

тимизированного замкнутого контура тока, модель которого представлена на рис. 2; c_{e1} , c_{m1} – конструктивные коэффициенты ведущего двигателя соответственно, В·с/рад и Н·м/А; $J1$ – суммарный приведенный к валу двигателя момент инерции электропривода (ЭП), кг·м²; M_{nam1} , M_{c1} – соответственно активный статический момент сопротивления на валу ведущего двигателя, обусловленный действием силовых перекрестных связей по натяжению, и реактивный момент, учитывающий трение в

механических узлах двигателя и редуктора, а также ткани о направляющие ролики, Н·м; K_{acp1} , K_{osv1} – коэффициенты усиления АЦП сигнала обратной связи (1/В) и датчика скорости намотки ткани, В·с/м; U_{yt1} – напряжение задания цифроаналогового контура тока; E_{dv1} , I_{a1} – ЭДС, В, и ток якоря ведущего двигателя, А; $Mom1$, $w1$, $V1$ – значения момента, Н·м, частоты вращения ведущего двигателя, рад/с, и линейной скорости намотки, м/с.

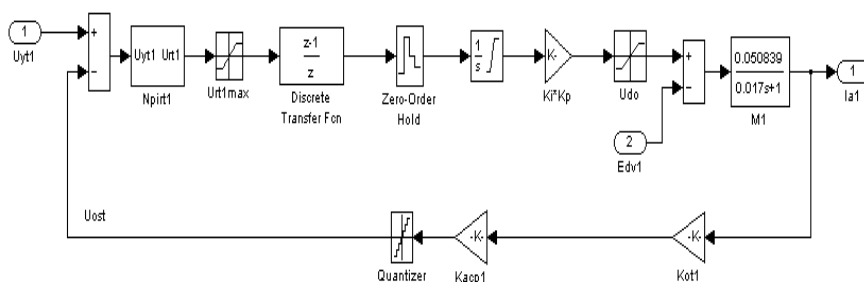


Рис. 2

В приведенной на рис. 2 модели цифроаналогового контура тока силовой преобразователь представлен в виде последовательно соединенных дискретного звена с передаточной функцией (ПФ) $W(z) = (z-1)/z$, экстраполятора нулевого порядка, аналогового интегратора с ограничением выходного сигнала и безынерционного звена, учитывающего коэффициенты усиления ЦАП прямого канала регулирования тока и преобразователя [3].

Модель также содержит макроблок цифрового ПИ-регулятора тока N_{pirt1} , якорную цепь ведущего двигателя $M1$, АЦП сигнала обратной связи по току U_{ost} с коэффициентом усиления K_{acp1} и датчик тока K_{ot1} .

Ведомый ЭП включает в себя аналоговый контур регулирования положения ролика петлеобразателя с ПИ-регулятором и дополнительным корректирующим устройством. Синтез регулятора положения проведен при условии, что внешний замкнутый контур положения содержит передаточные функции (ПФ) самого регулятора, оптимизированного цифроаналогового контура линейной скорости намотки, объ-

екта, включающего в себя модели ткани и петлеобразателя с вязкоупругим элементом [4], цифроаналогового преобразователя (ЦАП) и линейного импульсного звена. Модель системы управления (СУ) ведомым ЭП имеет структуру, аналогичную системе управления ведущим. Приводные двигатели имеют одинаковые параметры.

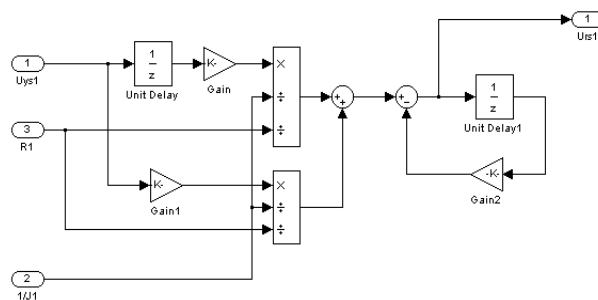


Рис. 3

Структура блока цифрового ПИ-регулятора линейной скорости намотки, реализующая функциональный алгоритм преобразования цифровых дискретных сигналов управления на основе разностных уравнений [3], представлена на рис. 3. Структура блока цифрового ПИ-регулятора тока аналогична структуре,

приведенной для ЦАСУ с цифровыми регуляторами частоты вращения двигателей ведущего и ведомого ЭП [1].

