

следствием увеличения эквивалентного индуктивного сопротивления схемы замещения асинхронного двигателя, а поэтому можно ожидать их незначительное влияние на его электромагнитный момент.

Таким образом, проведенные теоретические исследования предлагаемого способа ШИМ в цепи статора асинхронного двигателя показывают его преимущества, повышающие качественные показатели параметрического способа регулирования угловой скорости двигателя.

Л и т е р а т у р а

1. Гельман М.В., Лохов С.П. Сравнение импульсного и фазового способов регулирования переменного напряжения. – Электротехническая промышленность, 1971, вып. 14, с. 13 – 16. 2. Управление трехфазным асинхронным двигателем на основе ШИМ кривых переменного напряжения/ Э.Н.Гречко, М.М.Адамишин, А.П.Бойков, В.И.Кутовой. – В сб.: Источники электропитания со специальными характеристиками. Киев, 1979, с. 89 – 97. 3. А.с. 764096 (СССР). Способ широтно-импульсной модуляции выходного напряжения переменного тока/ В.П.Беляев, Г.И.Гульков, В.Г.Сидоров. – Оpubл. в Б.И., 1980, №34. 4. Структуры систем управления автоматизированным электроприводом/ О.П. Ильин, В.И. Панасюк, Ю.Н.Петренко, В.П.Беляев. – Мн.: Наука и техника, 1978. – 367 с.

УДК 62 – 501

В.Я.Максимов

МЕТОД СИНТЕЗА БЕСПОИСКОВОЙ САМОНАСТРАИВАЮЩЕЙСЯ СИСТЕМЫ С СИГНАЛЬНОЙ НАСТРОЙКОЙ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

В практике синтеза самонастраивающихся систем с эталонной моделью часто встречаются структуры, состоящие из последовательно соединенных апериодических и интегрирующих звеньев, выход которых доступен измерению. В частности, к таким структурам можно отнести структуры систем стабилизации мощности (усилия) резания.

В статье рассматривается метод синтеза СНС с эталонной моделью и сигнальной настройкой на основе прямого метода Ляпунова, когда обобщенный настраиваемый объект [1] состо-

ит из последовательно соединенных апериодических звеньев и описывается системой уравнений:

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= -a_{11}(t)x_1 + a_{12}(t)x_2; \\ \dot{x}_2 &= -a_{22}(t)x_2 + a_{23}(t)x_3; \\ \dot{x}_n &= -a_n(t)x_n + k(t)\Phi(y), \end{aligned} \quad (1)$$

где $\Phi(y)$ - нелинейная функция с насыщением.

Пределы изменения коэффициентов считаются известными:

$$k_{\min} \leq k(t) \leq k_{\max};$$

$$a_{11\min} \leq a_{11}(t) \leq a_{11\max};$$

$$a_{12\min} \leq a_{12}(t) \leq a_{12\max};$$

$$a_{nn\min} \leq a_{nn}(t) \leq a_{nn\max}.$$

Запишем n -ю производную x_1 в виде

$$x_1^n = C_1 x_1 + C_2 x_2 + \dots + C_n x_n + C_0 k(t)\Phi(y), \quad (3)$$

где $C_1(t) = (-1)^n a_{11}^n(t)$;

$$C_2(t) = (-1)^{n-1} a_{12} \frac{a_{11}^n - a_{12}^n}{a_{11} - a_{22}};$$

$$C_3(t) = (-1)^{n-2} a_{12} a_{23} \left\{ \frac{a_{11}^{n-1} - a_{22}^{n-1}}{a_{11} - a_{22}} + a_{33} \left(\frac{a_{11}^{n-2} - a_{22}^{n-2}}{a_{11} - a_{22}} + \dots + a_{33} \left(\frac{a_{11}^3 - a_{22}^3}{a_{11} - a_{22}} + \sum_{i=1}^3 a_{ii} \dots \right) \right) \right\};$$

$$C_4 = (-1)^{n-3} a_{12} a_{23} a_{34} \left\{ \frac{a_{11}^{n-2} - a_{22}^{n-2}}{a_{11} - a_{22}} + \dots \right\};$$

где коэффициенты d_i ($i = 1, 2, \dots, n$) определяются аналогично C_i .

