

ЧАСТОТНЫЙ АНАЛИЗ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ПЕРЕДАТОЧНЫХ ФУНКЦИЙ ПЕТЛЕОБРАЗОВАТЕЛЯ К ВАРИАЦИИ ПАРАМЕТРОВ

М.А. СОЛОМАНИЧЕВ, А.В. ГЛАЗУНОВ

(Ивановский государственный энергетический университет)

Обеспечение заданного натяжения ткани в процессе ее обработки на оборудовании непрерывного действия является одной из главных технологических задач, решение которой в значительной степени влияет на качество готового продукта и производительность оборудования.

Обеспечить стабилизацию натяжения полотна в зоне обработки только на основе измерения и поддержания соотношения скоростей рабочих органов машин не представляется возможным, так как оно во многом зависит от действия неконтролируемых случайных факторов (деформационных свойств ткани, сил распределенного и сосредоточенного трения, конструктивных параметров валковых пар и т.п.).

Использование петлеобразователя позволяет контролировать все влияющие на натяжение факторы и обеспечить их компенсацию регулированием соотношения скоростей.

Анализ динамических характеристик петлеобразователя [1], [2] позволяет характеризовать его как колебательное звено. Это обусловлено массой измерительного ролика, установкой на нем упругого элемента, а также вязкоупругими свойствами ткани. Естественные факторы, к которым относятся силы сухого трения в подвижных частях петлеобразователя и вязкие свойства транспортируемого полотна, не создают достаточного демпфирующего действия, что осложняет работу системы электропривода.

Демпфирование колебаний измерительного ролика петлеобразователя возможно установкой специального демпфера, обеспечивающего силовое воздействие на ролик, пропорциональное скорости его перемещения. При этом петлеобразователь, используемый как датчик натяжения,

работает в условиях естественной вариации параметров (массы измерительного ролика, жесткости упругого элемента и обрабатываемого полотна, скорости его транспортирования).

Все это обуславливает необходимость исследования чувствительности системы автоматической стабилизации натяжения полотна, осуществляемой с помощью петлеобразователя.

Здесь выполним оценку чувствительности передаточной функции петлеобразователя к вариации параметров ткани, массы измерительного ролика и жесткости упругого элемента.

На рис. 1 представлена структурная схема указанного петлеобразователя [2].

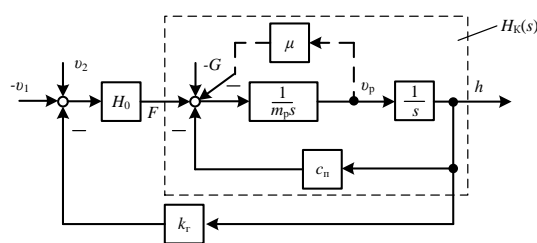


Рис. 1

$$\text{Здесь } H_0(s) = \frac{F(s)}{\Delta v(s)} = \frac{k_v E}{T_{II}s + 1} \text{ — переда-$$

точная функция транспортируемого полотна; $v_{1,2}$ — скорости движения полотна на входе и выходе петлеобразователя, м/с;

$\Delta v = v_2 - v_1$; $k_v = \frac{1}{v}$; v , F — скорость движе-

ния полотна, м/с и его натяжение, Н; $k_r = 2$;

$T_{II} = \frac{1}{v}$, ℓ — длина полотна в зоне деформа-

ции, м; E — модуль упругости полотна, отнесенный к его ширине, Н; c_n — жесткость упругого элемента, Н/м; m_p — масса измерительного ролика, кг; μ — коэффициент демпфирования, Н·с/м.

