

УДК 677.06:621.01.001

### О НАСТРОЙКЕ КОНТУРА РЕГУЛИРОВАНИЯ НАТЯЖЕНИЯ ТКАНИ В ЭЛЕКТРОПРИВОДАХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАШИН

В. Ф. ГЛАЗУНОВ, М. С. КУЛЕНКО, А. Н. ЛИТВИНСКИЙ

(Ивановский государственный энергетический университет)

Автоматическая стабилизация натяжения ткани в технологическом оборудовании обеспечивается в замкнутой системе регулирования [1], в которой измерителем натяжения служит петлеобразователь [2], а исполнительным устройством является электродвигатель, получающий питание от тиристорного преобразователя [3].

Локальная система электропривода постоянного тока построена, как правило, на базе серийного преобразователя (например, УКЭ-Л-3101), имеет контуры регулирования тока электродвигателя и его частоты вращения. Известный принцип подчиненного регулирования координат и отработанная методика настройки регуляторов [4] позволяет добиваться от приводного устройства весьма высокого быстродействия как при обработке возмущающих воздействий по нагрузке двигателя, так и управляющих воздействий, задающих натяжение полотна.

Одну из важных задач при проектировании рассматриваемых систем составляет выбор параметров регулятора натяжения ткани с учетом ее деформационных свойств, особенностей конструкции петлеобразователя, а также регулировочных характеристик питающего приводной двигатель тиристорного преобразователя.

Рассмотрим задачу настройки параметров контура регулирования

Система петлеобразователя	а)	б)	
	$G$	$(m_p - m_r)g$	$\frac{m_p \cdot a - m_r \cdot b}{a} \cdot g$
	$m_p'$	$m_p + m_r$	$\frac{m_p \cdot a^2 + m_r \cdot b^2}{a^2}$
$\omega_{\text{пер}}$	$\sqrt{\frac{2}{e_n} \frac{(m_p - m_r)g - F_{\text{тр}}}{m_p + m_r}}$	$a \sqrt{\frac{2a}{e_n} \frac{(m_p a - m_r b)g - M_{\text{тр}}}{m_p a^2 + m_r b^2}}$	

Рис 1.

натяжения полотна при использовании петлеобразователей кареточного (а) и рычажного (б) типов (рис. 1), где  $m_{p,r}$  — массы соответственно измерительного ролика и компенсирующего его вес грузового элемента, кг;  $BL$  — чувствительный элемент (например, сельсин), преобразующий перемещение ролика в электрический сигнал обратной связи;  $c_{п}$  — жесткость упругого элемента, Н/м;  $\pm M_{тр}$ ,  $\pm F_{тр}$  — соответственно момент, Н·м, и сила трения, Н, в кинематических узлах петлеобразователей.

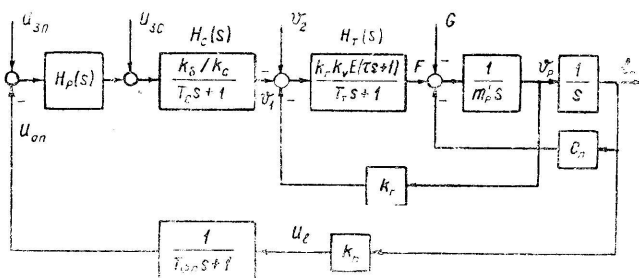


Рис. 2.

