен снижением максимальных ускорения и скорости, что вызовет снижение быстродействия привода при больших отклонениях от положения равновесия.

Выводы. Проведенный в данной работе анализ характера скользящего режима оптимальной по быстродействию релейной системы управления позиционным электроприводом подтверждает предположение об общей устойчивости синтезированного методом N-i переключений регулятора положения и устанавливает нижнюю границу диапазона перемещений, при работе в котором вхождение в скользящий режим носит апериодический характер.

ЛИТЕРАТУРА

1. Садовой А.В., Дерез А.Л. Оптимизация по быстродействию релейных систем подчиненного регулирования методом N-i переключений. Вестник НТУ ХПИ. Серия «Электротехника, электроника, электропривод»: "Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика". – Харьков. – 2004. – №43. – С.53 - 56.
2. Садовой А.В., Дерез А.Л. Параметрический синтез позиционных релейных систем подчиненного регулирования методом N-i переключений. Вестник НТУ ХПИ. Серия «Электротехника, электроника, электропривод»: "Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика". – Харьков. – 2005. – №45. – С.71 - 73.
3. Садовой А.В., Дерез А.Л. Оптимизация по быстродействию методом N-i переключений режимов малых перемещений позиционного электропривода/ Вестник КГПУ. Выпуск 3/2007 (44). – Кременчуг. – 2007. – С.15-17.
4. Садовой А.В., Дерез А.Л. Оптимизация по быстродействию режимов средних перемещений позиционных релейных СУЭП методом N-i переключений. Сборник научных трудов Днепродзержинского государственного технического университета (технические науки). Тематический выпуск "Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика". – Днепродзержинск: ДГТУ. – 2007. – С.420-422.