

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО МЕХАНИЗМА ПОПЕРЕЧНОЙ ПОДАЧИ ШЛИФОВАЛЬНОГО КРУГА

Построена детерминированная математическая модель привода поперечной подачи шлифовального круга.

Современным машиностроением накоплен значительный опыт по разработке и применению систем автоматизации процессов алмазного шлифования [1-3]. Этот опыт убедительно говорит об их целесообразности и достаточно высокой технико-экономической эффективности. Одной из возможных координат управления шлифовальным станком является поперечная подача шлифовального круга.

Привод управления поперечной подачей шлифовального круга станка модели 3В624 (рис. 1) снабжен системой измерения линейных перемещений на базе фотоэлектрической линейки LS-101. Чувствительность фотоэлектрической линейки LS-101 составляет 0.1 мкм. В динамическом отношении первичный преобразователь представим пропорциональным звеном с зоной нечувствительности.

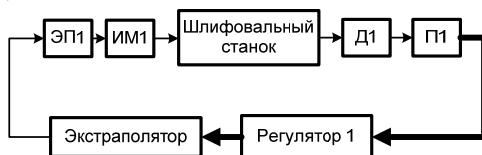


Рис. 1 - Структурная схема канала управления поперечной подачей шлифовального круга

Блок П1 состоит из следующих функциональных модулей: преобразователь синусоидального сигнала в импульсный, который выполнен на базе транзисторного ключа; десятиразрядный счетчик импульсов, который обнуляется после считывания цифровым регулятором 1 информации об величине поперечной подачи алмазного инструмента. Специфика работы этого блока позволяет представить его аperiodическим звеном с запаздыванием

$$H_1(p) = \frac{k_{П1} e^{-p\tau_{П1}}}{T_{П1}p + 1}, \quad (1)$$

где $k_{П1}$, $\tau_{П1}$, $T_{П1}$ - соответственно коэффициент передачи, запаздывание и постоянная времени блока П1.

С учетом зоны нечувствительности первичного преобразователя имеем такую передаточную функцию входного модуля канала управления поперечной подачей шлифовального круга:

$$H_2(p) = \frac{\Delta_1 k_{\text{пл}} e^{-p\tau_{\text{пл}}}}{T_{\text{пл}} p + 1}. \quad (2)$$

С допустимой, при моделировании объектов данного типа, погрешностью двигатель постоянного тока представим в виде последовательного соединения звеньев

$$H_3(p) = H_{\text{Э}}(p) H_M(p) = \frac{k_{\text{д}}}{(T_{\text{Э}} p + 1)(T_M p + 1)}, \quad (3)$$

где $H_{\text{Э}}(p)$, $H_M(p)$ - соответственно передаточные функции электрической и механической частей двигателя.

С учетом такого представления двигателя построим структурную схему исполнительного механизма (рис. 2). Выполним анализ структурной схемы с целью получения передаточной функции исполнительного механизма.

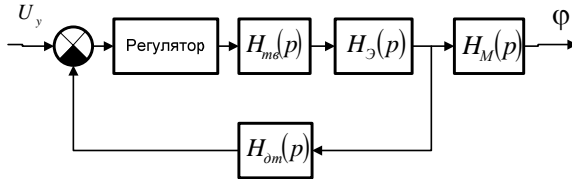


Рис. 2 - Структурная схема исполнительного механизма поперечной подачи шлифовального круга

Передаточная функция разомкнутой системы получена в таком виде

$$H_4(p) = H_{m\text{э}}(p) H_{\text{Э}}(p) H_{\text{ом}}(p) = \frac{k_{m\text{э}} k_{\text{Э}} k_{\text{ом}} e^{-\tau_{\text{мэ}} p}}{(T_{m\text{э}} p + 1)(T_{\text{Э}} p + 1)(T_{\text{ом}} p + 1)}. \quad (4)$$

После нормализации последнего выражения имеем

$$H_5(p) = \frac{1}{e^{\tau_{\text{мэ}} p} (T_{m\text{э}} p + 1)(T_{\text{Э}} p + 1)(T_{\text{ом}} p + 1) - 1}. \quad (5)$$

Отсюда, получим передаточную функцию исполнительного механизма привода поперечной подачи шлифовального круга в таком виде

$$H_6(p) = \frac{k_M}{\left[e^{\tau_{\text{мэ}} p} (T_{m\text{э}} p + 1)(T_{\text{Э}} p + 1)(T_{\text{ом}} p + 1) - 1 \right] p (T_M p + 1)}. \quad (6)$$