Обобщенная структурная схема контура регулирования натяжения полотна, построенная на базе петлеобразователей конструкций, приведенных на рис. 1, показана на рис. 2. Здесь  $H_p(s)$  — передаточная функция регулятора натяжения (положения измерительного ролика петлеобразователя);  $H_c(s) = (k_\delta/k_c)/(T_c s + 1)$  — оптимизированная согласно [1] передаточная функция контура частоты вращения приводного двигателя;  $k_\delta = D_R/2i_p$ ;  $D_R$  — диаметр тканеведущего вала машины, м;  $i_p$  — передаточное отношение редуктора, установленного между валами двигателя и машины;  $k_c$  — коэффициент обратной связи по частоте вращения двигателя в контуре ее стабилизации, В·с;  $T_c$  — некомпенсированная постоянная времени контура скорости, с;  $H_T(s)$  — передаточная функция полотна;  $m'_p$  — приведенная к измерительному ролику масса подвижных частей петлеобразователя, кг;  $c_{п}$  — жесткость упругого элемента петлеобразователя, Н/м;  $k_r$  — коэффициент, учитывающий геометрию охвата полотном измерительного ролика (для петлеобразователей на рис. 1  $k_r=2$ );  $k_{п}$  — коэффициент передачи чувствительного элемента в цепи обратной связи по перемещению измерительного ролика, В/м;  $T_{фп}$  — постоянная времени фильтра в цепи главной обратной связи, с;  $U_{3п}$  — напряжение задания положения  $i_{п}$  измерительного ролика, В;  $U_{3с}$  — напряжение задания скорости движения полотна, В;  $v_{p,1,2}$  — линейные скорости движения измерительного ролика, а также полотна на входе и выходе зоны деформации, м/с;  $k_v = 1/v_1$ , с/м.

Соотношения, позволяющие рассчитать приведенные параметры  $G$  и  $m'_p$  для двух основных конструкций петлеобразователей, даны на рис. 1.

Практический опыт использования при анализе и расчете параметров контура регулирования натяжения ткани ее упругой модели показал наличие медленно затухающих колебаний с частотой, обусловленной массой измерительного ролика и упругими свойствами полотна.

Реальные процессы деформации полотна демпфируются в боль-

шей степени его вязкоупругими свойствами [5], учет которых в системе регулирования целесообразно выполнять двухзвенной моделью Фойгта-Кельвина [6] при соотношении  $(T_T/\tau) < 3$ , где  $T_T = l/v$ ,  $\tau = \eta/E$ ;  $l$ ,  $v$ ,  $\eta$ ,  $E$  — соответственно длина полотна в зоне деформации, м; скорость его движения, м/с; модули вязкости, Н·с и упругости, Н.

Экспериментальные исследования процессов нагружения образцов ткани [7] свидетельствуют о том, что постоянная  $\tau$  для тканей различных переплетений может изменяться в пределах  $\tau = 1..6$  с. В математической модели полотна, используемой в расчетной структурной схеме (рис. 2), вязкоупругие свойства учитываются, аналогично [6], введением форсирующего звена  $(\tau s + 1)$  в передаточной функции  $H_T(s)$ .

Передаточная функция петлеобразователя с грузовым ( $m_r \neq 0$ ) и упругим ( $c_{\Pi} \neq 0$ ) элементами согласно структурной схеме на рис. 2 имеет вид

$$H_0^c(s) = \frac{\Delta l_{\Pi}(s)}{\Delta v(s)} = \frac{k_r k_v E (\tau s + 1) / c_{\Pi}}{(T_T m_p' / c_{\Pi}) s^3 + (k_r^2 k_v E \tau / c_{\Pi} + m_p' / c_{\Pi}) s^2 + (T_T + k_r^2 k_v E / c_{\Pi}) s + 1} \quad (1)$$

При  $c_{\Pi} = 0$  имеем петлеобразователь с грузовым заданием натяжения и передаточной функцией:

$$H_0^k(s) = \frac{\Delta l_{\Pi}(s)}{\Delta v(s)} = \frac{(\tau s + 1) / k_r}{(T_T m_p' / k_r^2 k_v E) s^2 + (m_p' / k_r^2 k_v E + \tau) s + 1} \quad (2)$$

В этой передаточной функции для реальных соотношений параметров ткани и петлеобразователя

$$\tau \gg (m_p' / k_r^2 k_v E) \text{ и } \tau \gg (T_T m_p' / k_r^2 k_v E),$$

что позволяет редуцировать ее передаточной функцией вида

$$H_0^k(s) = 1 / (k_r s). \quad (3)$$

Наличие интегрального звена в обратной связи по положению измерительного ролика петлеобразователя представляет возможность использования пропорционального регулятора положения ролика с передаточной функцией

$$H_p(s) = (k_c k_r / k_{\delta} k_{\Pi}) \cdot 1 / (a_{\Pi} (T_c + T_{\text{фп}})), \quad (4)$$

где  $a_{\Pi} = 2$  — коэффициент демпфирования, принимаемый при настройке контура положения на технический оптимум [4].

