

УДК 677.023:62-83

**АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОПРИВОДА
МЕХАНИЗМА НАМОТКИ СНОВАЛЬНОГО ВАЛА***

**THE WARPING BEAM'S
WINDING MECHANISM ELECTRIC DRIVE ANALYSIS**

В.Ф. ГЛАЗУНОВ, А.А. РЕПИН
V.F. GLAZUNOV, A.A. REPIN

(Ивановский государственный энергетический университет)
(Ivanovo State Power University)
E-mail: office@ispu.ru

Приведены функциональная схема и направленный граф системы электропривода механизма сновального вала с учетом зоны деформации основы. Выполнен анализ чувствительности системы к вариациям ее параметров.

A block diagram and a directed graph of the warping beam's electric drive system including basis deformation zone are given. System's sensitivity analysis to parameters variation is provided.

Ключевые слова: электропривод, деформация, сновальный вал, чувствительность.

Keywords: electric drive, deformation, warping beam, sensitivity.

Использование частотно-регулируемого асинхронного электропривода [1], [2] для механизма намотки сновальных валов обуславливает необходимость анализа ее с учетом технологических параметров зоны деформации основы в переходных процессах, существенно влияющих на обрывность нитей.

В [3] показано взаимное влияние деформаций основы и нити в процессе намотки сновального вала. Здесь рассмотрим динамику его системы электропривода с учетом процесса деформации основы.

В процессе снования перематываемые с бобин шпулярника на сновальный вал нити проходят через зону деформации, в которой на них действуют силы распределенного (трение о воздух) и сосредоточенного (трение о направляющие элементы в нитенатяжных приборах) трения. При этом натяжение основы складывается из натяжений отдельных нитей, имеющих разную длину и в общем случае разное натяжение, отклонение которого определяется случайными факторами [4], [5].

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 14-19-00972).

Совокупное действие сил трения существенно осложняет решение задачи анализа процессов деформации основы в системе электропривода сновального вала, что вызывает необходимость принимать следующие допущения:

- силы трения приводятся к одному узлу трения, расположенному на некотором расстоянии от мерильного вала, а натяжение основы линейно зависит от ее скорости движения;
- основа представляется упругим материалом, подчиняющимся закону Гука, и процесс деформации рассматривается в области положительных натяжений;
- давление укатывающего вала учитывается в статическом моменте двигателя.

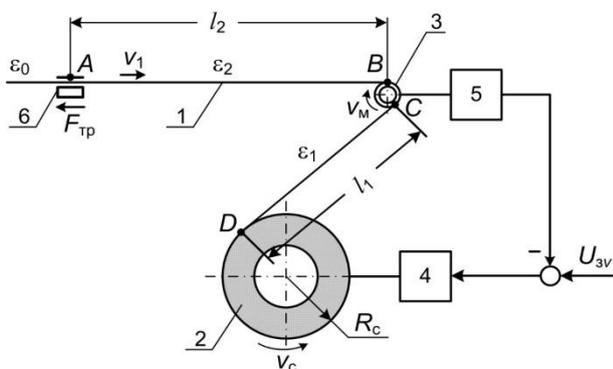


Рис. 1

На рис. 1 представлена схема зоны деформации основы, где относительное удлинение ε_1 основы 1 создается за счет разностей ее скоростей $\Delta v_1 = v_c - v_m$ на поверхностях сновального 2 и мерильного 3 валов.

Относительное удлинение основы ε_2 является результатом действия разности скоростей $\Delta v_2 = v_m - v_1$, где v_1 – скорость движения основы на выходе узла трения 6.

Сновальный вал 2 приводится во вращение от электродвигателя 4. Система электропривода замкнута обратной связью по скорости v_m мерильного вала с помощью датчика скорости 5. Совокупность действия всех сил трения учитывается узлом трения 6, расположенном на некотором расстоянии l_2 от мерильного вала. Величина указанного расстояния определяется как среднее от суммы длин всех нитей основы до

бобин шпулярника, сумма натяжений которых составляет полное натяжение основы.

Относительное удлинение ε_0 на входе узла трения 6 примем равным его среднему значению в вершинах баллонов бобин шпулярника [6].

