

вимкнення двигуна і починається режим вільного вибігу. В цьому випадку записується лише частота обертання.

Після виконання усіх трьох режимів на стенді встановлюється наступний двигун. Одночасно контролер передає масив записаних даних в ПЕОМ, яка їх обробляє та виводить на дисплей чи пристрій друку. Якщо отримані параметри випробуваного двигуна не виходять за припустимі межі, це означає, що двигун пройшов прийнятно-здавальні випробування.

УДК 62-83:621.313

ПОЗИЦИОННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНЫМИ МАШИНАМИ ЦИКЛИЧНОГО ДЕЙСТВИЯ С НЕАВТОНОМНОЙ ЗАДАЮЩЕЙ МОДЕЛЬЮ

А.В. Чермалых, канд. техн. наук, А.В. Данилин, асп. (НТУУ «КПИ», ІЗЭ)

Розглянуто позиційне управління машинами циклічної дії з неавтономною задавальною моделлю змінної структури, яка забезпечує високу точність відпрацювання заданого режиму з автоматичною компенсацією зовнішніх та параметричних збурень.

В системах позиционного управления ряда машин и механизмов циклического действия (подъемные машины, главные механизмы роторных экскаваторов, промышленные манипуляторы и др.) для обеспечения высокой точности воспроизведения заданных режимов работы в начале и в конце рабочего цикла необходимо осуществлять движение на пониженных скоростях. При этом должны соблюдаться плавные переходы от одной установившейся скорости к другой при минимальном времени рабочего процесса. Это приводит к необходимости реализации сложных диаграмм скорости.

В системах управления с автономной задающей моделью (ЗМ) задача синтеза оптимального управления состоит в том, чтобы для конкретного электропривода спроектировать регуляторы положения (РП), скорости (РС) и тока (РТ) для контуров подчиненного регулирования и многоканальную ЗМ, формирующую оптимальные управляющие воздействия [1]. В соответствии с этим решаются две задачи – синтез оптимальной ЗМ и синтез оптимального регулятора, имеющие специфические особенности, которые на определенном этапе могут рассматриваться раздельно. Эти особенности обуславливаются тем, что решение первой задачи связано, как правило, с определением программного управления, а решение второй задачи – с определением управления с обратной связью.

Недостатком системы управления с автономной ЗМ является отсутствие связи между управляемой переменной (скоростью или положением) и входным

воздействием ЗМ. Поэтому в такой системе на точность обработки заданного режима оказывают влияние координатные и параметрические возмущения.

Система управления с неавтономной ЗМ лишена указанного недостатка. Это обусловлено тем, что ЗМ работает в режиме непрерывного сведения к нулю разности между заданным и действительным значениями управляемой переменной и, следовательно, любые возмущающие воздействия автоматически компенсируются.

В общем случае программного управления заданные диаграммы скорости V и ускорения a должны иметь вид, показанный на рис. 1. Время рабочего цикла будет минимальным, если в каждый момент времени хотя бы одна из ограничиваемых переменных (перемещение, скорость, ускорение, рывок) достигает ограничения: $S(t) \leq S_m$; $V(t) = dS/dt \leq V_{m.0}$; $a(t) = d^2S/dt^2 \leq a_m$; $\rho(t) = d^3S/dt^3 \leq \rho_m$, где $S(t)$, $V(t)$, $a(t)$, $\rho(t)$ – соответственно сигналы перемещения, скорости, ускорения, рывка; S_m , $V_{m.0}$, a_m , ρ_m – их ограничиваемые величины.

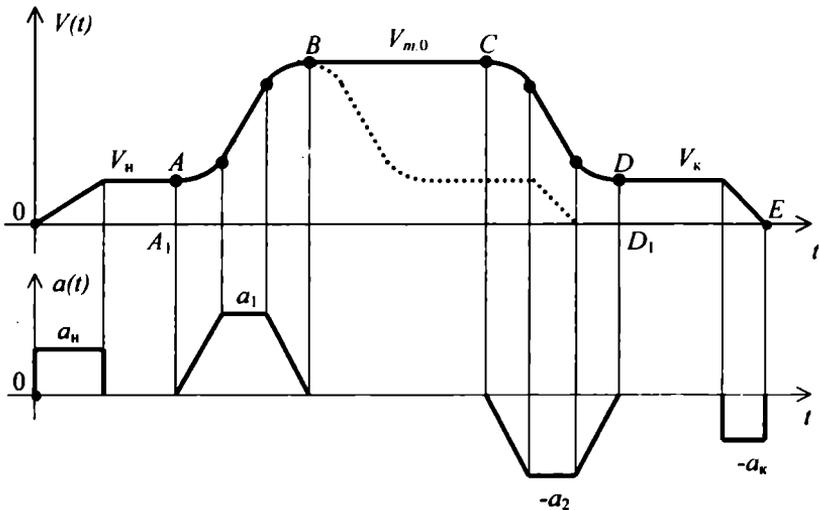


Рис. 1

Площадь всей диаграммы $V(t)$ равна заданному перемещению S_m , а площади AAA_1 и DED_1 равны заданным перемещениям S_n и S_k , соответствующим движению на пониженных скоростях V_n в начале и V_k в конце рабочего цикла.

