

**ФОРМИРОВАНИЕ АПЕРИОДИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА МАЛЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ  
КВАЗИОПТИМАЛЬНОЙ ПО БЫСТРОДЕЙСТВИЮ РЕЛЕЙНОЙ СИСТЕМОЙ**

**Введение.** К позиционным электроприводам предъявляется требование оптимального при заданных ограничениях быстродействия. Вместе с тем, обязательным для таких систем управления электроприводами (СУЭП) является неколебательный характер переходного процесса. Одновременное выполнение названных требований возможно при синтезе релейных систем подчиненного регулирования положения методом N-i переключений [1]. Применение данного метода эффективно реализует структурное свойство предельного быстродействия релейных СУЭП благодаря параметрическому синтезу их регуляторов на основе прогнозируемости оптимальных переходных траекторий при известных уровнях ограничения фазовых координат. Устойчивость скользящего режима таких систем подтверждается аналитической проверкой, выполненной в [2].

**Постановка задачи исследования.** Простота математического аппарата метода N-i переключений применительно к позиционным приводам обеспечивается допущением о неизменности рывка на интервалах стабилизации управляющего напряжения. Однако, в реальных электромеханических системах (ЭМС) при постоянстве напряжения величина рывка изменяется в силу действия внутренних обратных связей. В режимах позиционирования, длительность которых многократно превышает продолжительность интервалов стабилизации рывка  $T_a$ , отклонение реальных траекторий от расчётных проявляется незначительно. Вместе с тем, длительность малых перемещений сопоставима с  $T_a$ , что делает форму переходных траекторий именно на этих интервалах определяющей характер малого перемещения в целом. Целью настоящего исследования является выявление возможностей адаптации математического аппарата метода N-i переключений к данной особенности динамики позиционной СУЭП 3-го порядка.

**Материалы исследования.** Динамика позиционной СУЭП с каскадно-подчиненным включением регуляторов описывается следующими подсистемами уравнений

$$\left. \begin{aligned} p\varphi = \omega; \quad p\omega = \varepsilon = \frac{k_p \cdot c}{J} \cdot (i - i_c) \\ p\varepsilon = a = \frac{k_p \cdot c}{J} \cdot \frac{u - R \cdot i - c \cdot \omega}{L} \end{aligned} \right\}, \quad \left. \begin{aligned} u_{pp} = \omega^* = \omega_{max} \cdot \text{sign}(\varphi^* - \varphi - K_{\varphi\omega} \cdot \omega - K_{\varphi\varepsilon} \cdot \varepsilon) \\ u_{pc} = \varepsilon^* = \varepsilon_{max} \cdot \text{sign}(\omega^* - \omega - K_{\omega\varepsilon} \cdot \varepsilon) \\ u_{py} = u^* = U_{max} \cdot \text{sign}(\varepsilon^* - \varepsilon) \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

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.

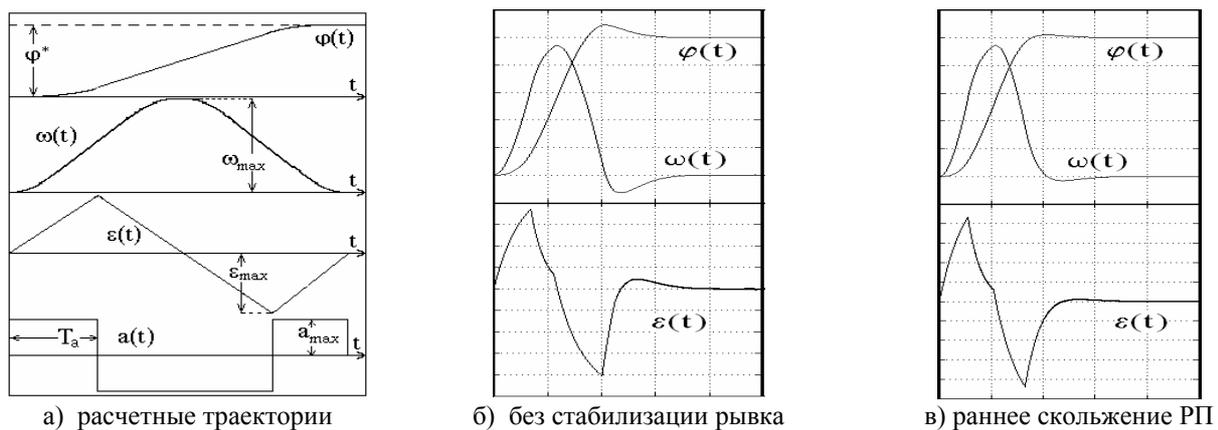


Рисунок 1 – Режим малых перемещений

В работе [3] получены настройки регуляторов, специфичные для режима малых перемещений. На рисунке 1,а представлена расчётная траектория режима малых перемещений, а рисунок 1,б представляет пример переходного процесса СУЭП вида (1) в режиме малых перемещений. Отклонение переходной траектории от расчётных точек переключений затягивает входение регуляторов в скользящий режим и придаёт процессу колебательный характер, что заметно сужает область практического применения такой системы.