Синтез регулятора линейной скорости намотки выполнен для анализа динамики в “малом”, когда система ЭП принимается в

$$W_{\text{црт}}(z) = \frac{(1-d_T)R_{\Sigma}}{(1-d_{\text{я}})k_{\text{П}}k_{\text{ОТ}}} \frac{z-d_{\text{я}}}{z-1}, \quad (1)$$

$$W_{\text{црс}}(z) = \frac{0,097ik_{\text{ОТ}}k_{\text{АЦП}_v}J_{1,2}}{c_{\text{М}}k_{\text{ОС}}k_{\text{АЦП}}T(1-d_T)R_{1,2}} \frac{z-0,606}{z-0,509}, \quad (2)$$

где $d_T = e^{-1/2}$, $d_{\text{я}} = e^{-\frac{T}{T_{\text{я}}}}$ – введенные для упрощения записи ПФ регуляторов постоянные, одна из которых ($d_{\text{я}}$) зависит от электромагнитной постоянной двигателя $T_{\text{я}}$ и периода квантования сигналов управления по току и скорости T ; R_{Σ} – сопротивление якорной цепи двигателя, Ом; $k_{\text{П}}$, $k_{\text{ОТ}}$ – коэффициенты усиления силового преобразователя и датчика обратной связи по току якоря двигателей ($1/A$) соответственно; i – коэффициент передачи редукторов; $k_{\text{АЦП}_v}$ – коэффициент усиления АЦП канала обратной связи по линейной скорости намотки, $1/B$; $J_{1,2}$ – приведенные моменты инерции ведущего и ведомого ЭП; $c_{\text{М}}$ – конструктивный коэффициент двигателей по моменту, Н·м/А; $k_{\text{ОС}}$ – коэффициент усиления датчика обратной связи по линейной скорости намотки, В/м; $k_{\text{АЦП}}$ – коэффициент усиления АЦП канала обратной связи по току якоря двигателей, $1/B$; $R_{1,2}$ – значения радиусов намотки на ведущем и ведомом барабанах, м.

При синтезе регулятора положения использование ПФ рассматриваемого объекта с учетом параметров ткани и петлеобразователя представляет определенные трудности в связи с ее высоким порядком. В этом случае целесообразно упрощение

целом за линейную импульсную систему. В соответствии с методом последовательной коррекции, дискретные ПФ цифровых регуляторов тока и линейной скорости намотки, оптимизированные по модульному оптимуму (МО), имеют вид [3]:

указанной ПФ [5], которое выполнено нами в результате анализа ее логарифмической амплитудно-частотной характеристики (ЛАЧХ).

Анализ показал, что в окрестности частоты среза наклон исходной ЛАЧХ объекта равен -20 дБ/дек. В связи с этим данный объект по своим свойствам близок в динамике к апериодическому звену с коэффициентом k_h передачи и постоянной времени T_h , которые определены в результате сопряжения низко- и среднечастотного участков исходной и упрощенной ЛАЧХ рассматриваемого объекта.

При оптимизации замкнутого контура положения ПФ приведенного непрерывного звена [3] содержит ПФ объекта, а также дискретную ПФ линейного импульсного звена. Указанная ПФ содержит оператор Лапласа s и дискретный оператор z , что представляет определенные трудности при оптимизации системы электропривода методом последовательной коррекции.

