

УДК 677.05 : 621.01.001

О ВЛИЯНИИ ВАРИАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ПЕТЛЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ТКАНИ НА ЭЛЕКТРОПРИВОД ТЕКСТИЛЬНОЙ МАШИНЫ

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

(Ивановский государственный энергетический университет)

Отличительной особенностью систем электроприводов (СЭП) текстильных машин является их работа в условиях естественных вариаций параметров объекта, что вызывает утрату известных преимуществ их многоконтурных структур. В двухконтурной СЭП [1], обеспечивающей стабилизацию частоты вращения двигателя и построенной по принципу подчиненного регулирования координат, наибольшее влияние на ее характеристики оказывает вариация коэффициента усиления тиристорного преобразователя и момента инерции механизма. Введение третьего контура регулирования по натяжению полотна [2] приводит к зависимости характеристик СЭП от варьируемых в процессе работы машины параметров петлеобразователя.

В типовой зоне деформации ткани, представленной петлеобразователем [2], введем обобщенный вектор $\alpha = [E, v_c, m_p, k_r, l, \tau, k_c, T_c]$, содержащий все возможные варьируемые параметры: E — модуль упругости полотна, приведенный к его ширине, Н; v_c — средняя скорость движения ткани, м/с; m_p — масса ролика, кг; k_r — коэффициент геометрии, обусловленный углом охвата полотном измерительного ролика; τ — постоянная времени, зависящая от вязкоупругих свойств материала, с; k_c, T_c — коэффициент передачи и постоянная времени оптимизированного контура скорости СЭП; l — длина полотна, м. Такой состав вектора α обусловлен возможностью вариаций указанных параметров в широких пределах. Так, величина модуля упругости E тканей, обрабатываемых, например, на одной поточной линии, может отличаться на порядок, а постоянная времени τ для различных материалов может иметь значение нескольких секунд. Изменение противовеса в петлеобразователе с целью задания натяжения полотна на практике приводит к вариации приведенного момента инерции его подвижных частей. Скорость транспортирования полотна варьируется в зависимости от его артикула и режима работы, а коэффициент геометрии, принимаемый в моделях зоны транспортирования постоянным, в общем случае зависит от текущей координаты h измерительного ролика:

$$k_r = \sqrt{a^2 + 4},$$

где $a = L/h$;

L — расстояние между тканенаправляющими роликами петлеобразователя.

Длина l материала изменяется в зависимости от выбранной заправки ткани в зоне обработки, а также при перемещении измерительного ролика. Исследования [1] показали возможность существенных вариаций параметров оптимизированного контура скорости k_c и T_c .

Возможные подходы к решению задачи анализа чувствительности СЭП к вариации параметров петлеобразователя рассмотрим на примере двухмашинного агрегата [2, рис. 1] с ведущей и ведомой приводными точками и петлеобразователем с упругим элементом, измерительный ролик которого охвачен транспортируемым по направляющим роликам полотном.

В этом случае движению измерительного ролика петлеобразователя на участке транспортирования ткани соответствует уравнение состояния [2]:

$$\dot{X} = AX + BU, \quad (1)$$

где $X = [x_1 x_2 x_3 x_4]^T$, $U = [G v_2]^T$ — векторы состояния и управления;

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ -c_{\text{п}}/m_{\text{п}} & -k_{\text{r}}^2 E \tau / m_{\text{п}} l & k_{\text{r}} E (l - v_{\text{c}} \tau) / m_{\text{п}} l & -k_{\text{r}} E \tau / m_{\text{п}} l \\ 0 & -k_{\text{r}} / l & -v_{\text{c}} / l & -1/l \\ k_{\text{c}} / T_{\text{c}} & 0 & 0 & -1/T_{\text{c}} \end{bmatrix},$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ -1/m_{\text{п}} & k_{\text{r}} E \tau / m_{\text{п}} l \\ 0 & 1/l \\ 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

Здесь A — матрица обратных связей, B — матрица управления, причем $x_1 = h$ — перемещение измерительного ролика, м; $x_2 = v_{\text{п}}$ — скорость ролика, м/с; $x_3 = \varepsilon$ — относительное удлинение ткани; $x_4 = v_1$ — скорость ведомого и v_2 — ведущего двигателей, м/с; G — вес неуравновешенной части петлеобразователя, Н; $c_{\text{п}}$ — жесткость упругого элемента петлеобразователя, Н/м.