Для начала выполним оценку чувствительности передаточной функции $H_k(s)$ (рис. 1) петлеобразователя при $\mu = 0$:

$$H_k(s) = \frac{\Delta h(s)}{\Delta F(s)} = \frac{1}{m_p s^2 + c_n}.$$

Запишем логарифмическую функцию чувствительности [3] $H_k(s)$ к вариации массы m_p измерительного ролика:

$$S_{m_p}^{H_k}(s) = \frac{\partial H_k}{\partial H_{m_p}} \frac{H_{m_p}}{H_k} = -\frac{m_p s^2}{m_p s^2 + c_n}. \quad (1)$$

Чувствительность $H_k(s)$ к вариации c_n :

$$S_{c_n}^{H_k}(s) = -\frac{c_n}{m_p s^2 + c_n}. \quad (2)$$

Анализ (1) и (2) позволяет установить уменьшение чувствительности $H_k(s)$ к вариации m_p с ростом c_n и ее уменьшение к вариации c_n с ростом m_p . Нетрудно видеть, что при $c_n = 0$ чувствительность $S_{m_p}^{H_k}(s) = -1$, так же, как $S_{c_n}^{H_k}(s) = -1$ при $m_p = 0$.

Найдем чувствительность как функцию частоты, подставив в (1) $s = j\omega$. Тогда имеем:

$$S_{m_p}^{H_k}(j\omega) = \frac{1}{\frac{c_n}{m_p \omega^2} - 1}. \quad (3)$$

Аналогичная чувствительность $H_k(s)$ к вариации жесткости c_n упругого элемента

$$S_{c_n}^{H_k}(j\omega) = \frac{1}{\frac{m_p}{c_n} \omega^2 - 1}. \quad (4)$$

На рис. 2-а и 2-б представлены графические зависимости функций чувствительности от частоты, рассчитанные в среде моделирования автоматических систем регулирования Simulink программной среды MATLAB 7.2 по (3) и (4) для петлеобразователя с параметрами: $c_n = 2,7 \cdot 10^3$ Н/м (кривая 1 на рис. 2-б) и $c_n = 270$ Н/м (кривая 2 на рис. 2-б); $m_p = 10$ кг (кривая 1 на рис. 2-а) и $m_p = 30$ кг (кривая 2 на рис. 2-а), показывающие чувствительность передаточной функции петлеобразователя к вариациям c_n и m_p в области малых ($\omega < 30$ рад/с, $f < 5$ Гц) частот, а также увеличение частоты пропускания с уменьшением m_p и увеличением c_n .

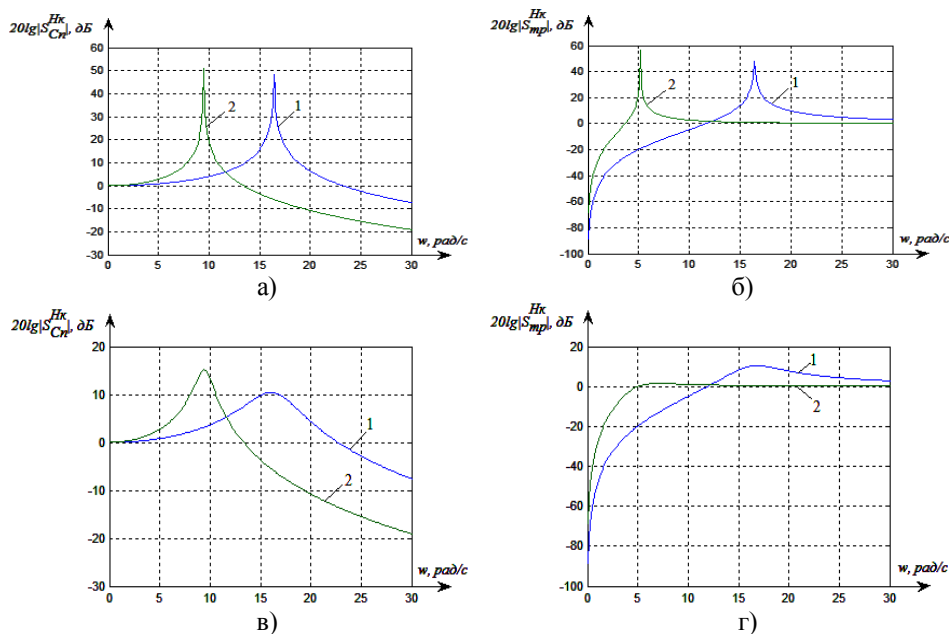


Рис. 2

При установке демпфера с коэффициентом демпфирования $\mu = 50$ Н·с/м передаточная функция (1) примет вид:

