

ше, чем при абсолютно жестких. Это подтверждают также и кривые на рис. 1, а, б.

### В ы в о д ы

Упругие связи в кинематике электропривода оказывают особенно сильное влияние на момент двигателя в сторону его увеличения по сравнению с абсолютно жесткими связями при частотах, близких к резонансной.

Для уменьшения момента двигателя при частотах, близких к резонансной, следует увеличивать относительный момент инерции  $i$  путем увеличения момента инерции механизма или путем выбора двигателя с меньшим моментом инерции. При этом относительная резонансная частота также уменьшается.

Как и в случае абсолютно жестких связей увеличение электромеханической постоянной времени электропривода  $T$  приводит к уменьшению переменной составляющей момента двигателя.

### Л и т е р а т у р а

1. Квартальнов Б.В. Динамика электроприводов с упругими связями. М., 1965. 2. Гейлер Л.Б. Основы электропривода. Минск, 1972.

П.В. Ползик

### СИНТЕЗ КВАЗИОПТИМАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ ПРИ ПРОИЗВОЛЬНОМ ЧИСЛЕ ОГРАНИЧЕНИЙ И ЗАДАННЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЯХ

Рассмотрим некоторые методы синтеза системы оптимального управления электроприводом, обеспечивающим оптимальность технологического процесса, характерного для деревообработки, металлообработки и др. Здесь динамика процесса имеет решающее значение.

Система линейных уравнений, характеризующая движение электропривода и динамику выходных параметров технологического процесса, может быть приведена к виду

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

где  $A$  и  $M$  — матрицы прямоугольной формы постоянных коэффициентов;  $X$  — вектор фазовых координат системы.

Система управления должна обеспечить выполнение следующих требований; стабилизация или изменение параметров  $X$  по условиям технологического режима и ограничения на прямые показатели качества (время регулирования —  $t_p$ , пере-  
регулирование —  $\sigma$ , точность —  $\epsilon$  и др.), фазовые координаты и управляющие сигналы.

При использовании метода аналитического конструирования регуляторов основные требования к системе управления отражает квадратичный функционал [1]

$$J = X^T P X + \int_0^{t_K} [X^T B X + (R X)^T C (R X) + U^T C^{-1} U] dt, \quad (2)$$

где  $X^T P X$  — квадратичная форма фазовых координат в заданный момент времени;  $B$  — квадратная матрица весовых коэффициентов функционала;  $R$  — квадратная матрица коэффициентов оптимального управления;  $C$  — диагональная матрица, составленная из коэффициентов усиления преобразователей электропривода;  $t$  — индексы транспонирования.

Закон, минимизирующий функционал (2), который определяет структуру системы, имеет вид

$$U = - M^T C R X, \quad (3)$$

где  $R$  определяется из уравнения

$$\dot{R} + R A + A^T R = B, \quad (4)$$

Рассмотренные уравнения (1)—(4) необходимо дополнить соотношениями, которые при синтезе системы управления электроприводами обеспечили бы выполнение ограничений.

Таким образом, поиск коэффициентов  $B$  и  $C$  необходимо вести с учетом заданных прямых показателей качества и ограничений на фазовые координаты и управления.

Для решения задачи воспользуемся, предложенным в [3], методом выбора весовых коэффициентов. Начальные значения последних выбирают исходя из принципа равных вкладов

$$\beta_{11} \Delta X_1^2 = \beta_{22} \Delta X_2^2 = \dots = \beta_{ii} \Delta X_i^2.$$

Используя требования технологического режима, устанавливают допустимые отклонения фазовых координат  $\Delta X$  и рас-

смаатривают лишь диагональные коэффициенты  $\beta_{ii}$  полагая  $\beta_{ij} = 0$  при  $i \neq j$ . При этом условии значительно упрощается число искомых коэффициентов и согласно [2] матрица В остается достаточно полной для отражения в функционале (2) основных вкладов фазовых координат в качество управления.

Шаг варьирования  $\beta_{ii}$  и  $c_{ii}$  принимают равным (10--20)% от их начальных значений. Проводят нормирование варьируемых коэффициентов ( $\beta_{ii}$  и  $c_{ii}$ ) и обозначают их через  $z_1$

$$-1 \leq z_1 \leq 1 \quad (i = 1, 2, \dots, 2k).$$

Используя методы планирования эксперимента [4], составляется матрица

$$Z = \begin{vmatrix} z_1^I & z_2^I & \dots & z_1^I \\ z_1^{II} & z_2^{II} & \dots & z_1^{II} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ z_1^N & z_2^N & \dots & z_1^N \end{vmatrix} \quad (5)$$

для  $N$ -значений сочетаний параметров  $Z_1$ , при которых необходимо исследовать систему управления.

По формулам (3), (4) определяют управляющие воздействия на электроприводы для каждой из  $N$ -строк матрицы  $Z$ .

Для замкнутой системы (1), (3) определяем прямые показатели качества  $\Phi$ , значения фазовых координат  $X_{\max}$  или  $X_{\min}$ , на которые наложены ограничения.

Располагая значениями  $\Phi, U_{\max}, X_{\max} (X_{\min})$  для каждой строки матрицы  $Z$ , можно получить функциональную зависимость названных параметров от варьируемых коэффициентов  $Z_1$ . При синтезе для описания их взаимосвязи использовались полиномы второго порядка вида:

$$\Phi = d_0^\Phi + \sum_{l=1}^n d_l^\Phi z_1^l + \sum_{l \geq k} d_{lk}^\Phi z_1^l z_k^l;$$

$$U_{\max} = d_0^U + \sum_{l=1}^n d_l^U z_1^l + \sum_{l \geq k} d_{lk}^U z_1^l z_k^l;$$

$$X_{\max}(X_{\min}) = d_0^x + \sum_{l=1}^n d_l^x z_l + \sum_{l>k}^n d_{lk}^x z_l z_k.$$

Коэффициенты  $d_0, d_l, d_{lk}$  представляют собой частные производные разложения  $\Phi, U_{\max}, X_{\max}(X_{\min})$  ( $X_{\min}$ ) в ряд Тейлора и рассчитываются либо вручную, либо на ЭЦВМ по алгебраическим уравнениям, приведенным в [4].

Используя уравнения (5), можно определить значения весовых коэффициентов функционала и коэффициентов усиления преобразователей, при которых обеспечивается экстремум одного из показателей качества при ограничениях на все остальные показатели (время регулирования, ток электродвигателя, статическая точность и т.д.).

Таким образом, предлагаемые в работе методы выбора весовых коэффициентов функционала и коэффициентов усиления преобразователей, учитывающих ограничения прямых показателей качества, фазовых координат и управляющих воздействий при минимизации обобщенного критерия (2) позволяют эффективно использовать метод аналитического конструирования регуляторов при синтезе систем управления электроприводами в терминальных и нетерминальных случаях.

Рассматриваемые методы использовались для синтеза управления электроприводами в деревообработке, переработке пластмасс на экструзионных линиях.

## Л и т е р а т у р а

1. Красовский А.А. Системы автоматического управления полетом и их аналитическое конструирование. М., 1973. 2. Карапетян Р.М. О численном решении уравнений оптимальных коэффициентов и задачах аналитического конструирования регуляторов. — "Автоматика и телемеханика", 1972, № 12. 3. Кузьмицкий И.Ф., Ползик П.В. К выбору весовых коэффициентов функционала при аналитическом конструировании регуляторов. — "Автоматика и телемеханика", 1973, № 11. 4. Нахимов В.В., Чернова Н.А. Статистические методы планирования эксперимента. М., 1975.