Существенным недостатком петлеобразователей с грузовым элементом  $m_r$  является ограничение, накладываемое на ускорение измерительного ролика в процессе регулирования по условиям его непрерывного контакта с полотном, определяемое инерционностью подвижных частей петлеобразователя, и приведенным к ролику весом  $G$  (рис. 1) его подвижных частей.

Из условия равновесия в динамике измерительного ролика нетрудно определить граничную частоту колебаний, при которой наблюдается недопустимая по условиям складкообразования полотна потеря его контакта с роликом  $\omega_{\text{доп}}$  (рис. 1).

Анализ соотношений для  $\omega_{доп}$  позволяет установить, что с уменьшением натяжения путем перестановки грузового элемента в петлеобразователе рычажной конструкции или увеличения груза в петлеобразователях кареточного типа уменьшается частота  $\omega_{доп}$ , что накладывает жесткое ограничение на быстрдействие контура положения, которое необходимо учитывать при разработке системы электропривода.

При  $\tau=0$   $H_0(s)$  с достаточной степенью точности можно представить аperiodическим звеном с постоянной времени  $(T_T + k_T^2 k_v E / c_{II})$ , что справедливо для материалов, обрабатываемых в диапазоне только упругих деформаций.

При  $\tau \neq 0$  собственные колебания измерительного ролика, обусловленные массой  $m_p'$  и жесткостью упругого элемента  $c_{II}$ , в значительной степени демпфируются вязкоупругим полотном. При этом математическую модель петлеобразователя с достаточной для синтеза параметров регулятора натяжения точностью можно представить как комбинацию аperiodического и форсирующего звеньев:

$$H_0(s) = (k_T k_v E (\tau s + 1)) / c_{II} (T_T s + 1). \tag{5}$$

Настройку регулятора положения в этом случае целесообразно выполнять на компенсируемую постоянную времени  $T_0 = T_T - \tau$ .

Возможные варианты настройки регулятора изображены на рис. 3 логарифмическими амплитудно-фазовыми частотными характеристиками (ЛАЧХ) регуляторов и соответствующих им скорректированных разомкнутых контуров положения, построенных для показанных здесь значений  $T_0$  и  $T_{\mu}$ , а также соответствующими им переходными процессами  $I_{\mu}(t)$  при единичном ступенчатом воздействии  $U_{з.ф.}$ . Параметры системы:  $l=4,5$  м;  $v=0,33$  м/с;  $k_T=2$ ;  $m_p'=36$  кг;  $E=10^4$  Н;  $\tau=4$  с (ткань миткаль арт. 3);  $c_{II}=4,2 \cdot 10^3$  Н/м;  $k_c=0,6$ ;  $k_{\delta}=0,0204$ ;  $T_{\mu п} = T_c + T_{фп} = 0,051$  с;  $k_{II}=10$ .

По условиям транспортирования полотна здесь предпочтительна настройка регулятора положения (4), передаточная функция которого имеет вид

$$H_p(s) = k_c c_{II} (T_0 s + 1) / (k_{\delta} k_{II} k_T k_v E a_{II} (T_c + T_{фп}) s). \tag{6}$$

Анализ результатов расчета показал также неблагоприятное влияние на настройку контура положения измерительного ролика массы подвижных частей  $m_p'$ , уровня рабочей скорости и вязкоупругих свойств материала. Естественная вариация указанных параметров, а также ограничение по  $\omega_{доп}$  не позволяют реализовать оптимальные по быстрдействию динамические характеристики системы.