После замены экспоненциальной функции ограниченным степенным рядом и преобразований получим передаточную функцию в виде

$$H_7(p) = \frac{k_M}{p^2 (a_4 p^4 + a_3 p^3 + a_2 p^2 + a_1 p + a_0)}, \quad (7)$$

где $a_4 = \tau_{m\text{э}} T_{m\text{э}} T_{\text{Э}} T_{\text{ом}} T_M$;

$$a_3 = T_M \left[(\tau_{m\text{э}} + T_{m\text{э}}) T_{\text{Э}} T_{\text{ом}} + \tau_{m\text{э}} T_{m\text{э}} (T_{\text{Э}} + T_{\text{ом}}) \right] + \tau_{m\text{э}} T_{m\text{э}} T_{\text{Э}} T_{\text{ом}};$$

$$\begin{aligned}
a_2 &= T_M \left[T_{\mathcal{G}} T_{\mathcal{D}m} + \tau_{m\mathcal{E}} T_{m\mathcal{E}} + (\tau_{m\mathcal{E}} + T_{m\mathcal{E}})(T_{\mathcal{G}} + T_{\mathcal{D}m}) \right] + (\tau_{m\mathcal{E}} + T_{m\mathcal{E}}) T_{\mathcal{G}} T_{\mathcal{D}m} + \\
&+ \tau_{m\mathcal{E}} T_{m\mathcal{E}} (T_{\mathcal{G}} + T_{\mathcal{D}m}); \\
a_1 &= T_M (T_{\mathcal{G}} + T_{\mathcal{D}m} + \tau_{m\mathcal{E}} + T_{m\mathcal{E}}) + T_{\mathcal{G}} T_{\mathcal{D}m} + \tau_{m\mathcal{E}} T_{m\mathcal{E}} + (\tau_{m\mathcal{E}} + T_{m\mathcal{E}})(T_{\mathcal{G}} + T_{\mathcal{D}m}); \\
a_0 &= \tau_{m\mathcal{E}} + T_{m\mathcal{E}} + T_{\mathcal{G}} + T_{\mathcal{D}m}.
\end{aligned}$$

Анализ частотных характеристик исполнительного механизма поперечной подачи шлифовального круга выполним в среде *Matlab*. Алгоритм анализа выражения для передаточной функции состоит из следующих процедур:

- создаем tf-объект, в соответствии с выражением для заданной передаточной функции;
- определяем полюса передаточной функции с использованием команды `roots(H)` или `pole(H)`;
- определяем нули передаточной функции с использованием команды `roots(H)` или `zero(H)`;
- строим переходную функцию командой `step(H)`;
- строим импульсную переходную функцию командой `impulse(H)`;
- диаграмму Боде получим, используя для этого команду `bode(H)`;
- определяем частотный годограф Найквиста, выполнив для этого команду `nyquist(H)`;
- аналогичные результаты анализа можно получить, используя команду `ltiview(H)`, с соответствующими настройками в меню «Plot Configuration».

На рисунке 3 представлены скорректированные логарифмические амплитудно-частотные характеристики исполнительного механизма привода поперечной подачи шлифовального круга.

Передаточная функция разомкнутого канала управления поперечной подачей шлифовального круга получена в следующем виде:

$$H_8(p) = \frac{k_M T_{\mathcal{E}1}^2 k_{\mathcal{M}1} e^{-p\tau_{\mathcal{M}1}} (1 - e^{-p\tau_r})^2}{p\tau_r (T_{\mathcal{M}1}p + 1)(a_4 p^4 + a_3 p^3 + a_2 p^2 + a_1 p + a_0)}. \quad (8)$$

После замены экспоненциальных функций ограниченными степенными рядами и преобразований получим передаточную функцию разомкнутого канала управления поперечной подачей шлифовального круга в таком виде:

$$H_8(p) = \frac{k_M T_{\mathcal{E}1}^2 k_{\mathcal{M}1} \tau_r p}{(\tau_{\mathcal{M}1} p + 1)(T_{\mathcal{M}1} p + 1)(a_4 p^4 + a_3 p^3 + a_2 p^2 + a_1 p + a_0)}. \quad (9)$$

Анализ устойчивости разомкнутого канала управления поперечной подачей шлифовального круга выполним в среде *Matlab*. После преобразований выражение для передаточной функции разомкнутого канала приобретает такой вид:

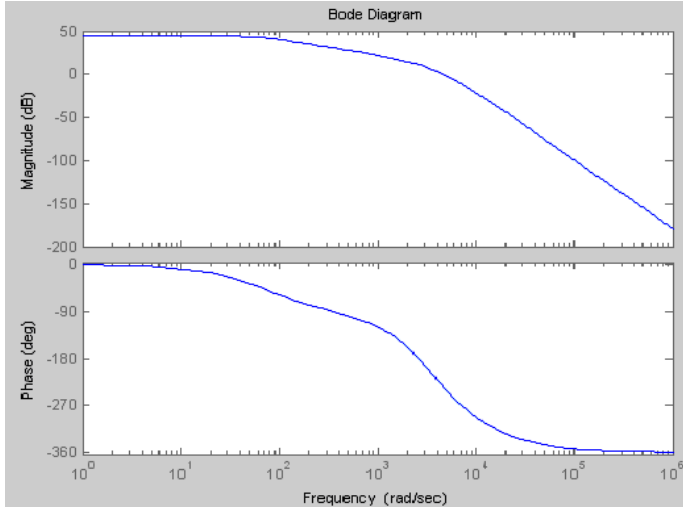


Рис. 3 - Диаграмма Боде скорректированной системы

$$H_9(p) = \frac{b_1 p}{a_6^* p^6 + a_5^* p^5 + a_4^* p^4 + a_3^* p^3 + a_2^* p^2 + a_1^* p + a_0^*}, \quad (10)$$

где $b_1 = k_M T_{k1}^2 k_{M1} \tau_r$, $a_6^* = a_4 \tau_{M1} T_{M1}$; $a_5^* = a_4 (\tau_{M1} + T_{M1}) + a_3 \tau_{M1} T_{M1}$;
 $a_4^* = a_4 + a_3 (\tau_{M1} + T_{M1}) + a_2 \tau_{M1} T_{M1}$; $a_3^* = a_3 + a_2 (\tau_{M1} + T_{M1}) + a_1 \tau_{M1} T_{M1}$;
 $a_2^* = a_2 + a_1 (\tau_{M1} + T_{M1}) + a_0 \tau_{M1} T_{M1}$; $a_1^* = a_1 + a_0 (\tau_{M1} + T_{M1})$; $a_0^* = a_0$.

Отсюда, передаточная функция замкнутого канала управления поперечной подачей шлифовального круга получена в таком виде:

$$H_{10}(p) = \frac{b_1 p}{a_6^* p^6 + a_5^* p^5 + a_4^* p^4 + a_3^* p^3 + a_2^* p^2 + (a_1^* - b_1) p + a_0^*}. \quad (11)$$

Поиск полюсов передаточной функции замкнутого канала управления поперечной подачей шлифовального круга в среде *Matlab* дал следующие результаты:

```
ans = 1.0e+003 * - 2.3231 - 0.06297 - 7.4528 + 1.5806i - 7.4528 - 1.5806i
0.0631 + 0.02050i 0.0631 - 0.02050i
```

Анализ полученных результатов позволят сделать такие заключения: условию устойчивости замкнутой системы удовлетворяют первые четыре корня характеристического уравнения; корень два мал по величине и оказывает влияние на начало переходного процесса; канал управления поперечной подачей шлифовального круга без потери точности представим такой передаточной функцией:

$$H_{11}(p) = \frac{b_1 p}{(T_{33}^2 p^2 + 2\zeta T_{33} p + 1)(T_{34} p + 1)}, \quad (12)$$

где постоянные времени и затухание вычисляются на основании полученных корней характеристического уравнения. Последнее уравнение с допустимой ошибкой представимо в таком виде:

$$H_{11}(p) = \frac{b_1 p}{(\zeta T_{33} p + 1) \left(\frac{T_{33}}{\zeta} p + 1 \right) (T_{34} p + 1)}. \quad (13)$$

Для вычисления z-преобразования передаточной функции замкнутого канала управления поперечной подачей шлифовального круга раскладываем ее на простые дроби. В соответствии с таблицей z-преобразований имеем такое выражение:

$$z \left\{ \frac{H_{11}(p)}{p} \right\} = \frac{A_1 z}{z - l_1} + \frac{A_2 z}{z - l_2} + \frac{A_3 z}{z - l_3}, \quad (14)$$

где $l_1 = e^{-\frac{T_0}{\zeta T_{33}}}$, $l_2 = e^{-\frac{\zeta T_0}{T_{33}}}$, $l_3 = e^{-\frac{T_0}{T_{34}}}$.