Поскольку заданными постоянными величинами для конкретного режима являются S_m , S_n и S_k , то для определения оптимальных диаграмм $S(t)$, $V(t)$ и $a(t)$ нужно найти зависимости этих переменных от указанных ограничиваемых величин. Для этого рассмотрим переменную часть диаграммы $V(t)$, зависящую от S_m и равную площади A_1BCDD_1 , обозначив ее S_1 : $S_1 = S_m - S_n - S_k$.

Так как соотношения между V_{II} и V_K могут быть различными, то для определения алгоритма функционирования ЗМ нужно рассмотреть два возможных варианта: когда неравенство

$$V_{II} + a_1^2 / \rho_1 > a_2^2 / \rho_2 + V_K \quad (1)$$

соблюдается и когда не соблюдается.

Будем считать, что условие (1) соблюдается. Тогда первым граничным перемещением (S_{11}) будет такое заданное перемещение S_m , при котором все переменные достигают ограничений, но отсутствует движение с постоянной скоростью V_{m0} (соответствующая диаграмма скорости показана штриховой линией на рис. 1):

$$S_{11} = S_{II} + S_K + (V_m + V_{II}) \left(\frac{a_1}{2\rho_m} + \frac{V_m - V_{II}}{2a_1} \right) + (V_m + V_K) \left(\frac{a_2}{2\rho_m} + \frac{V_m - V_K}{2a_2} \right), \quad (2)$$

где $V_m = V_{m0}$.

Второе граничное перемещение (S_{12}) соответствует режиму, при котором максимальная скорость V_{II} не достигает ограничиваемого значения V_{m0} и отсутствует период равноускоренного движения (рис. 2, а):

$$S_{12} = S_{II} + S_K + (2V_{II} + \frac{a_1^2}{\rho_m}) \frac{a_1}{\rho_m} + \frac{1}{2} (V_{II} + \frac{a_1^2}{\rho_m} + V_K) \left(\frac{a_2}{\rho_m} + \frac{V_{II} + a_1^2 / \rho_m - V_K}{a_2} \right). \quad (3)$$

Третьим граничным перемещением будет значение S_m , при котором в период ускоренного движения ускорение не достигает ограничиваемого значения a_1 , а в период замедления ускорение достигает значения a_2 , но отсутствует участок равнозамедленного движения (рис. 2, б):

$$S_{13} = S_{II} + S_K + (2V_K + \frac{a_2^2}{\rho_m}) \frac{a_2}{\rho_m} + (V_{II} + \frac{a_2^2}{\rho_m} + V_K) \frac{b_1}{\rho_m}, \quad (4)$$

где $b_1 = [a_2^2 - (V_{II} - V_K)\rho_m]^2$.

Четвертое граничное перемещение будет такое, уменьшение которого при заданных ограничениях переменных невозможно без уменьшения S_{II} или S_K (рис. 2, в):

$$S_{14} = S_{II} + S_K + (V_{II} + V_K) \sqrt{(V_{II} - V_K)\rho_m}. \quad (5)$$

Если $S_{12} \leq S_m < S_{11}$, то максимальная скорость

$$V_{m1} = \left[\frac{a_1^2 a_2^2}{4\rho_m^2} + \frac{a_1 a_2}{a_1 + a_2} \left(2S_1 + \frac{V_{II}^2}{a_1} + \frac{V_K^2}{a_2} - \frac{a_1 V_{II} + a_2 V_K}{\rho_m} \right) \right]^2 - \frac{a_1 a_2}{2\rho_m}, \quad (6)$$

где $S_1 = S_m - S_{II} - S_K$.