Соответствующая (1) передаточная функция (ПФ) замкнутой системы

$$H(s) = h(s)/v_2(s) = k_{\text{r}} E (\tau s + 1) (T_{\text{c}} s + 1) / \Delta,$$

$$\text{где } \Delta = m_{\text{п}} l T_{\text{c}} s^4 + a_1 s^3 + a_2 s^2 + a_3 s + c_{\text{п}} v_{\text{c}} + k_{\text{r}} k_{\text{c}} E;$$

$$a_1 = m_{\text{п}} l + m_{\text{п}} v_{\text{c}} T_{\text{c}} + k_{\text{r}}^2 E \tau T_{\text{c}};$$

$$a_2 = m_{\text{п}} v_{\text{c}} + k_{\text{r}}^2 E \tau + c_{\text{п}} l T_{\text{c}} + k_{\text{r}}^2 E T_{\text{c}};$$

$$a_3 = k_{\text{r}}^2 E + c_{\text{п}} l + c_{\text{п}} v_{\text{c}} T_{\text{c}} + k_{\text{r}} E k_{\text{c}} \tau.$$

В этих условиях адекватность используемых в практике проектирования СЭП динамических моделей объекта (1) возможна на основе анализа ее чувствительности к вариации параметров вектора a .

Для линейной системы (1) уравнения чувствительности имеют вид [3]:

$$du_{ij}/dt = \sum_{k=1}^n a_{ik} u_{kj} + \sum_{k=1}^n c_{ik} x_k + \sum_{q=1}^z d_{iq} f_q(t), \quad i=1, \dots, n; \quad j=1, \dots, m, \quad (2)$$

где x_k — фазовые координаты;
 $f_q(t)$ — внешние воздействия;

- a_{ik} и b_{iq} — постоянные коэффициенты в системе (1) соответственно при x_k и f_q ;
 $c_{ik} = \partial a_{ik} / \partial a_j$; — частные производные от коэффициентов системы (1) по варьируемому параметру a_j ;
 $d_{iq} = \partial b_{iq} / \partial a_j$ — функции чувствительности (ФЧ) i -й координаты к вариациям j -го параметра;
 $u_{ij} = \partial x_i / \partial a_j$ — функции чувствительности (ФЧ) i -й координаты к вариациям j -го параметра;
 n — число фазовых координат;
 z — число внешних воздействий;
 m — размерность вектора параметров α .

Очевидно, для определения дополнительного движения выходной координаты, обусловленного вариацией параметра a_j , необходимо (определив исходное движение) совместно решить (1) и (2) с учетом начальных условий. Так, для нашего объекта (1), где $m=8$, имеем систему из 35 дифференциальных уравнений, решение которой возможно с помощью средств вычислительной техники. При этом матрицы системы (2) уравнений чувствительности к вариации модуля упругости, соответствующей (1), имеют вид

$$A_q = A,$$

$$C_q = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -k_r^2 \tau / m_p l & k_r (l - v_c \tau) / m_p l & -k_r \tau / m_p l \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

$$D_q = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & k_r \tau / m_p l \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

Решение (2) позволило найти ФЧ выходной координаты x_1 к вариациям восьми параметров. На рис. 1 приведены ФЧ x_1 к вариации E , v_c , k_r , l , τ , m_p , k_c , T_c для объекта с параметрами $E=10^4$ Н, $v_c=1$ м/с, $m_p=36$ кг, $k_r=2$, $\tau=4$ с, $l=4,5$ м, $c_{II}=4200$ Н/м, $k_c=19$, $T_c=0,05$ с.

