

ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ РЕГУЛЯТОРОВ МНОГОКОНТУРНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ПОДВЕСОМ РОТОРА

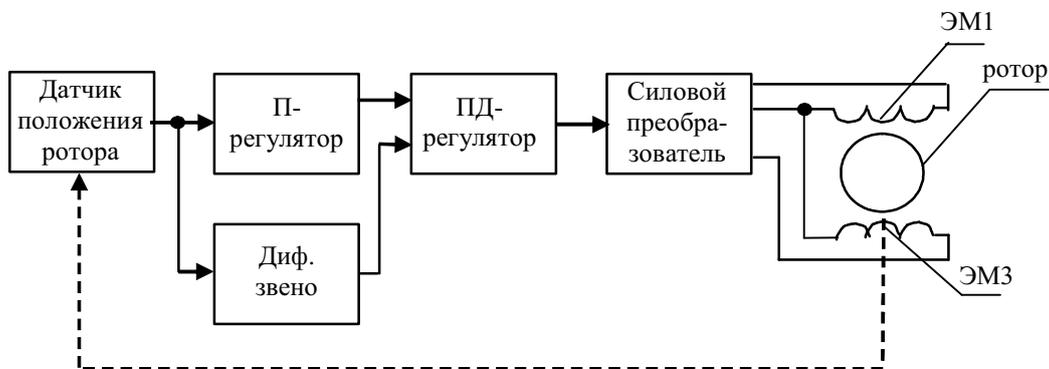
А.В. Стариков, С.А. Стариков

Самарский государственный технический университет
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

Рассмотрены два варианта построения системы управления электромагнитным подвесом ротора. Найдены передаточные функции и определены условия устойчивости замкнутой системы. Получены аналитические выражения для расчета параметров регуляторов.

Ключевые слова: электромагнитный подвес, система управления, структурная схема, передаточная функция, пропорционально-дифференциальный регулятор, интегральный регулятор.

В самом общем случае система управления электромагнитным подвесом ротора представляет собой совокупность пяти следящих систем [1]. Для обеспечения высокого быстродействия и жесткости электромагнитных опор при одновременной простоте технической реализации предлагается каждый канал системы управления (рис. 1) оснастить датчиком положения ротора, пропорциональным регулятором, дифференцирующим звеном, пропорционально-дифференциальным регулятором, силовым преобразователем и двумя электромагнитами ЭМ1 и ЭМ3 [2].



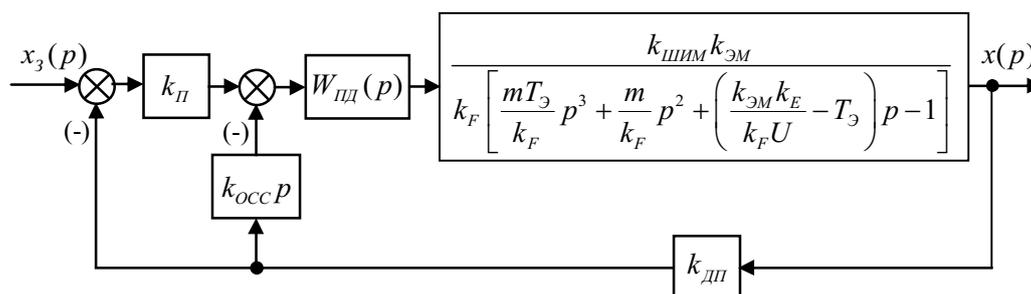
Р и с. 1. Функциональная схема одного канала двухконтурной системы управления электромагнитным подвесом ротора

Система управления электромагнитным подвесом ротора будет работать следующим образом. В каждом канале управления датчик положения ротора измеряет отклонение ротора от центрального положения, принятого за базовое. Сигнал об измеренном отклонении подается на инверсный вход пропорционального регулятора и на вход дифференцирующего звена.

*Александр Владимирович Стариков – к.т.н., докторант.
Станислав Александрович Стариков – аспирант.*

В соответствии с передаточными функциями, реализованными регуляторами и дифференцирующим звеном, с выхода пропорционально-дифференциального регулятора на вход силового преобразователя подается сигнал, пропорционально которому силовой преобразователь регулирует напряжения на обмотках электромагнитов ЭМ1 и ЭМ3. В результате в обмотках электромагнитов формируются такие токи, которые создают результирующую силу, возвращающую ротор в центральное (по датчику) положение.

