

тока принята за единицу, при этом $I_{\mu \text{ мин}} = 0,2$. В расчете не учитывалось запирающее действие противо-э.д.с., когда последняя превышает линейные напряжения.

На рис. 5 приведена зависимость относительного тока намагничивания $i_{\mu} = I_{\mu} / I_{\mu \text{ м}}$ от противо-э.д.с. при $\beta = \text{const}$.

Значения $I_{\mu 0}$ при холостом ходе приняты в соответствии с рис. 4 при $N_c = 0,5 N_d$. Полный ток нагрузки

$$i_{\text{ ср}} = i_{\mu} + i_s, \quad (19)$$

где $i_{\mu} = \frac{I_{\mu}}{I_{\text{ м}}}$. Здесь $I_{\text{ м}}$ - максимальный ток нагрузки.

Определив величину $I_{\mu \text{ м}}$, можно найти (рис. 5) средний ток нагрузки в соответствии с (19) для каждой характеристики при $\beta = \text{const}$.

И.Ф. Кузьмицкий, П.В. Ползик

АНАЛИТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ОДНОГО КЛАССА ОБЪЕКТОВ

Рассматривается синтез системы управления электроприводом постоянного тока, используемым для стабилизации режима работы стационарного объекта.

Движение как электропривода, так и объекта описывается линейными дифференциальными уравнениями второго порядка, которые представим в виде системы уравнений в нормальной форме:

$$\left. \begin{aligned} \dot{X}_1 &= a_{12} X_2, \\ \dot{X}_2 &= a_{21} X_1 + a_{22} X_2 + b_{22} U, \\ \dot{X}_3 &= a_{34} X_4, \\ \dot{X}_4 &= a_{41} X_1 + a_{43} X_3 + a_{44} X_4, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где X_1 - отклонение скорости электродвигателя от заданной в относительных единицах; X_3 - отклонение технологического параметра объекта от заданной величины в относительных единицах; X_2, X_4 - соответственно производные X_1 и X_3 ($a_{12} = a_{34} = 1$); a_{21}, a_{22}, b_{22} - коэффициенты, определяемые характеристиками электропривода; a_{41}, a_{43}, a_{44} - коэффициенты, определяемые характеристиками объекта; U - закон управления электроприводом.

Так как основным назначением электропривода данного класса объектов является стабилизация, то для оценки качества системы управления используем функционал [1] вида

$$I = \int_0^{\infty} \left(\sum_{i=1}^4 \beta_i X_i^2 + k \sum_{i=1}^4 r_{2i}^2 X_i^2 + \frac{1}{k} U^2 \right) dt, \quad (2)$$

где β_i - задаваемые весовые коэффициенты; k - коэффициент усиления безынерционного преобразователя электропривода; $k \sum_{i=1}^4 r_{2i}^2 X_i^2$ - составляющая функционала, отражающая затраты энергии преобразователя; r_{2i} - оптимальные коэффициенты закона управления;

$$U = -k \sum_{i=1}^4 r_{2i} X_i, \quad (3)$$

при котором обеспечивается минимизация функционала (2).

Обычно для задач такой размерности, как система уравнений (1), при определении оптимальных коэффициентов используются численные методы и ЭЦВМ. Поэтому получение алгоритма, не требующего использования численных методов при нахождении данных коэффициентов, значительно упрощает задачу синтеза оптимальной системы.

Рассмотрим предлагаемый метод и результаты решения задачи.

Для использования наиболее простых алгоритмов по определению коэффициентов r_{2i} необходимо преобразовать уравнение (1) таким образом, чтобы коэффициент при U был равен единице.

Используя правила векторных преобразований, получаем систему уравнений

$$\left. \begin{aligned} \dot{\tilde{X}}_1 &= \tilde{a}_{12} \tilde{X}_2, \\ \dot{\tilde{X}}_2 &= \tilde{a}_{21} \tilde{X}_1 + a_{22} \tilde{X}_2 + U; \\ \dot{\tilde{X}}_3 &= \tilde{a}_{34} \tilde{X}_4, \\ \dot{\tilde{X}}_4 &= \tilde{a}_{41} \tilde{X}_1 + \tilde{a}_{43} \tilde{X}_3 + \tilde{a}_{44} \tilde{X}_4; \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

