

$$e'_k = \text{sh} a'_k J_0(j\psi_m) - d_k;$$

$$f'_k = \text{sh} b'_k J_0(j\psi_m) - d_k;$$

$$g'_k = \text{sh} c'_k J_0(j\psi_m) - d_k;$$

$$d'_k = \frac{1}{3} J_0(j\psi_m) (\text{sh} a'_k + \text{sh} b'_k + \text{sh} c'_k) \text{ и т.д.}$$

По предложенной методике рассчитаны огибающие переходных процессов утроителя в режиме активной нагрузки $r_H = 20 \text{ Ом}$; $U_m = 30 \text{ В}$; $\xi = \alpha - \varphi = -90^\circ$, параметры утроителя в [4]. На рис. 3 приведены осциллограмма переходного процесса и огибающие (штриховые линии), для построения которых выполнены расчеты лишь на четырех интервалах.

Л и т е р а т у р а

1. О р е О. Теория графов. — М., 1968. 2. Б а м д а с А.М., К у л и н и ч В.А., Ш а п и р о С.В. Статические электромагнитные преобразователи частоты и числа фаз. — М. — Л., 1961. 3. Б е с с о н о в Л.А. Нелинейные электрические цепи. — М., 1975. 4. Б л а д ы к о В.М., Р о з у м Т.Т. Применение направленных графов при расчете переходного процесса в утроителе частоты. — Изв. вузов СССР. Сер. Энергетика, 1970, № 1.

УДК 62-82:621.333.3

О.П.Ильин, В.П.Беляев,
Ю.Н.Петренко, П.П.Примшиц

ПОВЫШЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ МОМЕНТА НАГРУЗКИ НА ВАЛУ РАБОЧЕГО ОРГАНА

Большинство разработанных в настоящее время систем адаптивного управления станками функционируют на основе информации о силовых характеристиках режимов резания, получаемых в процессе обработки [1]. Устройства, позволяющие получить указанную информацию, как правило, конструктивно сложны, сложны в установке их на объекте измерения и обладают искажением величины выходного сигнала от остаточных механических напряжений [2]. В практике решения задач адаптивного управления нашли распространение косвенные методы определения момента на валу рабочего органа (момента резания). При всех достоинствах эти методы зачастую не учитывают упругость кинематической цепи, связывающей вал двигателя с валом рабочего органа, особенно в установках с разветвленной кинематикой. Это приводит к большим погрешностям измерений в динамических ре-

жимах. Структурная схема системы измерения статического момента нагрузки на валу рабочего органа с учетом упругих связей для электропривода постоянного тока представлена на рис. 1.

Определим связь между статическим моментом нагрузки электродвигателя (ЭД) M_c и статическим моментом M_z на валу рабочего органа:

$$-(M_c - M_z) \frac{1}{J_1 p} + \omega_{дв} \left(\frac{C_{12}}{p} + \beta_{12} \right) = M_c; \quad (1)$$

$$\omega_{дв} = \frac{-M_c r_o (T_p + 1)}{J_2 r_o p^2 + J_2 r_o p + \gamma \beta \kappa_M + c_e \kappa_M}, \quad (2)$$

где β – коэффициент усиления преобразователя; γ – коэффициент обратной связи; κ_M – коэффициент пропорциональности, связывающий ток двигателя и его момент $\kappa_M = M_H / I_H$; r_o – сопротивление якорной цепи; T – электромагнитная постоянная величина ЭД; J_2 – момент инерции ЭД; c_e – коэффициент пропорциональности между угловой частотой вращения ЭД $\omega_{дв}$ и его ЭДС; a – постоянная времени реального дифференцирующего звена; C_{12} – приведенная к валу ЭД жесткость кинематики; β_{12} – коэффициент, характеризующий рассеяния энергии; J_1 – приведенный к валу ЭД момент инерции механизма; p – оператор Лапласа.