После замены $z = e^{sT}$ и преобразований, а также разложения сложных экспоненциальных функций в ряд Маклорена до 2-го порядка [6] дискретная ПФ регулятора положения (при принятой в качестве желаемой ПФ разомкнутого контура положения фильтра Баттерворта 3-го порядка [7]) имеет вид:

$$W_{\text{црт}}(z) = \frac{k_{\text{ОС}}k_{\text{АЦП}_v}}{4T_{\mu}k_{\text{ЦАП}}k_h T(1+d_1+d_2)} \frac{T_h s + 1}{s} \frac{0,491sT + 0,097}{2T_{\mu}s + 1}, \quad (3)$$

где T_{μ} – малая некомпенсируемая постоянная

времени, принятая равной постоянной

времени ШИП [7]; d_1, d_2 – вспомогательные коэффициенты [3], значения которых при оптимизации замкнутого цифрового контура линейной скорости намотки равны -1,509 и 0,606 соответственно; $K_{ЦАП}$ – коэффициент усиления ЦАП в канале регулирования скорости намотки ткани.

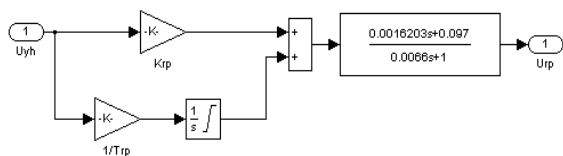
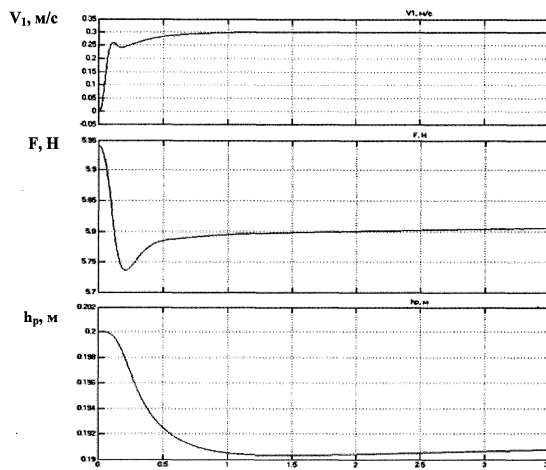


Рис. 4

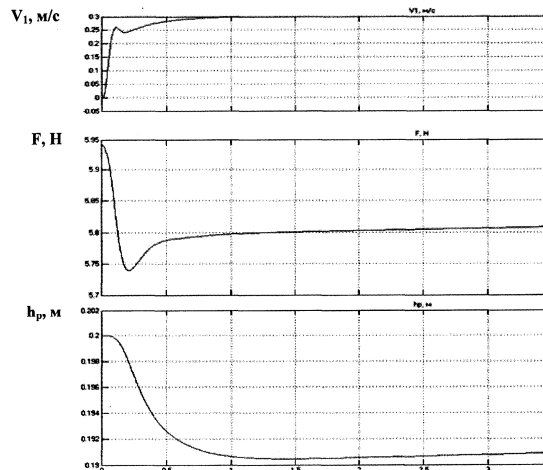
Вид ПФ (3) показывает, что для обеспечения заданной точности регулирования натяжения ткани помимо цифрового ПИ-регулятора положения на его выходе необходимо наличие дополнительного коррек-

тирующего устройства. Структура блока цифрового регулятора положения представлена на рис. 4, где U_{yh} , $U_{гр}$ – сигналы напряжения управления на входе регулятора и напряжения на его выходе, В; $K_{гр}$, $T_{гр}$ – коэффициент усиления и постоянная времени, с, ПИ-регулятора положения.

На основе разработанной ранее модели СУ [2] с учетом представленных выше математических моделей цифроаналоговых оптимизированных замкнутых контуров тока и линейной скорости намотки ткани, а также цифровых регуляторов скорости намотки ткани и положения ролика петлеобразователя (рис. 1...4) выполнено моделирование процесса пуска системы взаимосвязанного ЭП агрегата для перемотки ткани в рулоны.