Процессы, протекающие при работе предложенной системы управления электромагнитным подвесом ротора, можно представить структурной схемой (рис. 2).



Р и с. 2. Структурная схема двухконтурной системы управления электромагнитным подвесом ротора

На ней приняты следующие обозначения: $k_{ДП}$ – коэффициент передачи датчика положения; $k_{П}$ – коэффициент передачи пропорционального регулятора; $k_{ОСС}$ – коэффициент передачи (постоянная времени) дифференцирующего звена; $W_{ПД}(p)$ – передаточная функция пропорционально-дифференциального регулятора; $x_3(p)$ и $x(p)$ – изображения сигнала задания и перемещения (отклонения от центрального положения) ротора соответственно. Причем для системы управления электромагнитным подвесом ротора принципиально $x_3(p) = 0$. Передаточная функция [1] объекта управления, под которым понимается процесс перемещения ротора под действием напряжения, поступающего с безынерционного силового преобразователя,

$$W_{Oy}(p) = \frac{x(p)}{N(p)} = \frac{k_{ШИМ}k_{ЭМ}}{k_F \left[\frac{mT_{Э}}{k_F} p^3 + \frac{m}{k_F} p^2 + \left(\frac{k_{ЭМ}k_E}{k_F U} - T_{Э} \right) p - 1 \right]}, \quad (1)$$

где $N(p)$ – изображение управляющего сигнала на входе силового преобразователя; $k_{ШИМ}$ – коэффициент передачи широтно-импульсного модулятора; U – опорное напряжение силового преобразователя; $k_{ЭМ}$ – коэффициент передачи, связывающий силу, действующую на ротор со стороны электромагнитов при его центральном положении, с соотношением токов в электромагнитах; k_F – коэффициент передачи, характеризующий изменение силы, действующей на ротор, при его отклонении от центрального положения; m – масса ротора; $T_{Э}$ – постоянная времени электрической цепи обмоток электромагнитов; k_E – коэффициент передачи, определяющий

приращение наводимой в обмотках электромагнитов э.д.с. со скоростью перемещения ротора в магнитном поле.

Анализ передаточной функции (1) показывает, что процесс перемещения ротора в поле электромагнитов представляет собой неустойчивый объект управления, причем неустойчивость вызвана действием положительной обратной с коэффициентом передачи k_F .

Пропорционально-дифференциальный регулятор с передаточной функцией

$$W_{\text{пд}}(p) = k_{\text{пд}}(T_{\text{пд}}p + 1),$$

где $k_{\text{пд}}$ – коэффициент передачи, $T_{\text{пд}}$ – постоянная времени регулятора, предназначен для компенсации инерционности объекта управления.

Пропорциональный регулятор с коэффициентом передачи $k_{\text{п}}$ обеспечивает вместе с регулятором внутреннего контура требуемые статические и динамические свойства системы управления электромагнитным подвесом ротора.

Передаточная функция замкнутой двухконтурной системы управления электромагнитным подвесом ротора

$$W_2(p) = \frac{x(p)}{x_3(p)} = \frac{k_2(T_{\text{пд}}p + 1)}{k_{\text{дп}}(k_2 - k_F) \left[\frac{mT_{\text{э}}}{k_2 - k_F} p^3 + \frac{m + k_1T_{\text{пд}}}{k_2 - k_F} p^2 + \frac{\frac{k_{\text{эм}}k_E}{U} + k_1 + k_2T_{\text{пд}} - k_FT_{\text{э}}}{k_2 - k_F} p + 1 \right]}, \quad (2)$$

где $k_1 = k_{\text{пд}}k_{\text{шим}}k_{\text{эм}}k_{\text{осс}}k_{\text{дп}}$; $k_2 = k_{\text{п}}k_{\text{пд}}k_{\text{шим}}k_{\text{эм}}k_{\text{дп}}$.

Условие устойчивости системы третьего порядка по критерию Гурвица [3]

$$a_1a_2 - a_0a_3 > 0$$

при положительности всех коэффициентов.