Подставим выражение для $\omega_{дв}$ из (2) в уравнение (1) получим

$$\frac{M_c}{M_z} = \frac{\sum_{i=0}^3 A_i p^i}{4 \sum_{j=0}^4 B_j p^j}, \quad (3)$$

где $\sum_{i=0}^3 A_i p^i = (C_{12} + \beta_{12} p) (J_2 r_o T_p^2 + J_2 r_o p + \gamma \beta \kappa_M + c_e \kappa_M)$; ; $\sum_{j=0}^4 B_j p^j = (C_{12} + \beta_{12} p) ((J_2 r_o T + J_1 r_o T) p^2 + (J_2 r_o + J_1 r_o) p + \gamma \beta \kappa_M + c_e \kappa_M) + J_1 p^2 (J_2 r_o T p^2 + J_2 r_o p + \gamma \beta \kappa_M + c_e \kappa_M)$.

Анализ выражения (3) показывает, что связь между статическими моментами на валу ЭД и рабочего органа носит сложный характер, а измеренное значение момента на валу рабочего органа определяется как параметрами электропривода, так и параметрами кинематики. Кроме того, если использовать принцип измерения момента нагрузки ЭД, предложенной в [3], то имеем

$$\frac{M_{сн}}{M_c} = \frac{1}{ap+1}. \quad (4)$$

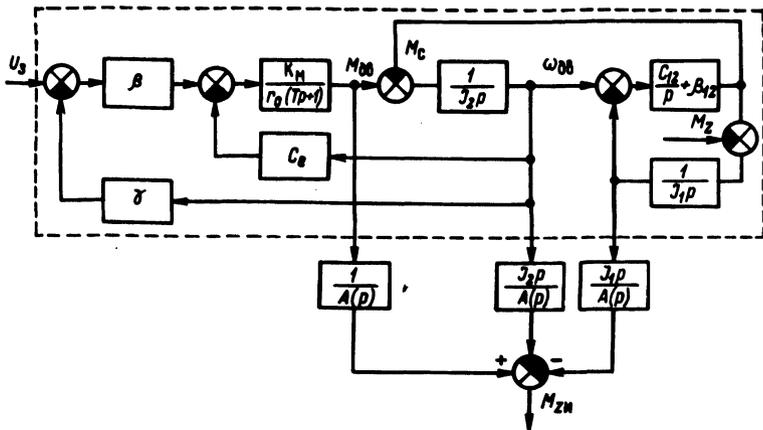


Рис. 1. Структурная схема измерения статистического момента на валу рабочего органа с датчиком частоты вращения рабочего органа.

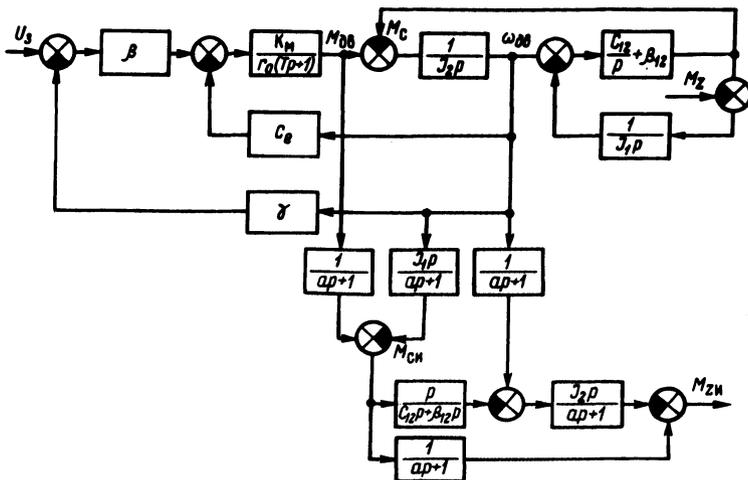


Рис. 2. Структурная схема системы измерения статистического момента на валу рабочего органа.

Тогда

$$\frac{M_{\text{си}}}{M_z} = \frac{\sum_{i=0}^3 A_i p^i}{(ap + 1) \sum_{j=0}^4 B_j p^j}, \quad (5)$$

где $M_{\text{си}}$ – измеренное значение момента нагрузки на валу ЭД.