Вычитая из уравнений (5) уравнение (1) и вводя обозначение

$$\epsilon_i = x_{iM} - x_i \quad (i = 1, 2, \dots, n), \quad (7)$$

составим уравнение ошибки

$$\begin{aligned} \dot{\epsilon}_1^n = & d_1 \epsilon_1 + \dots + d_n \epsilon_n + \sum_{i=1}^n [d_i - C_i(t)] x_i + d_o k_H g - \\ & - C_o k(t) \Phi(y). \end{aligned} \quad (8)$$

Уравнение (8) можно записать в виде

$$\begin{aligned} \dot{\epsilon}_1 = & -b_{11} \epsilon_1 + b_{12} \epsilon_2; \\ \dot{\epsilon}_2 = & -b_{22} \epsilon_2 + b_{23} \epsilon_3; \\ \epsilon_n = & -b_{nn} \epsilon_n + \frac{1}{d_o} \sum_{i=1}^n [d_i - C_i(t)] x_i + \\ & + k_{Mg} - \frac{C_o}{d_o} k(t) \Phi(y) \end{aligned} \quad (9)$$

или в матричной форме

$$\dot{\epsilon} = A \epsilon + V, \quad V^T [0 \dots u_o], \quad (10)$$

где
$$U_o = \sum_{i=1}^n \left[\frac{d_i - C_i(t)}{d_o} \right] x_i + k_{Mg} - \frac{C_o}{d_o} k(t) \Phi(y). \quad (11)$$

Функцию Ляпунова выбираем в виде квадратичной формы фазовых координат

$$V = \epsilon^T P \epsilon, \quad (12)$$

где P - симметрическая матрица.

Производная функции Ляпунова с учетом (10) будет иметь вид

$$\dot{V} = \epsilon^T (A^T P + P A) \epsilon + 2 \epsilon^T P U. \quad (13)$$

При условии, что A является неособой матрицей, выражение (13) можно представить в виде

$$\dot{V} = -\epsilon^T D \epsilon + 2 \epsilon^T P U, \quad (14)$$

где

$$-D = A^T P + P A. \quad (15)$$

Для обеспечения устойчивости процессов настройки необходимо выполнить условие

$$2 \epsilon^T P U \leq 0. \quad (16)$$

Так как

$$2 \epsilon^T P U = 2(p_{n1} \epsilon_1 + p_{n2} \epsilon_2 + \dots + p_{nn} \epsilon_n) u_0 \quad (17)$$

и если выбрать

$$u_0 = -h \operatorname{sign} \sum_{n=1}^n p_{ni} \epsilon_i, \quad (18)$$

$$0 \leq h \leq \infty$$

то условие (16) будет соблюдаться.

С учетом (11) выражение (17) преобразуется к виду [2]

$$\sum_{i=1}^n \left[\frac{d_i - C_i(t)}{d_0} \right] x_i + k_M \delta + k_M x_1 - \frac{C_0}{d_0} k(t) \Phi(\delta + z) = -h \operatorname{sign} \sum_{i=1}^n P_{ni} \epsilon_i, \quad (19)$$

где $g = \delta + x_1$; $y = \delta + z$.

Знак полученного выражения будет определяться знаком функции $\Phi(\delta + z)$, если

$$\left| \Phi(\delta + z) \right| \geq \left| \sum_{i=1}^n \left[\frac{d_i - C_i(t)}{C_0 k(t)} \right] x_i \right|_{\max} + \left| \frac{k_M x_1 d_0}{C_0 k(t)} \right|_{\max} +$$

$$+ \left| \frac{k_M d_o \delta}{C_o k(t)} \right|_{\max} \quad (20)$$

Представим нелинейную функцию как произведение двух сомножителей

$$\Phi(\delta + z) = \Psi(\delta + z) (\delta + z) \quad (21)$$

Тогда, учитывая (20), при ограниченных сигналах δ и z условие (17) можно записать в следующем виде:

$$|z| \geq \left| \sum_{i=1}^n \left[\frac{d_i - C_i(t)}{\Psi C_o k(t)} \right] x_i \right|_{\max} + \left| \frac{k_M d_o x_1}{\Psi C_o k(t)} \right|_{\max} + \left| \frac{d_o k_M \delta}{\Psi C_o k(t)} \right|_{\max} + |\delta|_{\max}; \quad (22)$$

$$\text{sign } z = \text{sign} \sum_{i=1}^n p_{ni} \epsilon_i \quad (23)$$

Выражения (22) и (23) позволяют найти алгоритм настройки

$$z \geq \left\{ M_1 |x_1| + M_2 |x_2| + \dots + M_n |x_n| + M |\delta| \right\} \text{sign} \sum_{i=1}^n p_{ni} \epsilon_i \quad (24)$$