$$H_{kl}(s) = \frac{1}{m_p s^2 + \mu s + c_n}. \quad (5)$$

Тогда логарифмические функции чувствительности $H_{kl}(s)$ к вариации m_p и c_n :

$$S_{m_p}^{H_{kl}}(s) = -\frac{m_p s^2}{m_p s^2 + \mu s + c_n}, \quad (6)$$

$$S_{c_n}^{H_{kl}}(s) = -\frac{c_n}{m_p s^2 + \mu s + c_n}. \quad (7)$$

Соответствующие (6) и (7) частотные функции чувствительности:

$$S_{m_p}^{H_{kl}}(j\omega) = \frac{1}{\frac{c_n}{m_p \omega^2} + j \frac{\mu}{m_p} \omega - 1}, \quad (8)$$

$$S_{c_n}^{H_{kl}}(j\omega) = \frac{1}{\frac{m_p}{c_n} \omega^2 + j \frac{\mu}{c_n} \omega - 1}. \quad (9)$$

На рис. 2-в и 2-г представлены графические зависимости функций чувствительности (8), (9) от частоты, рассчитанные при значении коэффициента демпфирования $\mu = 50$ Н·с/м и параметрах m_p и c_n , соответствующих обозначениям 1 и 2, принятым на рис. 2-а и 2-б, показывающие уменьшение, по сравнению с (3) и (4), как чувствительности, так и скорости ее нарастания с увеличением частоты.

Оценим влияние параметров на динамические характеристики системы стабилизации натяжения (рис. 1), имеющей передаточную функцию:

$$H_3(s) = \frac{\Delta h(s)}{\Delta U_3(s)} = \frac{H_0 H_1}{1 + H_0 H_1 k_r s}. \quad (10)$$

Запишем логарифмические функции чувствительности $H_3(s)$ соответственно к вариации жесткости полотна ($K_1 = k_v E$):

$$S_{K_1}^{H_3}(s) = \frac{1}{\Delta}, \quad (11)$$

к вариации массы m_p измерительного ролика:

$$S_{m_p}^{H_3}(s) = -\frac{m_p s^2 (\ell s + v)}{\Delta}, \quad (12)$$

к вариации жесткости c_n упругого элемента датчика:

$$S_{c_n}^{H_3}(s) = -\frac{c_n (\ell s + v)}{\Delta}, \quad (13)$$

к вариации скорости v движения полотна:

$$S_v^{H_3}(s) = -\frac{v (\ell m_p s^3 + m_p v s^2 + \ell c_n s + c_n v)}{\Delta}. \quad (14)$$

Здесь

$$\Delta = \ell m_p s^3 + m_p v s^2 + (\ell c_n + k_1 k_r) s + c_n v.$$

Для системы с параметрами $\ell = 4,5$ м; $v = 1$ м/с; $K_1 = 10^5$; $c_n = 2700$ Н/м; $m_p = 10$ кг по соотношениям (11)...(14) выполнен расчет функций чувствительности, представленных на рис. 3-а и 3-г.

Анализ графических зависимостей логарифмических частотных функций чувствительности, представленных на рис. 2-а, 2-в и рис. 3-в, показывает уменьшение чувствительности передаточной функции $H_3(s)$ к вариации m_p по сравнению с аналогичной чувствительностью петлеобразователя, а также существенное смещение вправо резонанса частотной характеристики чувствительности. Аналогичная картина наблюдается и при вариации c_n (рис. 2-б, 2-г и рис. 3-б).