Для рассматриваемого случая

$$a_0 = \frac{mT_{\text{э}}}{k_2 - k_F}; \quad a_1 = \frac{m + k_1T_{\text{пд}}}{k_2 - k_F}; \quad a_2 = \frac{\frac{k_{\text{эм}}k_E}{U} + k_1 + k_2T_{\text{пд}} - k_FT_{\text{э}}}{k_2 - k_F}; \quad a_3 = 1,$$

поэтому условие устойчивости определяется системой неравенств

$$\left. \begin{aligned} k_2 - k_F > 0; \\ (m + k_1T_{\text{пд}}) \left(\frac{k_{\text{эм}}k_E}{U} + k_1 + k_2T_{\text{пд}} - k_FT_{\text{э}} \right) - mT_{\text{э}}(k_2 - k_F) > 0. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Система (3) позволяет найти граничные, с точки зрения устойчивости, значения коэффициентов передачи пропорционально-дифференциального $k_{\text{пд}}$ и пропорционального $k_{\text{п}}$ регуляторов. Подставляя значения k_1 , k_2 и переходя в (3) к равенствам, получим следующую систему уравнений относительно переменных $k_{\text{пд}}$ и $k_{\text{п}}$:

$$\left. \begin{aligned}
k_{\Pi} k_{\text{ПД}} &= \frac{k_F}{k_{\text{ШИМ}} k_{\text{ЭМ}} k_{\text{ДП}}}; \\
(k_{\text{ШИМ}} k_{\text{ЭМ}} k_{\text{ОСС}} k_{\text{ДП}})^2 T_{\text{ПД}} k_{\text{ПД}}^2 + (k_{\text{ШИМ}} k_{\text{ЭМ}} k_{\text{ДП}})^2 k_{\text{ОСС}} T_{\text{ПД}}^2 k_{\Pi} k_{\text{ПД}}^2 + \\
&+ k_{\text{ШИМ}} k_{\text{ЭМ}} k_{\text{ОСС}} k_{\text{ДП}} \left(m + \frac{k_{\text{ЭМ}} k_E T_{\text{ПД}}}{U} - k_F T_{\text{ПД}} T_{\text{Э}} \right) k_{\text{ПД}} + \\
&+ m k_{\text{ШИМ}} k_{\text{ЭМ}} k_{\text{ДП}} (T_{\text{ПД}} - T_{\text{Э}}) k_{\Pi} k_{\text{ПД}} + \frac{m k_{\text{ЭМ}} k_E}{U} = 0.
\end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Подставляя первое уравнение (4) во второе, получим выражение для граничного значения коэффициента $k_{\text{ПД}}$ передачи пропорционально-дифференциального регулятора

$$\begin{aligned}
&(k_{\text{ШИМ}} k_{\text{ЭМ}} k_{\text{ОСС}} k_{\text{ДП}})^2 T_{\text{ПД}} k_{\text{ПД}}^2 + k_{\text{ШИМ}} k_{\text{ЭМ}} k_{\text{ОСС}} k_{\text{ДП}} \times \\
&\times \left[m + \frac{k_{\text{ЭМ}} k_E T_{\text{ПД}}}{U} + k_F T_{\text{ПД}} (T_{\text{ПД}} - T_{\text{Э}}) \right] k_{\text{ПД}} + m \left[k_F (T_{\text{ПД}} - T_{\text{Э}}) + \frac{k_{\text{ЭМ}} k_E}{U} \right] = 0.
\end{aligned}$$

Отсюда граничное значение коэффициента передачи пропорционально-дифференциального регулятора

$$k_{\text{ПД}, \min} = \frac{- \left[\frac{m}{T_{\text{ПД}}} + \frac{k_{\text{ЭМ}} k_E}{U} + k_F (T_{\text{ПД}} - T_{\text{Э}}) \right] + \sqrt{\left[\frac{m}{T_{\text{ПД}}} + \frac{k_{\text{ЭМ}} k_E}{U} + k_F (T_{\text{ПД}} - T_{\text{Э}}) \right]^2 - \frac{4m}{T_{\text{ПД}}} \left[k_F (T_{\text{ПД}} - T_{\text{Э}}) + \frac{k_{\text{ЭМ}} k_E}{U} \right]}}{2 k_{\text{ШИМ}} k_{\text{ЭМ}} k_{\text{ОСС}} k_{\text{ДП}}}.$$