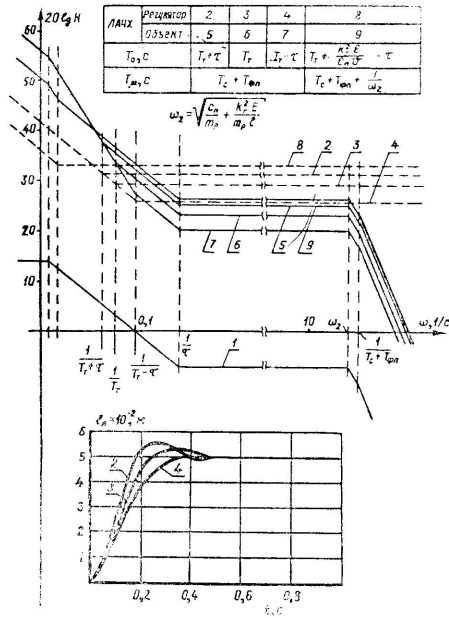


Рис. 3.

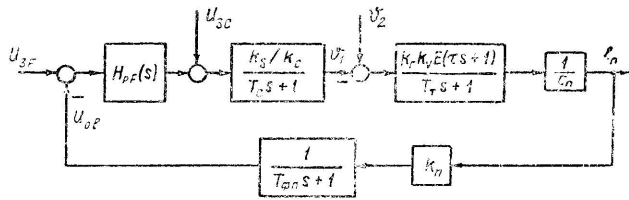


Рис. 4.

Недостатков, связанных с несовершенством конструкций петлеобразователей, можно избежать, применяя измерители натяжения ВФ, построенные на основе тензодатчиков или других известных измерителей силы (рис. 4), работающих при  $I_n \cong 0$ .

Математическая модель петлеобразователя при этом существенно упрощается:

$$H_{0^A}(s) = \Delta F(s) / \Delta v(s) = k_r k_v E (\tau s + 1) / (T_r s + 1). \quad (7)$$

В контуре регулирования натяжения (рис. 4) при определенных соотношениях  $\tau$  и  $T_r$  возможно значительное уменьшение инерционности зоны деформации полотна, что приводит к ужесточению требований динамической точности локальной системы электропривода, ограничивая возможность применения нересервных тиристорных преобразователей [3]. При этом контур натяжения полотна должен выполнять корректирующие функции в системе электропривода, обеспечивающей заданное соотношение скоростей смежных с зоной деформации рабочих органов машин.

## ВЫВОДЫ

Настройку регулятора положения измерительного ролика петлеобразователя (натяжения полотна) в системе электропривода машин для обработки ткани рекомендуется выполнять с учетом ее вязкоупругих свойств и ограничения на частоту пропускания системы, обусловленного возможной в переходных процессах потерей контакта ролика и полотна.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Глазунов В. Ф., Литвинский А. Н. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. — 1980, № 4. С. 61...63.
2. Глазунов В. Ф., Куленко М. С. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. — 1995, № 6. С. 96...101.
3. Глазунов В. Ф., Тарарыкин С. В., Спичков Ю. П. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. — 1983, № 3. С. 81...85.
4. Фишбейн В. Г. Расчет систем подчиненного регулирования вентильного электропривода постоянного тока. — М.: Энергия, 1972.
5. Глазунов В. Ф., Бурков А. П. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. — 1985, № 6. С. 66...71.
6. Глазунов В. Ф., Спичков Ю. П., Красильникьянц А. И. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. — 1982, № 1. С. 71...75.
7. Князев Ю. Б. Разработка и исследование приводных устройств для малонапряженной проводки ткани в сушильных машинах: Дис... канд. техн. наук. — М., 1973.

Рекомендована кафедрой электропривода и автоматизации промышленных установок. Поступила 03.10.96.