Дискретная передаточная функция замкнутого канала управления поперечной подачей шлифовального круга после преобразований получилась в виде отношения двух степенных полиномов:

$$H_{11}(z^{-1}) = \frac{b_0^\circ + b_1^\circ z^{-1} + b_2^\circ z^{-2} + b_3^\circ z^{-3}}{1 + a_1^\circ z^{-1} + a_2^\circ z^{-2} + a_3^\circ z^{-3}}, \quad (15)$$

где $b_0^\circ = A_1 + A_2 + A_3$, $b_1^\circ = -[A_1 + A_2 + A_3 + A_1(l_2 + l_3) + A_2(l_1 + l_3) + A_3(l_1 + l_2)]$;
 $b_2^\circ = A_1(l_2 + l_3) + A_2(l_1 + l_3) + A_3(l_1 + l_2) + A_1 l_2 l_3 + A_2 l_1 l_3 + A_3 l_1 l_2$;
 $b_3^\circ = -(A_1 l_2 l_3 + A_2 l_1 l_3 + A_3 l_1 l_2)$; $a_1^\circ = -(A_1 l_2 l_3 + A_2 l_1 l_3 + A_3 l_1 l_2)$;
 $a_2^\circ = l_2 l_3 + l_1 l_3 + l_1 l_2$; $a_3^\circ = -l_1 l_2 l_3$.

Блоки П1, Р1 и ЭП1 вносят запаздывание в работу канала управления поперечной подачей шлифовального круга. Будем считать, что дискретное время запаздывания канала по управляющему воздействию, равное сумме запаздываний указанных блоков, составляет $2T_0$. Соответственно порядок математической модели рассматриваемого канала составляет $d=3$. С учетом этого запаздывания дискретная передаточная функция замкнутого канала управления поперечной подачей шлифовального круга получилась в таком виде:

$$H_{12}(z^{-1}) = z^{-2} \frac{b_0^\circ + b_1^\circ z^{-1} + b_2^\circ z^{-2} + b_3^\circ z^{-3}}{1 + a_1^\circ z^{-1} + a_2^\circ z^{-2} + a_3^\circ z^{-3}} = z^{-2} \frac{B(z^{-1})}{A(z^{-1})}. \quad (16)$$

Возмущающее воздействие приложено к валу двигателя и является результатом действия сил резания материала заготовки. Будем считать, что это воздействие приложено к механической части двигателя постоянного тока. Тогда получим передаточную функцию по возмущению исследуемого канала в таком виде:

$$H_{13}(p) = \frac{k_M}{p(T_M p + 1)}. \quad (17)$$

Для вычисления z-преобразования передаточной функции по возмущению замкнутого канала управления поперечной подачей шлифовального круга раскладываем ее на простые дроби. Дискретная передаточная функция по возмущению замкнутого канала управления поперечной подачей шлифовального круга после преобразований получилась в виде отношения двух степенных полиномов:

$$H_{14}(z^{-1}) = \frac{k_M T_M (1 - l_4) z^{-1}}{1 - (1 + l_4) z^{-1} + l_4 z^{-2}} = \frac{C(z^{-1})}{E(z^{-1})}. \quad (18)$$

Выводы. Полученные дискретные передаточные функции замкнутого канала управления поперечной подачей шлифовального круга использованы авторами при последующем синтезе оптимального цифрового регулятора.

Список литературы: 1. Полтавец В.В. Себестоимость шлифования с управляющими воздействиями на РПК // Резание и инструмент. - Донецк: ДонГТУ, 1999, с. 53-60. 2. Новоселов Ю.К., Братан С.М., Крылов И.В. Стратегия управления операций шлифования в автоматизированном производстве // Резание и инструмент. - Донецк: ДонГТУ, 2001, с. 25-31. 3. Еникеев А.Ф. Оптимальное управление технологическим процессом алмазного шлифования. - Краматорск: ДГМА, 2001. - 160 с.

Поступила в редколлегию 11.12.08

УДК 515.2

М.А. МАКСИМОВА

ІНТЕРАКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ДИСТАНЦІЙНОМУ КУРСІ 3D-ГРАФІКИ

Робота присвячена висвітленню проблем, які виникають під час дистанційного вивчення курсу комп'ютерної тривимірної графіки. Описані особливості розробленого дистанційного курсу для слухачів будь-якої спеціальності.

Work is devoted to consecration of problems which arise during remote training computer three-dimensional packages. Features of the developed remote rate for listeners of any speciality are described

Постановка проблеми. Основною відмінною рисою дистанційної освіти від інших типів освіти є широке використання телекомунікаційних технологій в навчальному процесі, що складає певні труднощі спілкуванні з викладачем та перевірці отриманих знань.

Аналіз останніх досліджень. Сьогодні навчання через Інтернет все частіше розглядається не просто як зручна форма підвищення кваліфікації, а як цілком серйозна альтернатива традиційній освіті, що дозволяє студенту одержати глибокі знання. Існує багато реалізованих проектів дистанційної освіти [1], які відрізняються між собою технологіями та носіями інформації - від