Зависимость натяжения каждой нити основы от скорости в общем случае может быть представлена степенной функцией с коэффициентами, определяемыми экспериментально [7]. Для упрощения решения примем линейную зависимость скорости v_1 на выходе узла трения от относительного удлинения ε_2 в виде $v_1 = K\varepsilon_2$, и запишем уравнение деформации основы на участке АВ (рис. 1) [5]:

$$l_2 \frac{d\varepsilon_2}{dt} = -(K - v_m)\varepsilon_2 + v_m(1 + \varepsilon_0). \quad (1)$$

Тогда соответствующая (1) передаточная функция имеет вид:

$$H_1(s) = \frac{\varepsilon_2(s)}{v_m(s)} = \frac{1 + \varepsilon_0}{\frac{K - v_m}{T_2 s + 1}}, \quad (2)$$

где $T_2 = \frac{l_2}{K - v_m}$ – постоянная времени деформации основы на участке АВ, с.

Учитывая, что $K \gg v_m$, передаточную функцию (2) приведем к виду:

$$H_1(s) = \frac{\varepsilon_2(s)}{v_m(s)} = \frac{1 + \varepsilon_0}{\frac{K}{\frac{l_2}{K} s + 1}}. \quad (3)$$

Анализ (2) показывает зависимость коэффициента усиления передаточной функции от относительного удлинения ε_0 основы на входе узла трения, а также скорости v_m основы на поверхности мерильного вала.

Уравнение в операторной форме без учета нулевых начальных условий для процесса деформации основы на участке CD (рис. 1) имеет вид [9]:

$$l_1 s \varepsilon_1(s) = v_c(s) - v_m(s) + v_c(s) \varepsilon_1(s). \quad (4)$$

Уравнение движения мерильного вала:

$$\frac{J_M}{ER_M^2} s v_M(s) = \varepsilon_1(s) - \varepsilon_2(s), \quad (5)$$

где J_M , R_M – соответственно момент инерции мерильного вала, кг·м² и его радиус, м; E – модуль упругости основы, приведенный к ее ширине.

Соответствующие (4) и (5) передаточные функции имеют вид:

$$H_2(s) = \frac{\varepsilon_1(s)}{(v_c - v_M + \varepsilon_1 K_v^{-1})(s)} = \frac{K_v}{T_1 s + 1}, \quad (6)$$

$$H_3(s) = \frac{v_M(s)}{(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)(s)} = \frac{K_M}{s}, \quad (7)$$

где $K_v = \frac{1}{v_c}$, $T_1 = \frac{\ell_1}{v_c}$, $K_M = \frac{R_M^2 E}{J_M}$.

На рис. 2 представлен направленный граф деформации основы, построенный в соответствии с передаточными функциями (3), (6) и (7).

Учитывая широкую полосу пропускания частотно-регулируемого асинхронного электропривода с векторной системой

$$H_3(s) = \frac{\varepsilon_2(s)}{U_{zv}(s)} = \frac{H_1(s)H_2(s)H_3(s)H_n(s)}{1 + H_1(s)H_3(s) + H_2(s)H_3(s)(H_1(s)K_v^{-1} + K_{dv}H_n(s))}. \quad (9)$$

Так как $(T_1 + T_2) \gg T_{эп}$, то после подстановки в (9) выражений для передаточных

$$H_3(s) = \frac{K_{эп} K_v K_M K_3}{\left[T_1 T_2 s^3 + (T_1 + T_2) s^2 + (1 + K_M K_3 T_1 + K_M K_v T_2 + K_M K_{dv} K_{эп} K_v T_2) s + 2K_M K_3 + K_M K_v + K_{dv} K_{эп} K_M K_v \right]}. \quad (10)$$

После введения обозначений

$$\begin{aligned} a_0 &= T_1 T_2, \\ a_1 &= T_1 + T_2, \\ a_2 &= 1 + K_M K_3 T_1 + K_M K_v (1 + K_{dv} K_{эп}) T_2, \\ a_3 &= 2K_M K_3 + K_M K_v (1 + K_{dv} K_{эп}) \end{aligned}$$

передаточная функция (10) будет иметь вид:

$$H_3(s) = \frac{K_{эп} K_v K_M K_3}{a_0 s^3 + a_1 s^2 + a_2 s + a_3}. \quad (11)$$

управления [9] ($\omega_{пр} > 70$ Гц), представим его апериодическим звеном с передаточной функцией:

$$H_n(s) = \frac{v_c(s)}{(U_{zv} - K_{dv} v_M)(s)} = \frac{K_{эп}}{T_{эп} s + 1}, \quad (8)$$

где U_{zv} – напряжение, задающее скорость движения основы, В; K_{dv} – коэффициент обратной связи по скорости, В·с/м; $K_{эп}$ – коэффициент усиления; $T_{эп}$ – постоянная времени электропривода, с.