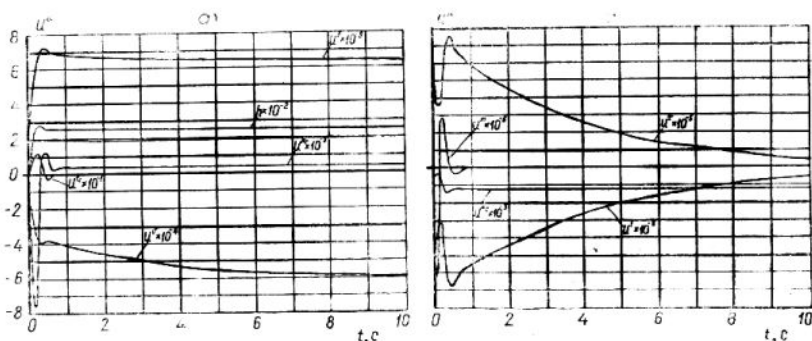


Рис. 1.

Анализ ФЧ показал, что уменьшение длины ткани в зоне деформации приводит к появлению перерегулирования, наблюдаемого также при снижении скорости транспортирования, уменьшении коэффициента передачи СЭП k_c и увеличении параметров ткани E и τ . Наряду с пере-

регулированием возрастает быстродействие обработки управляющего воздействия. К увеличению быстродействия приводит также уменьшение массы измерительного ролика и коэффициента геометрии k_r , однако в этом случае перерегулирование отсутствует. Следует отметить, что вариации l , m_p , τ , T_c не влияют на статические показатели системы, то есть установившаяся величина дополнительного движения равна нулю, тогда как при вариациях E , v_c и k_r составляет $\pm c_{п}v_c/(k_r E k_c + c_{п}v_c)$, а для k_c равна $k_r k_c E/(k_r k_c E + c_{п}v_c)$.

Результаты анализа позволяют утверждать, что с точки зрения влияния на динамические и статические характеристики системы наиболее неблагоприятными являются вариации E , τ , v_c и k_c , далее следуют T_c и l и, наконец, m_p и k_r . Однако нужно учитывать, что вариации приведенной массы m_p являются следствием изменения массы противовеса, то есть соответствующего изменения компонента G вектора управления. Вариации m_p накладывают ограничение на динамику системы по условию непрерывного контакта измерительного ролика с полотно.

Ориентируясь на использование в дальнейшем ФЧ для решения задачи синтеза СЭП, выполним их оценку структурным методом [4]. В этом случае целесообразно определить полулогарифмическую функцию чувствительности (ПЛФЧ), представляемую как результат воздействия выхода системы на модель чувствительности, состоящую из последовательно соединенных систем с передаточными функциями:

$$B_i(s) = \partial \ln W / \partial \ln W_i \quad \text{и} \quad C_i(s) = \partial \ln W_i / \partial \ln a_i, \quad (3)$$

где W_i — звено с варьируемым параметром a_i . Очевидно, произведение B_i на C_i дает логарифмическую функцию чувствительности (ЛФЧ). С учетом (1) и (3) ЛФЧ принимают вид

$$S^{E_W} = 1 - k_r E [k_r \tau T_c s^3 + (k_r \tau + k_r T_c) s^2 + (k_r + k_c \tau) s + k_c] / \Delta;$$

$$S^{W^{k_c}} = -k_r k_c E (\tau s + 1) / \Delta;$$

$$S^{W^{m_p}} = -m_p [l T_c s^4 + (l + v_c T_c) s^3 + v_c s^2] / \Delta;$$

$$S^{W^{v_c}} = -v_c (m_p T_c s^3 + m_p s^2 + c_{п} T_c s + c_{п}) / \Delta;$$

$$S^{W^l} = -l (m_p T_c s^4 + m_p s^3 + c_{п} T_c s^2 + c_{п} s) / \Delta;$$

$$S^{W^{T_c}} = k_r k_c E T_c s (\tau s + 1) / (T_c s + 1) \Delta;$$

$$S^{W^{\tau}} = \tau s / \tau s + 1 - k_r E \tau (k_r T_c s^3 + k_r s^2 + k_c s) / \Delta;$$

$$S^{W^{k_r}} = 1 - k_r E [2k_r \tau T_c s^3 + 2k_r (\tau + T_c) s^2 + (2k_r + k_c \tau) s + k_c] / \Delta.$$

На рис. 2 показана структурная схема модели для расчета ПЛФЧ к вариациям параметров вектора a . Выходная координата h модели объекта (МО) воздействует на модель чувствительности (МЧ), вызывая при подаче ступенчатого возмущения на вход v_2 на восьми ее выходах одновременное появление всех ПЛФЧ.