Следует отметить, что ограничение накладывается на минимальное значение коэффициента передачи пропорционально-дифференциального регулятора. Например, при параметрах электромагнитного подвеса $k_E = 1461$ Вс/м; $k_{\text{ЭМ}} = 1306$ Н; $k_F = 1315900$ Н/м; $m = 36$ кг; $T_{\text{Э}} = 0,038233$ с; $U = 57,7$ В; $T_{\text{ПД}} = 0,115$ с; $k_{\text{ОСС}} = 0,0032$ с; $k_{\text{ШИМ}} = 1,9608 \cdot 10^{-3}$; $k_{\text{ДП}} = 1000000$ дискрет/м; $k_{\text{ПД}, \min} = -0,0383$.

Следовательно, для устойчивости подвеса с приведенными данными электромагнитов и элементов системы управления коэффициент передачи $k_{\text{ПД}}$ может принимать любое положительное значение.

Из первого уравнения (4) вытекает минимальное значение k_{Π} коэффициента передачи пропорционального регулятора

$$k_{\Pi, \min} = \frac{k_F}{k_{\text{ПД}} k_{\text{ШИМ}} k_{\text{ЭМ}} k_{\text{ДП}}}.$$

При тех же параметрах электромагнитов и элементов системы управления и, например, при $k_{\text{ПД}} = 1$

$$k_{\Pi, \min} = 0,5139.$$

Теоретически ограничений на максимальную величину $k_{\text{ПД}}$ и k_{Π} в рамках рассматриваемой непрерывной модели системы управления не существует.

Для обоснованного выбора параметров настройки пропорционального и пропорционально-дифференциального регуляторов, а именно k_{Π} , $k_{\text{ПД}}$ и $T_{\text{ПД}}$, разделим

знаменатель передаточной функции (2) на числитель. В результате можно записать приближенное равенство

$$W_2(p) \approx \frac{k_2}{k_{\text{ИД}}(k_2 - k_F) \left[\frac{mT_{\text{Э}}}{T_{\text{ИД}}(k_2 - k_F)} p^2 + \frac{m \left(\frac{T_{\text{ИД}} - T_{\text{Э}}}{T_{\text{ИД}}} \right) + k_1 T_{\text{ИД}}}{T_{\text{ИД}}(k_2 - k_F)} p + 1 \right]}. \quad (5)$$

Постоянную времени пропорционально-дифференциального регулятора примем равной

$$T_{\text{ИД}} = iT_{\text{Э}},$$

где i – постоянный коэффициент, вариацией которого можно достичь хорошего приближения в (5).

Величина i может быть разной, однако из разложения знаменателя передаточной функции (2) можно сделать вывод, что при выполнении условия

$$k_2 \gg k_F \quad (6)$$

выбор минимальной величины i_{min} из кубического уравнения

$$i_{\text{min}}^3 + \frac{k_F T_{\text{Э}} - \frac{k_{\text{ЭМ}} k_E}{U}}{\Delta_{\text{омн}}(k_2 - k_F) T_{\text{Э}} - k_F T_{\text{Э}}} + \frac{m}{T_{\text{Э}} [\Delta_{\text{омн}}(k_2 - k_F) T_{\text{Э}} - k_F T_{\text{Э}}]} i_{\text{min}} - \frac{m}{T_{\text{Э}} [\Delta_{\text{омн}}(k_2 - k_F) T_{\text{Э}} - k_F T_{\text{Э}}]} = 0 \quad (7)$$

позволяет с относительной погрешностью, не превышающей $\Delta_{\text{омн}}$, получить в знаменателе (2) полюс передаточной функции, компенсирующий соответствующий нуль.