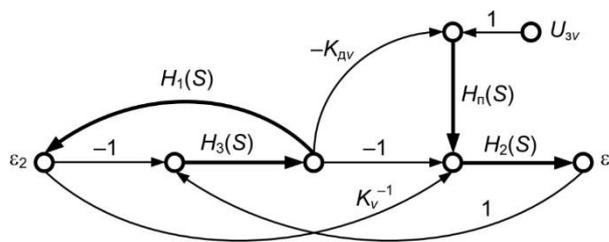


Рис. 2

Введем обозначение $\frac{1}{K} \varepsilon_0 = K_3$ и найдем передаточную функцию замкнутой системы:

функций и преобразований, имеем:

$$\frac{(T_1 + T_2)(1 + K_M K_3 T_1 + K_1 T_2)}{T_1 T_2 (2K_M K_3 + K_1)} > 1, \quad (12)$$

где $K_1 = K_M K_v (1 + K_{dv} K_{эп})$.

На рис. 3 показана зависимость $\varepsilon_2(t)$ при заданном на входе системы электропривода напряжении $U_{zv} = 10$ В.

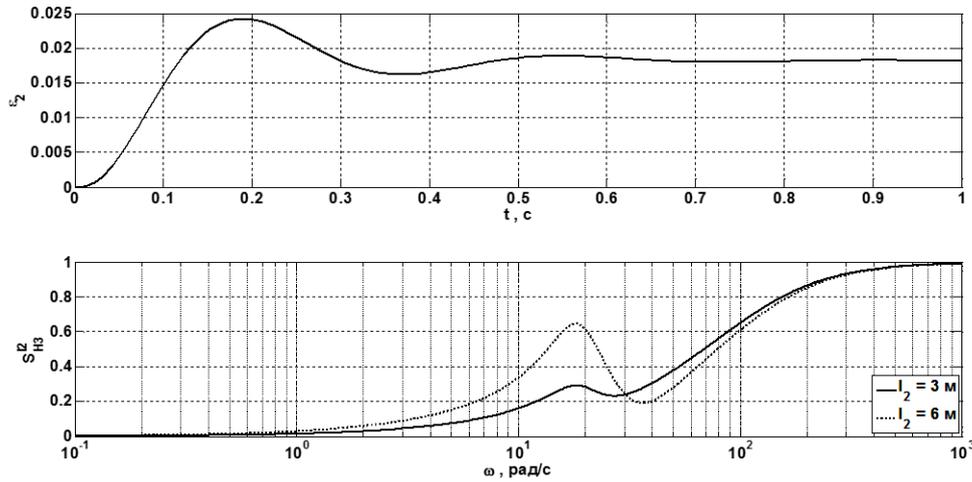


Рис. 3

Из (10) получим зависимость $\varepsilon_2(U_{3v})$ в статике:

$$\varepsilon_2 = \frac{K_{эп} K_v K_3}{2K_3 + K_v (1 + K_{дв} K_{эп})}. \quad (13)$$

Анализ (13) показывает практически линейную зависимость $\varepsilon_2(U_{3v})$.

Исследуем чувствительность передаточной функции (11) к вариации ℓ_2 [11]:

$$S_{H_3}^{\ell_2}(s) = \frac{\partial H_3(s)}{\partial T_2} \frac{\partial T_2}{\partial \ell_2} \frac{\ell_2}{H_3(s)}. \quad (14)$$

После преобразований (14) имеем функцию чувствительности передаточной функции системы к вариации параметра ℓ_2 основы:

$$S_{H_3}^{\ell_2}(s) = \frac{a_0 s^3 + T_2 s^2 + K_M K_v (1 + K_{дв} K_{эп}) T_2 s}{\Delta}, \quad (15)$$

где $\Delta = a_0 s^3 + a_1 s^2 + a_2 s + a_3$.

Для исследования влияния на передаточную функцию системы электропривода вариации длины ℓ_2 основы, определяемой как средняя длина всех нитей основы от мерильного вала до бобин шпулярика, построим зависимость частотной функции чувствительности передаточной функции $S_{H_3}^{\ell_2}(s)$.

На рис. 3 представлены частотные функции чувствительности $S_{H_3}^{\ell_2}(\omega)$, показывающие увеличение чувствительности с ростом частоты. При этом изменение длины ℓ_2 мало влияет на кривую чувствительности, и в области полосы пропускания система является грубой по отношению к вариации указанной длины, что снижает требования к точности ее определения.