где

$$M_1 = \left| \frac{d_1 - C_1(t) + k_M d_o}{\Psi C_o k(t)} \right|_{\max}; \quad M_2 = \left| \frac{d_2 - C_2(t)}{\Psi C_o k(t)} \right|_{\max} \dots;$$

$$M_n = \left| \frac{d_n - C_n(t)}{\Psi C_o k(t)} \right|_{\max}; \quad M_o = \left| \frac{d_o k_M}{\Psi C_o k(t)} + 1 \right|_{\max}.$$

Данный алгоритм позволяет построить СНС, в которой обеспечивается устойчивость движения основной системы относительно движения эталонной модели. Отсутствие производных высших порядков в алгоритме настройки позволяет довольно просто реализовать данный алгоритм на стандартных интегральных элементах.

Например, обобщенный настраиваемый объект описывается системой дифференциальных уравнений:

$$\dot{x}_1 = -\frac{1}{T_1} x_1 + \frac{k_1}{T_1} x_2;$$

$$\dot{x}_2 = -\frac{1}{T_2} x_2 + \frac{k_2}{T_2} x_3;$$

$$\dot{x}_3 = -\frac{1}{T_3} x_3 + \frac{k_3}{T_3} \phi(y);$$

высшая производная выходной величины

$$\begin{aligned} x_1^3 = & -\frac{1}{T_1^3} x_1 + \frac{k_1}{T_1} \left(\frac{1}{T_1^2} + \frac{1}{T_1 T_2} + \frac{1}{T_2^2} \right) x_2 \frac{k_1 k_2}{T_1 T_2} \left(\frac{1}{T_1} + \right. \\ & \left. + \frac{1}{T_2} + \frac{1}{T_3} \right) x_3 + \frac{k_1 k_2 k_3}{T_1 T_2 T_3} \phi(y); \end{aligned}$$

уравнение модели для данного обобщенного настраиваемого объекта

$$\dot{x}_{1M} = -\frac{1}{T_{1M}} x_{1M} + \frac{k_{1M}}{T_{1M}} x_{2M};$$

$$\dot{x}_{2M} = -\frac{1}{T_{2M}} x_{2M} + \frac{k_{2M}}{T_{3M}} x_{3M};$$

$$\dot{x}_{3M} = -\frac{1}{T_{3M}} x_{3M} + \frac{k_{3M}}{T_{3M}} g$$

или

$$x_{1M}^3 = d_1 x_1 + d_2 x_2 + d_3 x_3 + d_0 \frac{k_{3M}}{T_{3M}} g,$$

где $d_1 = \frac{1}{T_3}$; $d_2 = \frac{k_{1M}}{T_{1M}} \left(\frac{1}{T_2} + \frac{1}{T_{1M} T_{2M}} + \frac{1}{T_{2M}^2} \right)$;

$d_3 = \frac{k_{1M} k_{2M}}{T_{1M} T_{2M}} \left(\frac{1}{T_1} + \frac{1}{T_2} + \frac{1}{T_{3M}} \right)$; $d_0 = \frac{k_{1M} k_{2M}}{T_{1M} T_{2M}}$.