Расчеты показывают, что для параметров электромагнитного подвеса, приведенных выше, и $\Delta_{\text{омн}} = 0,1$ условие (6) выполняется, а из решения (7) вытекает

$$i_{\text{min}} = 0,105.$$

Следовательно, при $i > 0,105$ в выражении (5) можно принять строгое равенство. Моделирование системы управления в программной среде Matlab Simulink показывает, что практически оптимальным является выбор $i = 3$, то есть постоянная времени пропорционально-дифференциального регулятора должна быть равна

$$T_{\text{ИД}} = 3T_{\text{Э}}. \quad (8)$$

Теперь остается произвести обоснованный выбор величин $k_{\text{ИД}}$ и $k_{\text{П}}$ соответствующих регуляторов и параметра обратной связи по скорости $k_{\text{ОСС}}$. Решение будем искать в таком виде, чтобы всегда $k_{\text{ИД}} = k_{\text{П}}$, а характер переходного процесса по своим параметрам был близок к показателям качества технического оптимума. Это позволит при простой технической реализации системы управления ($k_{\text{ИД}}$ и $k_{\text{П}}$ можно выбирать кратными двум) получить практически оптимальный по быстрдействию переходный процесс. При выполнении условия (8) передаточная функция (5) принимает вид

$$W_2(p) = \frac{k_2}{k_{дп}(k_2 - k_F) \left[\frac{m}{3(k_2 - k_F)} p^2 + \frac{2m + k_1 9T_э}{9T_э(k_2 - k_F)} p + 1 \right]} \quad (9)$$

Из (9) следует, что коэффициент демпфирования колебаний в рассматриваемой системе управления

$$\xi = \frac{2m + 9k_1 T_э}{18T_э \sqrt{\frac{m(k_2 - k_F)}{3}}} \quad (10)$$

Параметры регуляторов входят в коэффициенты передачи

$$k_1 = k_{пд} k_{шим} k_{эм} k_{осс} k_{дп}; \quad k_2 = k_{п} k_{пд} k_{шим} k_{эм} k_{дп}.$$

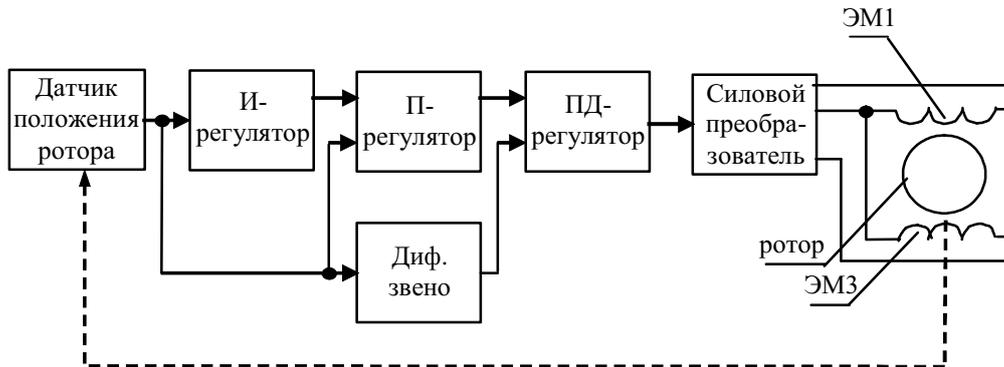
Принимая во внимание выполнение условия (6) и приравнявая $k_{пд} = k_{п}$ в выражении (10), после несложных преобразований получим

$$k_{пд} = k_{п} = \frac{2m}{9T_э \left(2\xi \sqrt{\frac{mk_{шим} k_{эм} k_{дп}}{3}} - k_{шим} k_{эм} k_{осс} k_{дп} \right)}.$$

И в то же время можно записать

$$k_{осс} = 2\xi \sqrt{\frac{m}{3k_{шим} k_{эм} k_{дп}}} - \frac{2m}{9k_{пд} k_{шим} k_{эм} k_{дп} T_э}.$$

При заданных параметрах электромагнитного подвеса и выборе $\xi = 0,741$ получим необходимое значение $k_{осс} = 0,0032$, при котором $k_{пд} = k_{п}$ теоретически при любых их численных значениях. Выбор $\xi = 0,741$ не случаен, поскольку при этом получается $k_{осс}$, кратный двум. Очевидно, что чем больше величина коэффициентов передачи $k_{пд}$ и $k_{п}$, тем выше быстродействие и жесткость электромагнитной опоры.