Ускорение вхождения в скользящий режим может быть достигнуто путем выполнения настройки регуляторов на расчетный уровень рывка, заведомо заниженный относительно реального среднего уровня рывка на интервалах стабилизации напряжения. Данный приём коррекции динамики систем, синтезируемых методом N-i переключений, обоснован в [4] на примере системы 2-го порядка, для которой он приводит к повышению запаса устойчивости. Результат его применения к позиционной системе, представленный на рисунке 1,в, демонстрирует приближение диаграмм к прогнозируемой форме, однако завершающий этап переходного процесса по-прежнему протекает с перерегулированием. Вхождение регулятора положения (РП) в скользящий режим является колебательным, так как настройка на треугольную диаграмму ускорения [3] делает корни характеристического уравнения данного регулятора комплексно-сопряженными.

Как показывает рассмотренный пример, раннее вхождение в скользящий режим не может рассматриваться как достаточная мера по коррекции переходных траекторий позиционной СУЭП. Для формирования предельно-апериодического переходного процесса такой системой необходимо придание её корням действительных значений. Этот результат может быть достигнут в системах, расчетной диаграмме ускорения которых придается форма трапеции (рисунок 2). В работе [5] получено значение коэффициента, понижающего максимальное ускорение малого перемещения до уровня, при котором обеспечивается критический, а ниже него - апериодический процесс вхождения регулятора положения в скользящий режим для систем, синтезированных методом N-i переключений. При этом корректируется также максимальная скорость малого перемещения.

Адаптация данного метода к оптимизации по быстродействию малых перемещений при отсутствии в системе контура стабилизации рывка может быть выполнена совместной реализацией описанных выше приемов: занижением расчетного рывка с целью ускорения вхождения регулятора положения в скользящий режим и, вместе с тем, синтезом параметров РП по трапецидальной диаграмме ускорения, что придаст скользящему режиму неколебательный характер. Задача сводится к определению коэффициента, понижающего для трапецидальной диаграммы ускорения расчетный уровень рывка до величины, достаточно малой для обеспечения устойчивости скользящего режима регулятора положения, и в тоже время, не вызывающей неоправданного снижения быстродействия системы вследствие уменьшения максимумов канонических координат.

Как свидетельствует переходный процесс, представленный на рисунке 3, релейная СПР с описанными модификациями настроек обеспечивает переходный процесс малых перемещений, предельно-апериодический как «в большом», так и «в малом». Заметим, что введение пониженных ограничений канонических координат при переходе на трапецидальную диаграмму ускорения, уменьшающее быстродействие системы «в большом» по сравнению со случаем треугольной диаграммы, обусловлено требованиями к характеру процесса «в малом», а следовательно, является неизбежным для структур СУЭП, параметры которых зафиксированы на время переходного процесса.

**Вывод.** Предлагаемое сочетание мер по коррекции настроек квазиоптимальной по быстродействию системы третьего порядка полностью решает задачу адаптации синтезированной методом N-i переключений позиционной СУЭП к особенностям режима малых перемещений при отсутствии стабилизации рывка.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. 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.
2. Садовой А.В., Дерез А.Л. Анализ характера скользящего режима оптимальной по быстродействию позиционной релейной СУЭП. Сборник научных трудов ДГТУ. Выпуск 8. / Днепропетровск: ДГТУ, 2008.
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., Карачунский П.Ш. Повышение запаса устойчивости оптимальных по быстродействию СУЭП. - В сб. «Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика», - Харьков, Основа, 1997. - с.70-71.
5. Дерез А.Л. Синтез квазиоптимальной по быстродействию позиционной релейной СУЭП с апериодическим вхождением в скользящий режим. Научные труды Донецкого технического университета. Серия «Электротехника и энергетика». Выпуск 7 (128). / Донецк, ДонТУ, 2007.

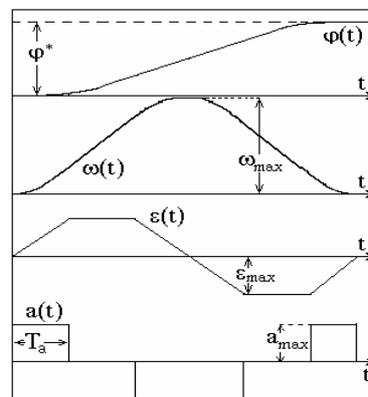


Рисунок 2 – Расчетные траектории с трапецидальной диаграммой ускорения

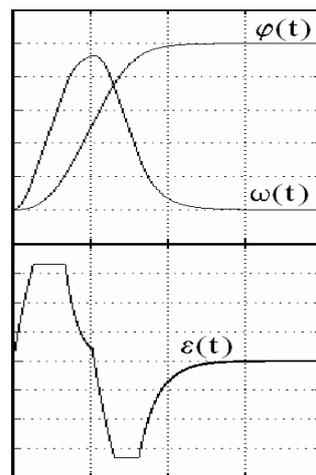


Рисунок 3 – Результат коррекции динамики