При $S_{13} \leq S_m < S_{12}$ максимальная скорость V_{m2} определяется согласно выражению

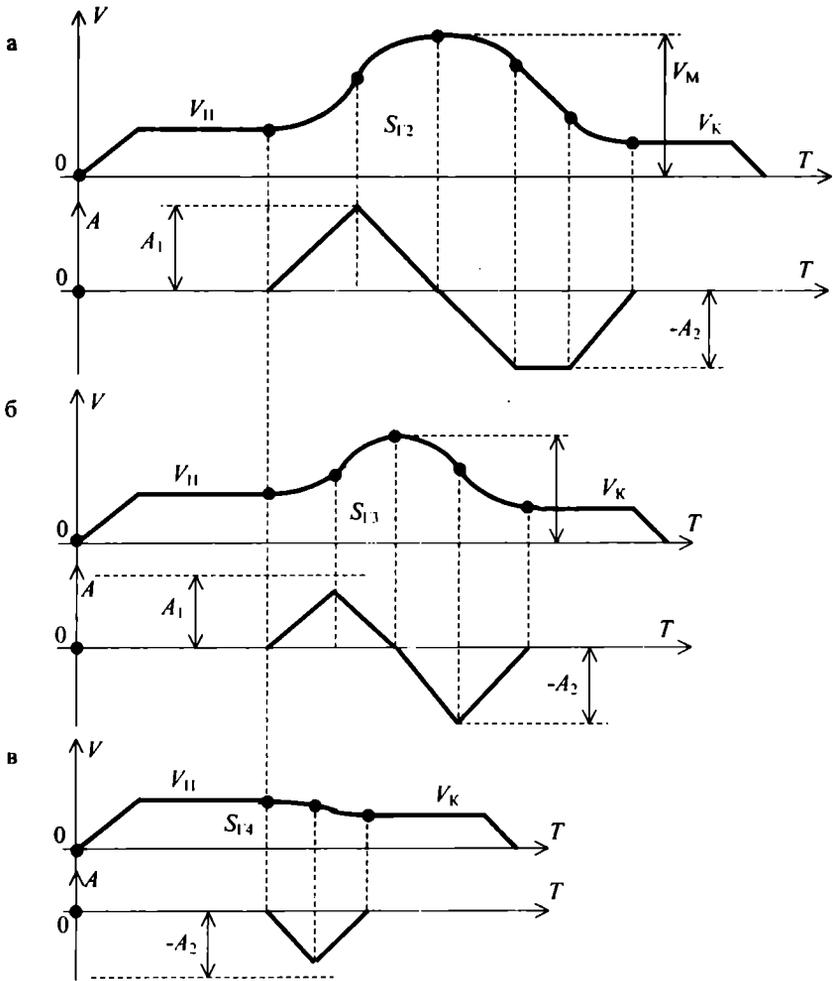


Рис. 2

$$S_1 = (V_{m2} + V_{11}) \sqrt{(V_{m2} - V_{11}) / \rho_m} + (V_{m2} + V_k) \left(\frac{a_2}{2\rho_m} + \frac{V_m - V_k}{2a_2} \right)$$

численным методом. Заменяв S_1 и V_m соответствующими переменными величинами Q_1 и W_1 , получим

$$Q_1 = (W_1 + V_{11}) \sqrt{(W_1 - V_{11}) / \rho_m} + (W_1 + V_k) \left(\frac{a_2}{2\rho_m} + \frac{V_{11} - V_k}{2a_2} \right). \quad (7)$$

Приняв $W_1 = V_{m,0} - NT$, где T – период дискретности, подставляем значения $N = 0, 1, 2, 3 \dots$ до тех пор, пока Q_1 не достигнет заданного значения S_1 . Тогда $W_1 = V_{m,2}$, а максимальное значение ускорения

$$a_{m1} = \sqrt{\rho_m(V_m - V_n)}, \quad V_m = V_{m,2}. \quad (8)$$

В случае $S_{1,4} \leq S_m < S_{1,3}$ максимальную скорость определим, заменив, как и в предшествующем случае, S_1 и V_m на Q_2 и W_4 соответственно:

$$Q_2 = (W_2 + V_n) \sqrt{(W_2 - V_n) / \rho_m} + (W_2 + V_k) \sqrt{(W_2 - V_k) / \rho_m}, \quad (9)$$

где $W_2 = V_{m,0} - MT$, $M = 0, 1, 2, 3 \dots$. Равнству $Q_2 = S_1$ соответствует $W_2 = V_{m,3}$. Максимальные значения ускорения a_{m1} и замедления a_{m2} будут равны

$$a_{m1} = \sqrt{\rho_m(V_m - V_n)}; \quad (10)$$

$$a_{m2} = \sqrt{\rho_m(V_m - V_k)}, \quad (11)$$

где $V_m = V_{m,3}$.

При $S_m < S_{1,4}$ целесообразно принять трапецеидальную диаграмму скорости с максимальным ее значением $V_{m4} = \min(V_n, V_k)$ и ускорениями a_n в начале движения и a_k перед остановкой.