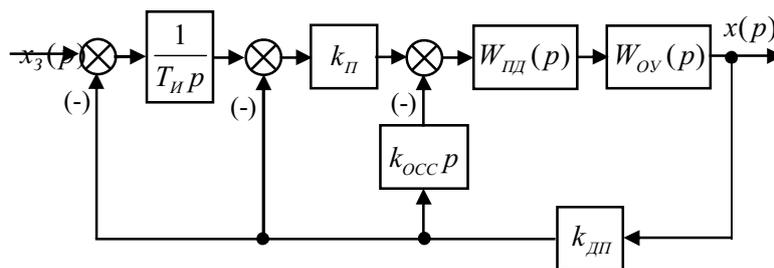
Р и с. 3. Функциональная схема трехконтурной системы управления электромагнитным подвесом ротора

Двухконтурная система управления электромагнитным подвесом обладает статической ошибкой в поддержании ротора в определенном положении. Для исключения этого недостатка необходимо ввести дополнительный контур положения. В результате получается трехконтурная система управления [4] электромагнитным подвесом (рис. 3).

Она содержит интегральный регулятор во внешнем контуре, который компенсирует все помехи, охваченные обратной связью. Структурная схема (рис. 4) трехконтурной системы управления позволяет исследовать ее статические и динамические свойства. Передаточная функция замкнутой трехконтурной системы управления электромагнитным подвесом ротора

$$W_3(p) = \frac{x(p)}{x_3(p)} = \frac{(T_{\text{ИД}}p+1)}{k_{\text{ДП}} \left[\frac{mT_{\text{Э}}T_{\text{И}}}{k_2} p^4 + \frac{(m+k_1T_{\text{ИД}})T_{\text{И}}}{k_2} p^3 + \left(\frac{k_{\text{ЭМ}}k_{\text{Е}}}{U} + k_1 + k_2T_{\text{ИД}} - k_{\text{F}}T_{\text{Э}} \right) T_{\text{И}} p^2 + \left(\frac{k_2 - k_{\text{F}}}{k_2} T_{\text{И}} + T_{\text{ИД}} \right) p + 1 \right]}, \quad (11)$$

где $T_{\text{И}}$ – постоянная времени интегрального регулятора,



Р и с. 4. Структурная схема трехконтурной системы управления электромагнитным подвесом ротора

представляет собой динамическое звено четвертого порядка, условие устойчивости которого определяется неравенством (при положительности всех коэффициентов)

$$a_3(a_1a_2 - a_0a_3) - a_1^2a_4 > 0.$$

Для рассматриваемого случая трехконтурной системы управления

$$a_0 = \frac{mT_{\text{Э}}T_{\text{И}}}{k_2}; \quad a_1 = \frac{(m + k_1T_{\text{ИД}})T_{\text{И}}}{k_2}; \quad a_2 = \frac{\left(\frac{k_{\text{ЭМ}}k_{\text{Е}}}{U} + k_1 + k_2T_{\text{ИД}} - k_{\text{F}}T_{\text{Э}} \right) T_{\text{И}}}{k_2};$$

$$a_3 = \frac{k_2 - k_{\text{F}}}{k_2} T_{\text{И}} + T_{\text{ИД}}; \quad a_4 = 1.$$

Поэтому устойчивость разрабатываемой системы управления будет определяться системой неравенств

$$\left. \begin{aligned} &k_2 - k_F > 0; \\ &\left[(k_2 - k_F)(m + k_1 T_{\text{ИД}}) \left(\frac{k_{\text{ЭМ}} k_E}{U} + k_1 + k_2 T_{\text{ИД}} - k_F T_{\text{Э}} \right) - m(k_2 - k_F)^2 T_{\text{Э}} \right] T_{\text{И}}^2 + \\ &\left[k_2 T_{\text{ИД}} (m + k_1 T_{\text{ИД}}) \left(\frac{k_{\text{ЭМ}} k_E}{U} + k_1 + k_2 T_{\text{ИД}} - k_F T_{\text{Э}} \right) - \right. \\ &\left. - 2mk_2(k_2 - k_F) T_{\text{ИД}} T_{\text{Э}} - k_2(m + k_1 T_{\text{ИД}})^2 \right] T_{\text{И}} - k_2^2 T_{\text{ИД}}^2 > 0. \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

Переходя во втором условии устойчивости (12) к равенству, получим квадратное уравнение для определения граничного значения постоянной времени $T_{\text{И.ГР}}$ интегрального регулятора

$$aT_{\text{И.ГР}}^2 + bT_{\text{И.ГР}} + c = 0, \quad (13)$$

где $a = (k_2 - k_F)(m + k_1 T_{\text{ИД}}) \left(\frac{k_{\text{ЭМ}} k_E}{U} + k_1 + k_2 T_{\text{ИД}} - k_F T_{\text{Э}} \right) - m(k_2 - k_F)^2 T_{\text{Э}}$; $c = -mT_{\text{Э}} k_2^2 T_{\text{ИД}}^2$;