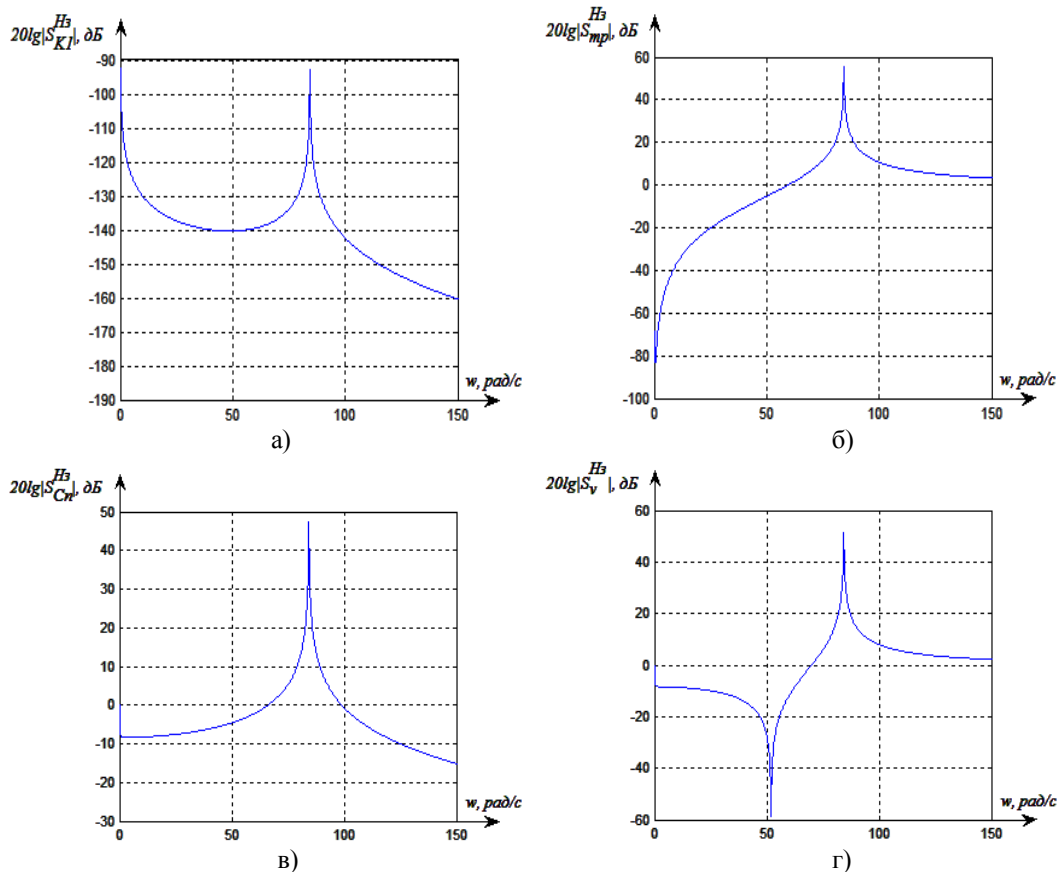


Рис. 3

Значительное влияние на чувствительность передаточной функции $H_3(s)$ оказывает скорость движения полотна (рис. 3-г). В пределах полосы пропускания $f_{\text{п}}=10\dots 12$ Гц график функции чувствительности имеет два резонанса, причем на частотах 50 и 80 рад/с наблюдается резкое возрастание указанной чувствительности.

Как показано на рис. 3-а, влияние вариации модуля упругости полотна в большей степени проявляется на низких и близких к резонансу частотах.

ВЫВОДЫ

1. Чувствительность передаточной функции петлеобразователя к вариации массы измерительного ролика в диапазоне малых частот с ростом частоты быстро возрастает.

2. Уменьшение массы измерительного ролика петлеобразователя, а также увеличение жесткости упругого элемента петлеобразователя увеличивает его частоту пропускания.

3. Частотная функция чувствительности передаточной функции петлеобразователя к скорости движения полотна характеризуется резкими изменениями в диапазоне частоты пропускания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Быстров А. М., Глазунов В. Ф. Многодвигательные автоматизированные электроприводы поточных линий. – М.: Легкая индустрия, 1977.
2. Глазунов В. Ф., Прокушев С. В. Автоматизация оборудования для непрерывной обработки текстильных материалов. – Иваново: Изд. ИГЭУ, 2002.
3. Горовиц А. М. Синтез систем с обратной связью / Пер. с англ. – М.: Советское радио, 1970.

Рекомендована кафедрой электропривода и автоматизации промышленных установок. Поступила 2106.09.