Преобразование математической модели системы к стандартной форме [4] позволяет найти точки чувствительности, к которым подключаются модели чувствительности

$$C_E = C_{k_c} = -C_m = 1; \quad C_{v_c} = -v_c / (l s + v_c);$$

$$C_l = -l s / (l s + v_c); \quad C_{\tau} = \tau s / (\tau s + 1); \quad C_{T_c} = -T_c s / (T_c s + 1),$$

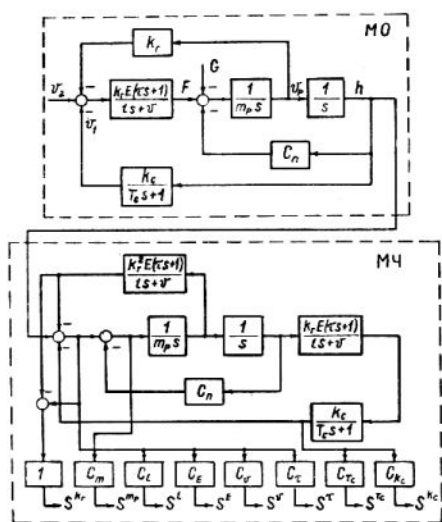


Рис. 2.

обеспечивающие ПЛФЧ. Что касается коэффициента геометрии, включенного как в прямую, так и в обратную передачи контура, то $S^{hr, vt}$ определяется в результате суммирования соответствующих ЛФЧ по каждой передаче в отдельности. Результаты моделирования качественно совпадают с кривыми, полученными из решения уравнений (2), но ПЛФЧ удобны для анализа, поскольку не зависят от абсолютной величины изменения параметра и, кроме того, могут использоваться в целях уменьшения чувствительности системы к вариациям параметров.

Снижение чувствительности системы к вариациям параметров достигается путем организации обратных связей по ПЛФЧ и пошаговой коррекции управляющего воздействия, минимизирующего функционал

качества. При снижении чувствительности без изменения структуры системы можно рекомендовать встречное изменение длины l и скорости v_c , приводящее к взаимной компенсации коэффициента передачи и постоянной времени ткани. Для ткани с большей постоянной времени τ более приемлем высокий уровень рабочей скорости, что уменьшает также и влияние вариаций модуля упругости E , которые отчасти компенсируются изменением коэффициента k_c передачи СЭП путем перестройки параметров регулятора скорости электропривода.

ВЫВОДЫ

Анализ функций чувствительности математической модели типовой зоны деформации ткани к вариациям обобщенного вектора параметров системы электропривода, выполненный по уравнениям чувствительности и структурным методом, показал существенную зависимость ее динамических и статических характеристик от вариаций модуля упругости и постоянной времени τ материала, уровня скорости транспортирования и коэффициента передачи СЭП. Уменьшение чувствительности системы к вариациям параметров достигается их парным взаимокompенсирующим изменением (длина в зоне деформации и скорость транспортирования, модуль упругости ткани и скорость, модуль упругости и коэффициент передачи СЭП и т. д.).

ЛИТЕРАТУРА

1. Глазунов В. Ф., Красильникъянц Е. В., Пикунов В. В. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. — 1984, № 5.
2. Глазунов В. Ф., Куленко М. С. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. — 1995, № 6.
3. Розенвассер Е. Н., Юсупов Р. М. Чувствительность систем автоматического управления. — Л.: Энергия, 1969. С. 207.
4. Кокотович П. // Автоматика и телемеханика. — 1964. Т. XXV. № 12. С. 1670.. 1676.

Рекомендована кафедрой электропривода и автоматизации промышленных установок. Поступила 03.10.96.