Учитывая, что для реализации начального и конечного периодов диаграммы скорости достаточно применить задающую модель второго порядка (ЗМ-2), а для основной части, характеризующейся ограничением рывка, необходима задающая модель третьего порядка (ЗМ-3), то предлагается использовать ЗМ переменной структуры (см. рис. 1). Схема системы управления такой моделью показана на рис. 3. Изменение структуры осуществляется с помощью ключевого элемента КЛ. Если замкнуты контакты 1–2, то полагая объект управления (ОУ) интегрирующим звеном, вся система будет представлять собой ЗМ-2. При замкнутых контактах 1–3 получим структуру, соответствующую ЗМ-3. Причем контакты 1–2 должны быть замкнуты при $S_d \leq S_n$ и $S_d \geq S_m - S_k$, где S_d – действительное перемещение рабочего органа машины. В области $S_n < S_d < S_m - S_k$ замкнуты контакты 1–3.

В блоке адаптации (БА) производятся вычисления, связанные с определением граничных перемещений, максимальной скорости V_m , ограничиваемых ускорений a_m в зависимости от действительного перемещения S_d и расстояния до конечной точки $S_{a,m}$ с момента начала основного замедления.

В блоке переключения режима (БПР) определяется текущее расстояние до конечной точки S_a в периоды замедления.

Величины $S_{a,m}$ и S_a определяются по диаграммам скорости (см. рис. 1 и 2): при $S_m > S_{1,3}$

$$S_{a,m} = S_k + (V_m + V_k) \left(\frac{a_2}{2\rho_m} + \frac{V_m - V_k}{2a_2} \right); \quad (12)$$

при $S_{13} \geq S_m > S_{14}$

$$S_{a,m} = S_k + (V_m + V_k) \sqrt{(V_m - V_k) \rho_m}; \quad (13)$$

если $S_m - S_{a,m} < S \leq S_m - S_k$, то

$$S_a = S_{a,m} - V_m |a| / \rho_m + |a|^3 / (6\rho_m^2); \quad (14)$$

при $V_m > V > V_m - a_{m2}^2 / (2\rho_m)$

$$S_a = (V^2 - V_k^2) / (2a_{m2}) + V_k a_{m2} / (2\rho_m) + a_{m2}^3 / (24\rho_m^2) + S_k; \quad (15)$$

при $V_m - a_{m2}^2 / (2\rho_m) \geq V > V_m + a_{m2}^2 / (2\rho_m)$

$$S_a = V_k |a| / \rho_m + |a|^3 / (6\rho_m^2) + S_k; \quad (16)$$

при $V_m + a_{m2}^2 / (2\rho_m) \geq V > V_k$ и, если $S > S_m - S_k$ или $S \leq S_{14}$, то

$$S_{a,m} = V_m^2 / (2a_k); \quad (17)$$

$$S_a = \frac{V^2}{2a_k} \operatorname{sign}(V). \quad (18)$$

Оптимальный по быстродействию режим функционирования рассмотренной системы будет достигнут, если объект управления с помощью подчиненного регулирования координат представить интегрирующим звеном. Для электропривода системы тиристорный преобразователь–двигатель постоянного тока (ТП–Д) пропорционально-интегральный регулятор тока и пропорциональный регулятор скорости будут иметь передаточные функции:

$$W_{PT}(p) = \frac{T_1 p + 1}{2p T_\mu K_T K_{III} R_1}; \quad (19)$$

$$W_{PC}(p) = \frac{J_0 K_T}{4T_\mu c_d K_C}. \quad (20)$$

где T_1 – электромагнитная постоянная времени якорной цепи; K_T – коэффициент обратной связи по току; K_{III} – коэффициент усиления тиристорного преобразователя; R_1 – эквивалентное сопротивление якорной цепи; T_μ – суммарная некомпенсируемая малая постоянная времени; c_d – коэффициент пропорциональности ЭДС (момента) двигателя; K_C – коэффициент обратной связи по скорости; J_0 – приведенный момент инерции системы.