а)



б)

Рис. 5

На рис. 5-а и б представлены временные зависимости линейной скорости намотки, натяжения ткани и положения ролика петлеобразователя в начале намотки и при малом отклонении радиуса намотки от его начального значения.

Графики переходных процессов на рис. 5-а и б соответствуют заданной скорости намотки $V_1 = 0,3$ м/с (а – линейная скорость намотки, натяжение ткани и положение ролика петлеобразователя при $R_{min} = 0,06$ м; б – то же для $R_1 = 0,061$ м).

Сравнительный анализ приведенных выше временных зависимостей с результа-

тами моделирования [1], [2] показал, что в СУ с цифровыми регуляторами тока и скорости намотки ткани, параметры которых учитывают переменный радиус наматываемого рулона, достигаются более высокая степень стабилизации скорости намотки и заданная точность регулирования натяжения ткани.

Однако при анализе передаточной функции объекта, учитывающей параметры ткани и петлеобразователя, радиус рулона был принят постоянным, в связи с чем разработанная макромодель ЦАСУ дает приемлемые результаты при малых

отклонениях радиуса рулона от его начального значения.

Проведенные на разработанной модели эксперименты показали, что расчетное значение коэффициента усиления регулятора положения оказалось завышенным и при существенных отклонениях радиуса рулона необходимо изменять значение сигнала задания по скорости намотки для ведущего и ведомого ЭП.

Временные зависимости, представленные на рис. 5-а и б, а также ПФ регуляторов (1)...(3), получены при следующих значениях параметров макромодели: $E = 78,5$ Н; $c_{п} = 30$ Н/м; $m_{п} = 0,6$ кг; $k_{г} = 2$; $k_{в} = 3,33$ с/м; $\tau = 0,01$ с; $T_{г} = 5,87$ с; $L_{г} = 1,76$ м; $R_{\min} = 0,06$ м; $R_{\max} = 0,15$ м; $k_{oc1,2} = 25$ В·с/м; $\delta_{г} = 0,001$ м; $B_{г} = 0,8$ м; $\rho_{г} = 0,25$ кг·м³; $i_{п} = 19,5$; $T_{я} = 0,017$ с; $T_{\mu} = 0,0033$ с; $k_{ог} = 4,97$ В/А; $R_{\Sigma} = 19,67$ Ом; $c_{м} = 0,52$ Н·м; $\eta_{в} = 12,5$; $k_{h} = 219,8$; $T_{h} = 40,7$ с; $k_{п} = 6,3$.

ВЫВОДЫ

Анализ цифроаналоговой математической модели разработанной системы управления намоткой ткани показал ее более высокое быстродействие и статическую точность по сравнению с аналоговым

вариантом, реализованным на базе непрерывных регуляторов тока, скорости двигателя и натяжения ткани.

ЛИТЕРАТУРА

1. Глазунов В.Ф., Соломаничев М.А. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2005, №1. С.120...123.
2. Глазунов В.Ф., Соломаничев М.А. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2004, №6. С.105...109.
3. Терехов В.М. Непрерывные и цифровые системы управления скоростью и положением электроприводов. – М.: Изд-во МЭИ, 1995.
4. Тарарыкин С.В., Глазунов В.Ф., Спичков Ю.П. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1994, №2.
5. Глазунов В.Ф., Литвинский А.Н. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1980, №6. С.62...65.
6. Бермант А.Ф., Араманович И.Г. Краткий курс математического анализа для вузов. – М.: Наука, 1973.
7. Башарин А.В., Новиков В.А., Соколовский Г.Г. Управление электроприводами. – Л.: Энергоатомиздат, 1982.

Рекомендована кафедрой электропривода и автоматизации промышленных установок. Поступила 26.12.05.