

Рисунок 3 – Скриншот окна программного обеспечения для проведения идентификации параметров схемы замещения асинхронного двигателя

Как и в предыдущем скриншоте слева представлена область графического отображения измеряемых и расчетных величин. В правой части вводятся исходные данные и отображаются итоги расчета.

После формирования и отправки управляющего сигнала на преобразователь частоты на двигатель подается кратковременный импульс постоянного тока для подмагничивания магнитной системы, а далее – сформированные по заданному управляющему сигналу напряжения на статор электродвигателя. При этом двигатель не стартует, и железо магнитопроводов статора и ротора не входит в насыщение (при этих условиях можно считать, что параметры схемы замещения неизменны). Далее начинает работу плата, которая считывает показания напряжений и токов на статоре и передает их значения на персональный компьютер, где происходит обработка данных и по заданному алгоритму – расчет искомых данных. Расчет заканчивается, когда достигается необходимая точность. При этом итоги расчета отображаются как в текстовом, так и в графическом виде – в виде трендов.

#### Список использованных источников

1. Терёхин, А. А. Обзор способов идентификации параметров асинхронного электропривода / А. А. Терёхин, Д. А. Даденков // Вестник ПНИПУ. – 2017. – № 22. – С. 55–66.
2. Приступа, Д. Л. Идентификация электрических параметров асинхронных двигателей при самонастройке векторно-управляемых электроприводов: дис. ... канд. техн. наук.: 05.09.03 – электротехнические комплексы и системы / Дмитрий Леонидович Приступа. – Киев, 2016. – 196 с.

УДК 62.50.681.326

## СИНТЕЗ ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ВЫТЯЖКИ ЛЕНТЫ С КОМПЕНСАЦИЕЙ УПРУГОСТИ

**Сиддиков И.Х.<sup>1</sup>, д.т.н., проф., Алимова Г.Р.<sup>1</sup>, докт.,  
Муродов Ж.М.<sup>2</sup>, асс.**

<sup>1</sup>Ташкентский государственный технический университет,

<sup>2</sup>Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности,  
г. Ташкент, Республика Узбекистан

Реферат. В статье рассмотрены вопросы компенсации колебательного характера переходного процесса, возникающих в цифровых системах управления. Для решения

данной задачи предложен метод, основанный на изменении расположения корней характеристического уравнения исследуемой системы.

Ключевые слова: вытяжка ленты, колебательность, упругость, нестационарность, передаточная функция, переходной процесс.

Одной из актуальных проблем в области текстильной промышленности является проблема снижения натяжения ткани как в стадии ее формирования, так и в стадии обработки. Этот процесс непосредственно связан с процессом вытяжки ленты при получении пряжи из хлопкового волокна.

Вытягивание волокнистого материала, в частности хлопкового волокна, при получении пряжи является важным в процессе получения готового изделия. На процесс вытяжки влияют различные факторы, например, нестационарность работы вытяжного прибора, неровности ленты, упругость при движения ленты.

В настоящее время для управления процессом вытяжки ленты широкое применение находят цифровые регуляторы-микроконтроллеры.

С другой стороны при управлении динамическими процессами с помощью цифровых регуляторов возникает слабозатухающий колебательный переходный процесс, который существенно снижает качество управления. Колебательный характер переходного процесса обусловлен полюсами передаточной функции системы, расположенными на z-плоскости внутри окружности единичного радиуса, на отрицательной единичной полуоси и вне ее, но вблизи точки  $z=-1$ .

Существуют разные методы устранения колебательности, например, путем отбрасывания соответствующего полюса надлежавшим выбором коэффициента усиления. [1]. Недостаток данного подхода заключается в снижении порядка передаточной функции, а следовательно, при определенных условиях ухудшается быстродействие системы.

В предлагаемом подходе снижение колебательности обеспечивается за счет смещения отрицательного вещественного полюса, расположенного наиболее близко к точке -1 на положительной вещественной полуоси, позволяющего нейтрализовать действие правостороннего нуля, вызывающего повышенную колебательность системы.

Пусть цифровой регулятор описывается передаточной функцией, определяемой как отношение z-преобразований регулируемой переменной  $Y(z)$  и сигнала ошибки  $E(z)$ .

$$D(z) = \frac{1.96z^2(z - 0.741)}{(z - 1)(z + 0.392)(z + 0.738)} \quad (1)$$

Переходная характеристика этой функции представлена на рисунке 1.