где

$$\begin{aligned}\tilde{a}_{12} &= b_{22} a_{12}, & \tilde{a}_{21} &= \frac{1}{b_{22}} a_{21}, & \tilde{a}_{22} &= a_{22}, \\ \tilde{a}_{34} &= 1, & \tilde{a}_{41} &= a_{41}, & \tilde{a}_{43} &= a_{43}, & \tilde{a}_{44} &= a_{44}, \\ \tilde{X}_1 &= X_1, & \tilde{X}_2 &= \frac{1}{b_{22}} X_2, & \tilde{X}_3 &= X_3, & \tilde{X}_4 &= X_4.\end{aligned}$$

Применяя алгоритм, приведенный в [2] для определения коэффициентов r_{ij} , получаем следующую систему алгебраических уравнений

$$\left. \begin{aligned}\tilde{a}_{43} r_{14} &= \tilde{a}_{21} r_{23} + \tilde{a}_{41} r_{34} = 0, \\ \tilde{a}_{44} r_{14} + \tilde{a}_{21} r_{24} + \tilde{a}_{41} r_{44} &= 0, \\ \tilde{a}_{12} r_{14} + \tilde{a}_{34} r_{23} + (\tilde{a}_{22} + \tilde{a}_{44}) r_{24} &= 0, \\ 2\tilde{a}_{21} r_{21} + 2\tilde{a}_{41} r_{14} &= \beta_1, \\ 2\tilde{a}_{12} r_{12} + 2\tilde{a}_{22} r_{22} &= \beta_2, \\ 2\tilde{a}_{34} r_{34} + 2\tilde{a}_{44} r_{44} &= \beta_4, \\ \tilde{a}_{34} r_{33} + \tilde{a}_{44} r_{34} + \tilde{a}_{43} r_{44} &= 0, \\ 2\tilde{a}_{43} r_{34} &= \beta_3.\end{aligned}\right\} \quad (5)$$

На основании уравнений (5) и с учетом того, что $r_{ij} = r_{ji}$, составлены уравнения для определения r_{2i} :

$$r_{21} = \frac{1}{2a_{21}} b_{22} (\beta_1 - 2a_{41} r_{14}), \quad (6)$$

$$r_{22} = \frac{1}{a_{22}} (0,5\beta_2 - b_{22} r_{21}), \quad (7)$$

$$r_{23} = -\frac{1}{a_{21}} b_{22} \left(\frac{a_{41}}{2a_{43}} \beta_3 + a_{43} r_{14} \right), \quad (8)$$

$$r_{24} = -\frac{1}{a_{21}} b_{22} \left[\frac{a_{41} \beta_3 - a_{43} \beta_4}{2a_{43} a_{44}} + a_{44} r_{14} \right], \quad (9)$$

где

$$r_{14} = \frac{b_{22} a_{44} [\beta_3 a_{44} + (a_{22} + a_{44})(\beta_3 - a_{43} \beta_4)]}{2a_{21} a_{43} a_{44} [a_{21} - a_{43} b_{22} - a_{44} (a_{22} + a_{44})]}.$$

С учетом преобразований вектора X уравнение (3) перепишем следующим образом:

$$U = -k(r_{21}X_1 + r_{22} \frac{1}{b_{22}}X_2 + r_{23}X_3 + r_{24}X_4). \quad (10)$$

Так как коэффициенты a_{ij} , β_i , k являются исходными данными при синтезе системы управления, то выражения (6) – (10) позволяют аналитически определять оптимальные параметры системы управления, т.е. оптимальные коэффициенты передачи сигналов координат электропривода X_1 , X_2 и объекта X_3 , X_4 на предварительный суммирующий усилитель системы управления электроприводом.

Полученные результаты (6) – (10) использованы при создании системы управления электроприводом гофратора экструзионной трубной линии ($a_{21} = -115$, $a_{22} = -24$, $a_{41} = a_{43} = -7,6 \times 10^{-3}$, $a_{44} = -0,4$, $b_{22} = 115$, $\beta_i = k = 1$).

Оптимальный закон управления

$$U = -0,465X_1 + 0,002X_2 + 0,5X_3 - 1,1X_4$$

был реализован на операционном унифицированном усилителе УУ-2, сигнал с которого подавался на вход магнитного усилителя.

Система управления позволила обеспечить точность стабилизации параметров процесса, сравнимую с погрешностью используемых в системе датчиков, и близкие к аperiodическим переходные процессы.

Л и т е р а т у р а

1. Красовский А.А. Аналитическое конструирование контуров управления летательными аппаратами. М., 1969. 2. Карапетян Р.Н. О численном решении уравнений оптимальных коэффициентов в задачах аналитического конструирования регуляторов. – "Автоматика и телемеханика", 1972, № 12.