В этом случае передаточная функция датчика момента резания имеет, как минимум, пятый порядок, что в замкнутой системе стабилизации момента резания приводит к значительным трудностям, связанным с синтезом такой системы в динамических режимах.

Однако введение необходимых динамических звеньев в канал измерения позволяет получить качественный процесс измерения, не зависящий от параметров связей и системы электропривода. Структурная схема такого устройства приведена на рис. 1. Сущность предложения состоит в том, что в каналы измерения частоты вращения выходного вала рабочего органа, частоты вращения ЭД и измерения электромагнитного момента вводятся динамические звенья, причем знаменатели передаточных функций этих звеньев равны между собой.

Действительно, для имеющейся структуры с учетом упругих связей можно записать выражение для определения M_z

$$M_z = M_c - J_1 p \omega_1 = M_{\text{дв}} - J_2 p \omega_{\text{дв}} - J_1 p \omega_1. \quad (6)$$

Разделив при измерении всех составных параметров правой части (6) на одно и то же выражение $A(p)$, получим

$$M_{\text{зи}} = M_{\text{дв}} \frac{1}{A(p)} - \omega_{\text{дв}} \frac{J_2 p}{A(p)} - \omega_1 \frac{J_1 p}{A(p)} \quad (7)$$

или

$$M_{\text{зи}} = M_z \frac{1}{A(p)}. \quad (8)$$

Отсюда видно, что величина измеренного момента $M_{\text{зи}}$ и для предлагаемой структуры привода в динамических режимах не зависит от параметров упругих связей и параметров системы электропривода.

Выбор знаменателя $A(p)$ передаточных функций определяется техническими задачами управления. Для получения максимального быстродействия с перерегулированием измеряемой величины менее 5% передаточные функции вводимых звеньев должны иметь знаменатели равные

$$A(p) = 0,5 T_0^2 p^2 + T_0 p + 1,$$

где T_0 – постоянная времени динамического звена, величина которой выбирается исходя из требуемой помехозащищенности системы. Это, как извест-

но, соответствует техническому оптимуму [4]. С целью получения максимального быстродействия системы измерения без перерегулирования знаменатели передаточных функций следует выбрать равными

$$A(p) = T_0^2 p^2 + 2T_0 p + 1,$$

что соответствует линейному оптимуму системы.

Недостатком данного способа является наличие датчика частоты вращения вала рабочего органа. На рис. 2 представлена структурная схема измерения M_z , позволяющая избежать указанного недостатка, из которого следует

$$\frac{M_{zi}}{M_z} = \frac{1}{(ap + 1)^2} \quad (7)$$

Предлагаемые системы измерения статического момента на валу рабочего органа просты в реализации, позволяют повысить точность измерения в динамических режимах за счет инвариантности канала измерения к параметрам кинематической цепи и электропривода. Могут быть использованы при построении адаптивных систем управления металлорежущими станками.

Л и т е р а т у р а

1. Михайлов О.П., Цейтлин Л.Н. Измерительные устройства в системах адаптивного управления станками. — М., 1977. 2. Адаптивное управление металлорежущими станками/ Под общ.ред. Т.В.Бронштейна. — М., 1973. 3. Измерение момента нагрузки электродвигателей/ П.П.Примшиц, О.П.Ильин, Ю.Н.Петренко, В.П.Беляев. — В сб.: Научные и прикладные проблемы энергетики. Мн., 1979, вып. 4. 4. Фрер Ф., Ортенбургер Ф. Введение в электронную технику регулирования. — М., 1973.

УДК 658.26:621.3

А.Г.Ус, В.Л.Прусс, Л.В.Ничипорович

УПРОЩЕННЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИЕМНИКОВ ПРОМПРЕДПРИЯТИЙ

Электрические сети современных крупных промпредприятий отличаются сложной конфигурацией, что обуславливает сложность строгих и точных методов расчета надежности электроснабжения питающихся по ним потребителей [1,2].

Поэтому значительный интерес представляют упрощенные методы расчета надежности, позволяющие получить оценки показателей надежности, достаточные для использования в различных инженерных расчетах проектного