Параметры системы: $\ell_1 = 0,56$ м; $\ell_2 = 6$ м; $J_M = 0,02$ кг·м²; $R_M = 0,053$ м; $E = 800$ Н; $v_c = 10$ м/с; $\varepsilon_0 = 0,025$; $U_{3v} = 10$ В; $K_{эп} = 2,5$; $K_{дв} = 10$; $K = 40$; $T_1 = 0,056$ с; $K_3 = 2,6 \cdot 10^{-3}$; $T_2 = 0,015$ с.

Полоса пропускания $\omega_{пр} = 2,67$ Гц.

ВЫВОДЫ

С учетом принятых допущений разработана математическая модель системы электропривода механизма сновального вала и процесса деформации основы под действием сил сопротивления движению, приведенных к одному узлу трения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Глазунов В.Ф., Виноградов А.Б., Шишков К.С. Асинхронный электропривод механизма формирования сновальных валов // Вестник ИГЭУ. – 2011. – Вып. 1. С. 83...87.
2. Глазунов В.Ф. О построении асинхронного электропривода механизмов намотки сновальных

валов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2014, № 6. С. 95...98.

3. Глазунов В.Ф., Шишков К.С. Математическое моделирование процессов деформации основы и нити в системе электропривода механизма сновального вала // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2013, № 6. С. 143...147.

4. Ефремов Е.Д., Плужник Т.С. О неравномерности деформаций нити при наматывании на сновальный валик // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1982, № 6. С. 37...39.

5. Ефремов Е.Д., Попова Г.К. Экспериментальное определение неравномерности натяжения нитей основы при наматывании на сновальный валик // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1970, № 4. С. 47...49.

6. Плужник Т.С., Быкадоров Р.В. О натяжении нити при сматывании с бобины // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1974, № 4. С. 60...62.

7. Брут-Бруляко А.Б., Ступников А.Н. Экспериментальное исследование натяжения льняных нитей в зависимости от скорости снования // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1998, № 2. С. 40...43.

8. Быстров А.М., Глазунов В.Ф. Многодвигательные автоматизированные электроприводы поточных линий текстильной промышленности. – М.: Легкая индустрия, 1977.

9. Виноградов А.Б. Векторное управление электроприводами переменного тока. – Иваново: ИГЭУ, 2008.

10. Ключев А.С. Автоматическое регулирование. – М.: Энергия, 1967.

11. Розенвассер Е.Н., Юсупов Р.М. Чувствительность систем управления. – М.: Наука, 1981.

REFERENCES

1. Glazunov V.F., Vinogradov A.B., Shishkov K.S. Asinhronnyj jelektroprivod mehanizma formirovanija snoval'nyh valov // Vestnik IGJeU. – 2011. – Вып. 1. С.83...87.

2. Glazunov V.F. O postroenii asinhronnogo jelektroprivoda mehanizmov namotki snoval'nyh valov // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2014, № 6. S. 95...98.

3. Glazunov V.F., Shishkov K.S. Matematicheskoe modelirovanie processov deformacii osnovy i niti v sisteme jelektroprivoda mehanizma snoval'nogo vala // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2013, № 6. S. 143...147.

4. Efremov E.D., Pluzhnik T.S. O neravnomernosti deformacij niti pri namatyvanii na snoval'nyj valik // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 1982, № 6. S. 37...39.

5. Efremov E.D., Popova G.K. Jeksperimental'noe opredelenie neravnomernosti natjazhenija nitej osnovy pri namatyvanii na snoval'nyj valik // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 1970, № 4. S.47...49.

6. Pluzhnik T.S., Bykadorov R.V. O natjazhenii niti pri smatyvanii s bobiny // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 1974, № 4. S. 60...62.

7. Brut-Bruljako A.B., Stupnikov A.N. Jeksperimental'noe issledovanie natjazhenija l'njanyh nitej v zavisimosti ot skorosti snovanija // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 1998, № 2. S.40...43.

8. Bystrov A.M., Glazunov V.F. Mnogodvigatel'nye avtomatizirovannye jelektroprivody potocnyh linij tekstil'noj promyshlennosti. – М.: Legkaja industrija, 1977.

9. Vinogradov A.B. Vektornoe upravlenie jelektroprivodami peremennogo toka. – Ivanovo: IGJeU, 2008.

10. Kljuev A.S. Avtomaticheskoe regulirovanie. – М.: Jenergija, 1967.

11. Rozenvasser E.N., Jusupov R.M. Chuvstvitel'nost' sistem upravlenija. – М.: Nauka, 1981.

Рекомендована кафедрой электропривода и автоматизации промышленных установок. Поступила 12.05.16.