

АНАЛИТИЧЕСКОЕ КОНСТРУИРОВАНИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ПО ПРЯМЫМ ПОКАЗАТЕЛЯМ КАЧЕСТВА

При проектировании систем стабилизации скорости электроприводов возникает задача определения оптимального управления возмущенным движением.

Такую задачу [1] можно решать, используя принцип аналитического конструирования регуляторов. При этом поиск оптимального управления является начальным этапом проектирования и, конечно, должен определить облик будущей системы управления электроприводом.

Критерий оптимальности для задач управления возмущенным движением может быть представлен в виде минимума квадратичного функционала от координат и управляющих воздействий

$$I = \int_0^{\infty} V dt .$$

$$\text{Здесь } V = \sum_k a_k X_k^2 + cU^2 . \quad (1)$$

Определение алгоритма управления производится на основе решения вариационной задачи применительно к неизменяемой части системы электропривода, описываемой системой обыкновенных дифференциальных уравнений

$$\frac{dX_k}{dt} = \sum_{\alpha=1}^n b_{k\alpha} X_{\alpha} + m_k U . \quad (2)$$

При решении учитываются ограничения на фазовые координаты и управляющие воздействия

$$|U| \leq |V_m|, \quad |X_{\alpha}| \leq |X_m|, \quad (3)$$

где V_m и X_m — максимально допустимые значения управляющих воздействий и фазовых координат.

Минимум функционала I по переменной есть некоторая функция начального состояния при $t = 0$

$$\Psi_{k0} = \min I . \quad (4)$$

Решение системы уравнений, минимизирующих интегральный критерий, равносильно решению системы уравнений Беллмана

$$V + \sum_k \left(\sum_{\alpha} b_{k\alpha} X_{\alpha} + m_k U \right) \frac{\partial \Psi}{\partial X_k} = 0 . \quad (5)$$

Оптимальный закон регулирования при рассматриваемой математической модели представляется линейной системой жесткими обратными связями

$$U = - \frac{1}{2c} \sum_{\alpha=1}^n \left(\sum_{k=1}^n m_k A_{k\alpha} \right) X_{\alpha} \quad (6)$$

Здесь X_k -- фазовая координата; U -- управление; φ -- управление после однозначного нелинейного преобразования; $a_{k\alpha}$, c -- весовые коэффициенты; $b_{k\alpha}$ -- коэффициенты, определяемые характеристиками электропривода; $A_{k\alpha}$ -- параметр закона управления.

Техническая реализация оптимального закона управления возможна при известных параметрах регулятора $A_{k\alpha}$. Кроме того, каждая система автоматического управления электроприводом должна обеспечить определенные технические требования.

Для класса машин, где требуется стабилизация скорости вращения при колебаниях нагрузки, минимальным объемом прямых показателей качества при параметрическом синтезе можно считать: время восстановления скорости t_p , неустойчивость скорости вращения S при $t = t_p$. Таким образом к прямым показателям качества относим время переходного процесса $t = t_p$ и значение регулируемой величины $X_1(t) = S$, которое она приобретает в момент времени $t = t_p$ при любых начальных возмущениях X_k и остается меньше или равно $X_1(t) = S$. Следовательно, задачу можно сформулировать так. Найти параметры $A_{k\alpha}$ регулятора (6), обеспечивающие замкнутой системе (2), (6) асимптотически устойчивое решение, аperiodичность переходного процесса и чтобы в заданный момент времени $t = t_p$ значение регулируемой координаты $X_1(t)$ было равно или оставалось меньше заданного числа S при любых начальных возмущениях X_k .

Составим дифференциальное уравнение замкнутой системы относительно координат X [2,3]

$$\begin{cases} \dot{X} = NX; \\ X = \left\{ X_k \right\}, \end{cases} \quad (7)$$

где $k = 1, 2, \dots, n, n+1$.

Матрица H должна быть стационарна и система (2), (6) имеет положительный корень μ кратности $n + 1$, обеспечивающий в указанном смысле переходный процесс.

Корень μ определяется из трансцендентного уравнения [2]

$$e^{-\mu t_p} \sum_{k=0}^n c_k t_p^k - \alpha = 0. \quad (8)$$

Здесь

$$c_k = \sum_{j=0}^k \frac{d^j X(+)}{dt^j} \Big|_{t=0} \mu^{k-j} / j! (k-j)! \quad (9)$$

Особенности режима наброса нагрузки для электропривода при $t = 0^+$ приводят к условию, когда $\frac{dX_1}{dt} \neq 0$, а $\frac{d^2 X_1}{dt^2} = 0$.

Следовательно, при определении c_k производные регулируемого параметра выше первой могут не учитываться. Тогда при расчете оптимальной системы стабилизации скорости вращения определение c_k можно вести по уравнению

$$c_k = \frac{\mu^k}{k!} + \frac{d X_1(t)}{dt} \Big|_{t=0} \frac{\mu^{k-j}}{j! (k-j)!}. \quad (10)$$

При известных μ параметры $A_{k\alpha}$ оптимального закона управления определяются из системы линейных алгебраических уравнений

$$(-1)^j G_j = C_n^j \mu^j, \quad (11)$$

где G_j — сумма всех главных миноров порядка k матрицы H ; C_n^j — число сочетаний из n по j .

Сумма G_j определяется параметрами электропривода $b_{k\alpha}$ и закона управления $A_{k\alpha}$.

Таблица 1

Скорость вращения в установленном режиме	Показатели переходных процессов			
	статическая точность, %	время переходного процесса	перерегулирование, %	число колебаний
1,0	3,8	0,1	10,0	апериодический
1,5	2,8	0,15	4,6	"
2,0	2,6	0,2	-	"

Практическая эффективность применения аналитического конструирования для расчета систем электропривода по прямым показателям качества определяется степенью реальности принятых моделей объекта. Учитывая приближенный характер математических моделей, а также возможные реальные отклонения параметров объекта, можно построить систему квазиоптимальной стабилизации скорости вращения.

Теоретические предпосылки проверялись на примере абразивно-отрезных и лущильных станков, главный привод которых осуществляется от электродвигателя постоянного тока, управляемого потоком, и обеспечивает стабилизацию скорости вращения при $U_a = \text{const}$.

С учетом рекомендаций ЭНИМСа принимались время восстановления скорости $t_p \leq 0,15$ с, нестабильность скорости вращения $S \leq 0,03$ при $t_p \leq 0,15$ с.

Исследования проводились при инерционном и безынерционном усилителе в цепи возбуждения.

Квазиоптимальная система, построенная по рассматриваемому принципу, показана в табл. 1.

Экспериментальные исследования показывают достаточную сходимость аналитических расчетов с экспериментальными данными.

Л и т е р а т у р а

1. Летов А.М. Теория оптимального управления. — Труды международного конгресса ИФАК. М., 1965. 2. Толокнов В.И. () параметрическом синтезе в задаче аналитического конструирования регуляторов. — "Техническая кибернетика", 1968, № 1. 3. Ползик П.В. К вопросу построения оптимальных систем стабилизации скорости. — Труды У Всесоюз. конф. "Автоматизированный электропривод в народном хозяйстве", М., 1970.