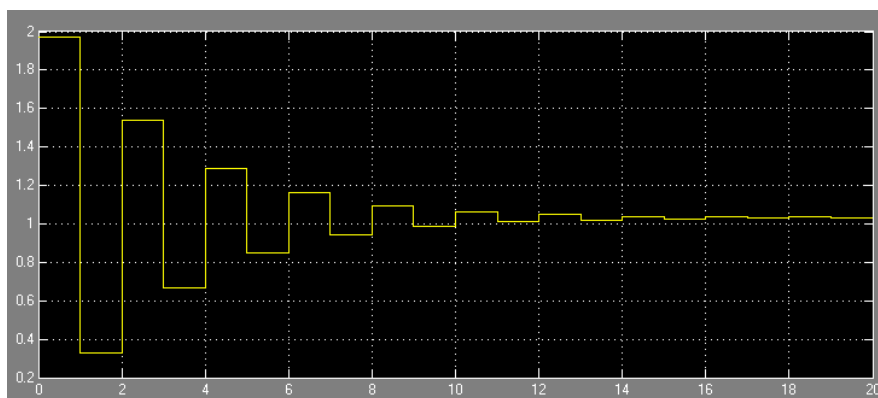


Рисунок 1 – Переходная характеристика

В данном случае колебательность переходного процесса определяют два полюса передаточной функции системы  $z_1 = -0.392$  и  $z_2$ , в особенности полюс  $z_2$ , т. к. он расположен вблизи точки  $z=-1$ .

Если обозначить полюс, обуславливающий колебания в переходном процессе  $z=-a$ , то, воспользовавшись соотношением

$$ze^{st} = -\alpha = \alpha e^{+j\pi} \quad (2)$$

можно установить, что отрицательному вещественному полюсу в z-плоскости соответствует два комплексных полюса в S-плоскости.

Для устроения колебательности осуществляем замену пары комплексных полюсов отрицательным полюсом, которому в z-плоскости соответствует один положительный полюс. Для нахождения аппроксимирующего полюса в S-плоскости проводят окружность радиуса r

$$r = \sqrt{\left(\frac{1}{T} \ln \alpha\right)^2 + \left(\frac{\pi}{T}\right)^2}, \quad (3)$$

которая пересекается с отрицательной вещественной осью в точке S=- r. Соответствующий полюс в z-плоскости определяется соотношением

$$z = e^{-rt}. \quad (4)$$

Полюсу  $z=-0,738$ -передаточной функции (1) при периоде квантования  $T=1$  с. Соответствуют в S-плоскости два полюса:

$$S_{1,2} = \ln(0.738e^{\pm j\pi}) = -0.304 \pm j\pi. \quad (5)$$

Высокое качества переходного процесса можно получить, если вместо аппроксимации пары комплексных полюсов отрицательным вещественным полюсом полностью устранить мнимую составляющую в выражении (5).

Преобразовав затем полюс  $S=-0.304$  уравнения (5) в Z-плоскости

$$Z = e^{-0.304} = 0.738. \quad (6)$$

Получают после соответствующего выбора коэффициента усиления аппроксимацию для передаточной функции (1)

$$D(z) = \frac{0.295z^2(z-0.741)}{(z-1)(z+0.392)(z+0.738)}. \quad (7)$$

Передаточной функции (7) соответствует переходный процесс, представленный на рисунке 2.

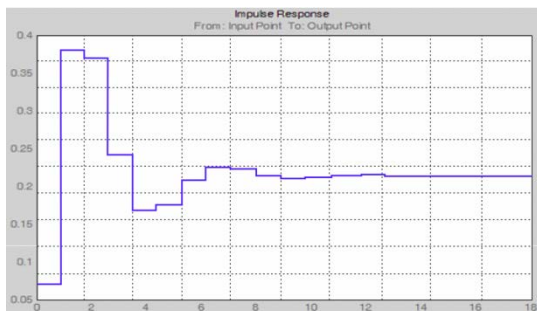


Рисунок 2 – Переходный процесс системы (7)