$b = k_2 T_{\text{ИД}} (m + k_1 T_{\text{ИД}}) \left(\frac{k_{\text{ЭМ}} k_E}{U} + k_1 + k_2 T_{\text{ИД}} - k_F T_{\text{Э}} \right) - 2mk_2(k_2 - k_F) T_{\text{ИД}} T_{\text{Э}} - k_2(m + k_1 T_{\text{ИД}})^2$.

Из (13) следует, что при выбранных параметрах пропорционального и пропорционально-дифференциального регуляторов (т. е. при известных значениях k_1 и k_2) минимальная величина постоянной времени интегрального регулятора, при которой система находится на границе устойчивости, определяется выражением

$$T_{\text{И.ГР}} = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}. \quad (14)$$

Вариация параметров настройки пропорционального и пропорционально-дифференциального регуляторов приводит к изменению $T_{\text{И.ГР}}$. Для обеспечения показателей качества переходных процессов, близких к техническому оптимуму, необходимо выбирать постоянную времени $T_{\text{И}}$ интегрального регулятора из соотношения

$$T_{\text{И}} = 4,38 T_{\text{И.ГР}}. \quad (15)$$

Статическая точность трехконтурной системы управления электромагнитным подвесом ротора определяется только погрешностью датчика положения. Отсюда вытекает абсолютная статическая жесткость электромагнитных опор, оснащенных трехконтурной системой. Тем не менее провалы ротора под действием внешних возмущающих сил позволяют говорить о динамической жесткости электромагнитного подшипника тем большей, чем меньше постоянная времени $T_{\text{И}}$.

Из выражений (13), (14) и (15) вытекает, что в непрерывной трехконтурной системе управления электромагнитным подвесом ротора с безынерционным силовым преобразователем теоретически нет ограничений на минимальное значение постоянной времени $T_{\text{И}}$. Фактические ограничения на максимальную величину коэффициентов передачи пропорционального $k_{\text{И}}$ и пропорционально-дифференциального $k_{\text{ИД}}$ регуляторов и минимальное значение $T_{\text{И}}$ будут накладывать процессы квантования по времени и уровню при цифровой технической реализации. Тем не менее, приведенный параметрический синтез регуляторов многоконтурной системы управления

позволяет создавать электромагнитные опоры, обладающие высоким быстродействием и практически абсолютной статической жесткостью.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Макаричев Ю.А., Стариков А.В. Теоретические основы расчета и проектирования радиальных электромагнитных подшипников. – М.: Энергоатомиздат, 2009. – 150 с.
2. Патент РФ № 2375736, МКИ⁷ G05B11/36, H02K7/09, H02P6/16. Система управления электромагнитным подвесом ротора / Ю.А. Макаричев, А.В. Стариков, С.А. Стариков (Россия) // Оpubл. 10.12.2009, Бюл. № 34.
3. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического регулирования. – М.: Наука, 1975. – 768 с.
4. Патент РФ № 2395150, МКИ⁷ H02K7/09, H02P6/16, G05B11/36. Система управления электромагнитным подвесом ротора / А.В. Стариков, С.А. Стариков (Россия) // Оpubл. 20.07.2010, Бюл. № 20.

Статья поступила в редакцию 17 января 2011 г.

UDC 621.3.078

PARAMETRIC SYNTHESIS OF REGULATORS OF MULTICIRCUIT CONTROL SYSTEM BY MAGNETIC ROTOR SUSPENSION

A.V. Starikov, S.A. Starikov

Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100

Two variants of construction of magnetic rotor suspension control system are considered. Transfer functions of closed-loop system are found and stability conditions are defined. Analytic expressions for calculation of regulators parameters are obtained.

Key words: *magnetic suspension, control system, function block diagram, transfer function, proportional-plus-derivative action control, integral controller.*

*Alexander V. Starikov – Candidate of Technical Sciences, Associate professor.
Stanislav A. Starikov – Postgraduate student.*