Если не учитывать действие внутренней обратной связи по ЭДС двигателя, то систему регулирования положения можно представить в виде передаточной функции

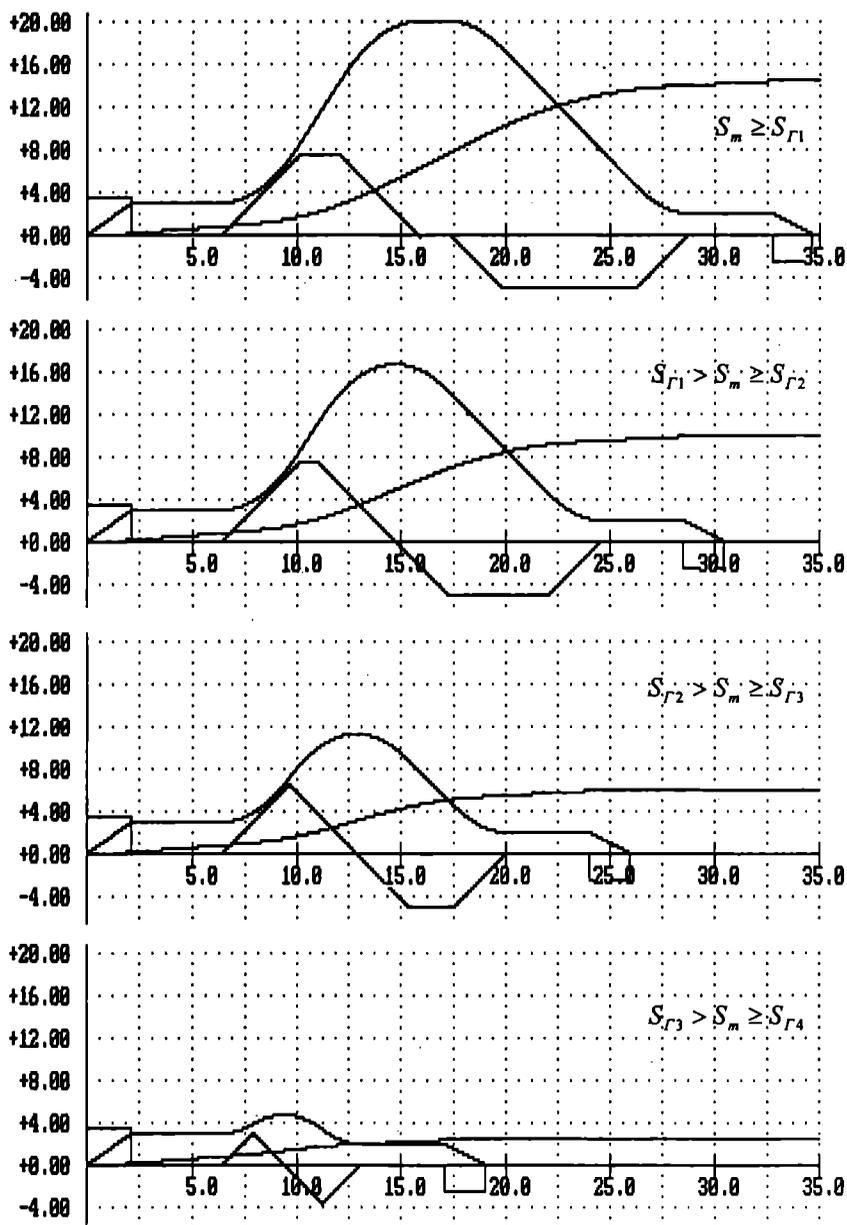


Рис. 4

$$W_{11}(p) = \frac{S_n(p)}{V(p)} = \frac{1}{p(8T_\mu^2 p^2 + 4T_\mu p + 1)}$$

или, пренебрегая коэффициентом $8T_\mu^2$, как малой величиной,

$$W_{11}(p) = \frac{S_n(p)}{V(p)} = \frac{1}{p(4T_\mu p + 1)}. \quad (21)$$

Для того, чтобы отношение $S(p)/V(p)$ представляло интегрирующее звено, достаточно в цепь обратной связи по положению ввести форсирующее звено $4T_\mu p + 1$, которое для реализации при моделировании на компьютере необходимо представить дискретной передаточной функцией

$$\frac{S(z)}{S_n(z)} = 1 + \frac{4T_\mu}{T} (1 - z^{-1}), \quad (22)$$

где z^{-1} – звено чистого запаздывания; T – период дискретизации.

Тогда вся система, состоящая из ЗМ, и система подчиненного регулирования будет иметь структуру ЗМ третьего или второго порядка в зависимости от состояния ключевого элемента КЛ. В результате при любых заданных перемещениях S_m скорость будет изменяться по оптимальному (в смысле быстродействия) закону. Это подтверждается приведенными на рис. 4 диаграммами скорости V , ускорения a и перемещения S , полученными в результате компьютерного моделирования системы, схема которой представлена на рис. 3, а также соответствующими аналитическими зависимостями.

1. Липковский К.А., Чермалых Т.В. Комбинированная система управления позиционным электроприводом с многоканальной задающей моделью // Техн. электродинамика. – 1995. – № 5. – С. 49–55.