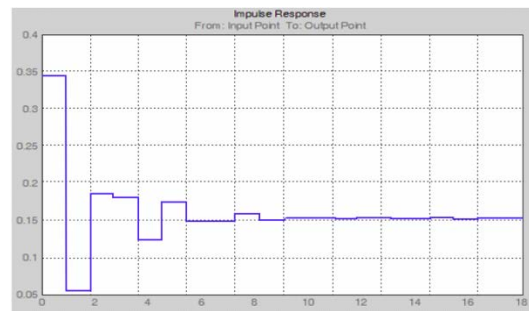


Рисунок 3 – Переходный процесс синтезированной системы (7)

Из этого видно, что полюс передаточной функции очень близко расположен к нулю, что позволяет устроить колебательность переходного процесса за счет нейтрализации действия правостороннего нуля.

Проводя аппроксимацию полюса  $z=-0.738$  полюсом  $z=-0.741$ , можно получить идентичную передаточной функции (7) результирующую передаточную функцию:

$$D(z) = \frac{0.128z^2}{(z-1)(z+0,392)}.$$

В этом случае получается минимальная колебательность за счет полюса –  $z=-0,392$ .

Аппроксимируя и этот полюс путем смещения в точку  $z=-0,392$ , можно найти передаточную функцию системы, имеющую следующий вид:

$$D(z) = \frac{0.128z^2}{(z-1)(z-0,392)}.$$

Соответствующая этой передаточной функции передаточная функция имеет вид

$$h(t) = 0,209u(t) - 0,082e^{-0,936t}.$$

Таким образом, изменяя расположения полюсов и нулей передаточной функции цифрового регулятора при синтезе алгоритма управления, можно уменьшить колебательность процесса, тем самым улучшить качество управления и уменьшить износ рабочих органов исполнительных механизмов.

#### Список использованных источников

1. Битус, Е. И. Компьютерное моделирование и оптимизация процессов формирования гребенной ленты в шерстопрядении / Е. И. Битус. – Москва: Знание, 2007. – 238 с.
2. Марахимов, А. Р., Игамбердиев, Х. З., Юсупбеков, А. Н., Сиддиков, И. Х. Нечетко-множественные модели и интеллектуальное управление технологическими процессами. – Ташкент: ТГТУ, 2014. – 243 с.
3. Гостев, В. И. Проектирование нечетких регуляторов для систем автоматического управления. – С.-Пб.: БХВ-Петербург, 2011. – 416 с.

УДК 001.891.573: 621.3.049.7

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАССЛОЕНИЯ СОЕДИНЕНИЙ МНОГОСЛОЙНЫХ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГРАФА ПЕРЕСЕЧЕНИЙ

**Шандриков А.С.<sup>1</sup>, преп., Клименкова С.А.<sup>2</sup>, ст. преп., Куксевич В.Ф.<sup>2</sup>, ст. преп.**

<sup>1</sup>*Витебский государственный политехнический колледж учреждения образования  
«Витебский государственный технологический университет»,  
г. Витебск, Республика Беларусь*

<sup>2</sup>*Витебский государственный технологический университет,  
г. Витебск, Республика Беларусь*

Реферат. В статье рассмотрен метод расслоения многослойных печатных плат. В качестве исходных данных использована математическая модель соединений печатной платы, в которой каждому соединению сопоставлен прямолинейный отрезок.

Ключевые слова: многослойная печатная плата, математическая модель, граф, матрица, сигнальный слой.

При проектировании радиоэлектронных средств часто применяют конструкции многослойных печатных плат (МПП), в которых не допускается применение дополнительных межслойных переходов (в частности, платы с открытыми контактными площадками). Тривиальное решение задачи расслоения для таких конструкций предусматривает проведение трассировки всех соединений, которые можно расположить на первом слое. Оставшиеся непроеданные соединения трассируются во втором, третьем слое и т. д. Очевидно, что при таком подходе к решению задачи количество слоёв может получиться неоправданно большим и, к тому же, слои будут заполнены соединениями неравномерно. Избежать этих недостатков можно, если выполнять расслоение МПП с использованием системы автоматизированного проектирования. Для этого необходимо совокупность соединений МПП представить в виде математической модели. В работах [1–5] такая модель описывается в виде графа, вершинами которого являются печатные проводники, а рёбрами – пересечения между ними. Пересечение рассматривается как конфликт между