Уравнение ошибки

$$\begin{aligned} \epsilon_1^3 = & d_1 \epsilon_1 + d_2 \epsilon_2 + d_3 \epsilon_3 + \sum_{i=1}^3 [d_i - C_1(t)] x_i + \\ & + d_0 \frac{k_{3M}}{T_{3M}} g - C_0 \frac{k_3}{T_3} \Phi(y) \end{aligned}$$

или

$$\dot{\epsilon}_1 = -\frac{1}{T_{1M}} \epsilon_1 + \frac{k_{1M}}{T_{1M}} \epsilon_2;$$

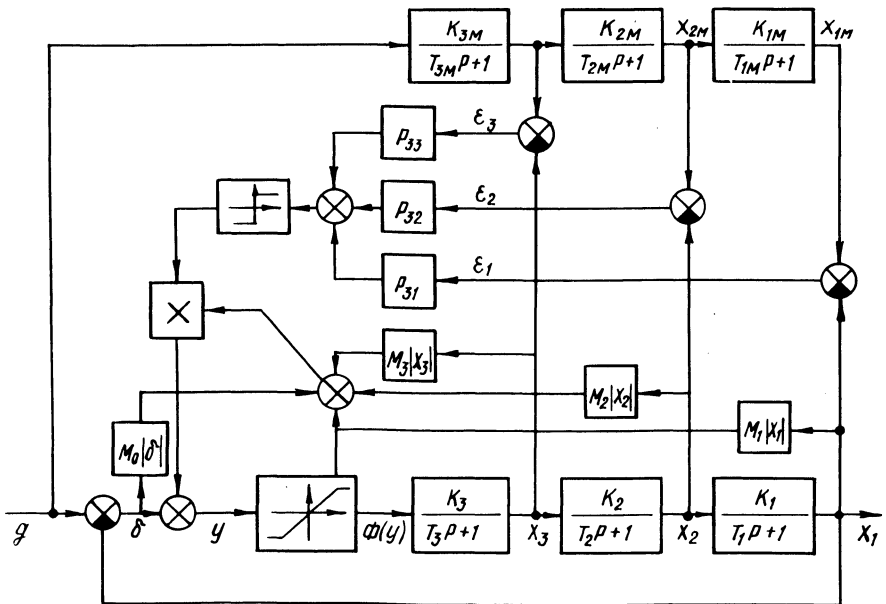


Рис. 1. Структурная схема СИС с сигнальной настройкой.

$$\dot{\epsilon}_2 = -\frac{1}{T_{2M}} \epsilon_2 + \frac{k_{2M}}{T_{2M}} \epsilon_3 ;$$

$$\begin{aligned} \dot{\epsilon}_3 = & -\frac{1}{T_{3M}} \epsilon_3 + \frac{C_1 - d_1}{d_o} x_1 + \frac{d_2 - C_2}{d_o} x_2 + \\ & + \frac{C_3 - d_3}{d_o} x_3 + \frac{k_{3M}}{T_{3M}} g - \frac{C_o k_3}{d_o T_3} \Phi(y). \end{aligned}$$

Алгоритмы настройки системы

$$\begin{aligned} z \dot{\cong} & (M_1) |x_1| + M_2 |x_2| + M_3 |x_3| + \\ & + M_o |\delta|) \operatorname{sign}(P_{31} \epsilon_1 + P_{32} \epsilon_2 + P_{33} \epsilon_3). \end{aligned}$$

Структурная схема СНС представлена на рис. 1.

Л и т е р а т у р а

1. Принципы построения и проектирования самонастраивающихся систем управления/ Б.Н.Петров, В.Ю.Рутковский, В.Ю.Крутова и др. - М.: Машиностроение, 1972. - 260 с.
2. Громько В.Д., Санковский Е.А. Самонастраивающиеся системы с моделью. - М.: Энергия, 1974. - 80 с.

УДК 621.313.333.2

А.А.Гончар

О ПОКАЗАТЕЛЯХ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ПРИ ОТКЛОНЕНИИ ЧАСТОТЫ ОТ НОМИНАЛЬНОГО ЗНАЧЕНИЯ

Основными потребителями электрической энергии являются асинхронные двигатели общепромышленного применения (АД) низкого напряжения мощностью 0,6 - 100 кВт. Их установленная мощность превышает 200 млн. кВт, на их долю приходится более 40% потребляемой электроэнергии.

Практически все эти АД работают при ненормальных условиях, когда частота питающей сети f_1 в узких пределах отклоняется вниз или вверх от номинального значения [1]. Это приводит к изменению их технико-экономических показателей по сравнению с номинальными значениями.

Работа АД при отклонении частоты питающей сети f_1 от номинального значения представляет интерес также для элект-