

## Алгоритм автоматического формирования точки начала замедления

Шаповалов Дмитрий Эдуардович, магистр,  
 кафедры электротехники, электропривода и промышленной электроники  
 Институт информационных технологий и автоматизированных система,  
 Сибирский государственный индустриальный университет, (г. Новокузнецк)

Принцип автоматического формирования точки начала замедления показан на рисунке 1, откуда видно, что для обеспечения минимального времени цикла точка начала замедления должна лежать на прямой А, то есть изменяться в зависимости от скорости, а при переходе на этапе дотягивания и в зависимости от загрузки подъемного сосуда.

Таким образом, начало замедления необходимо формировать в функции скорости и тока с учетом ограничений, накладываемых системой регулирования и точностью измерения скорости и положения.

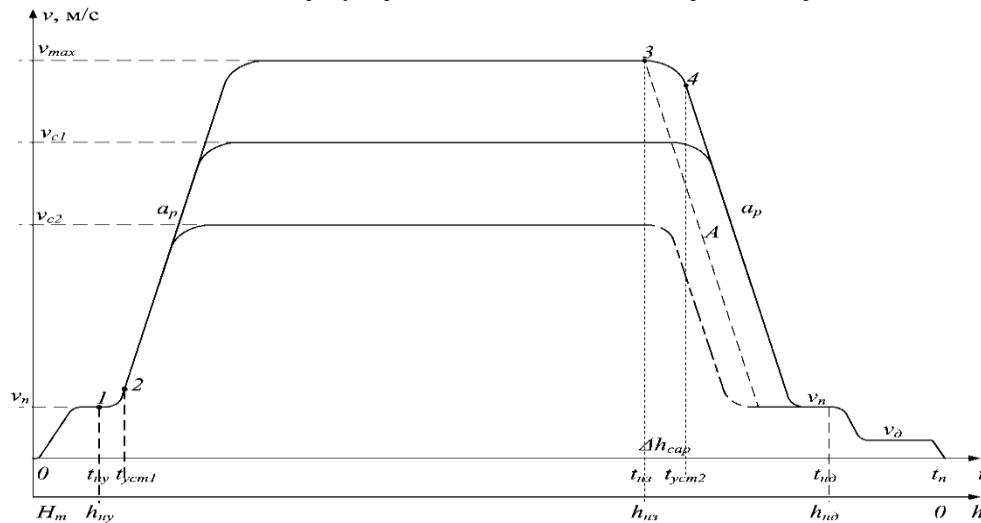


Рисунок 1 — Принцип автоматического формирования точки начала замедления

При этом фактически идеальной кривой замедления может считаться расчетная защитная диаграмма скорости, определяемая по выражению:

$$v_3(h) = \sqrt{2a_3(h_c - h_{\text{дом}}) + v_{\text{дом}}^2}, \quad (1)$$

где  $h_{\text{дом}}$  – точка начала кривых;

$h_c$  – текущее положение подъемного сосуда;

$v_{\text{дом}}$  – скорость движения в кривых;

Замедление подъемного сосуда, определяется следующим выражением:

$$a_3 = \frac{1,15^2 v_{\text{max}}^2 - v_n^2}{v_{\text{max}}^2 - v_{\text{д}}^2}. \quad (2)$$

где  $v_n$  – скорость подхода к кривым.

Однако, использовать её как траекторию по которой должен проходить подъемный сосуд невозможно, так как рядом с ней имеется запрещенная зона, при движении в которой разброс параметров системы управления и внешних (дублирующих) ограничителей скорости может привести к пересечению защитной тахограммы и предохранительному торможению.

Можно выделить следующие ограничения, определяющие ширину запрещенной зоны, не позволяющие нам приблизиться вплотную к защитной тахограмме:

- скоростная ошибка системы регулирования;
- ошибка измерения скорости при замедлении;
- ошибка измерения положения подъемного сосуда.

Показано, что ошибки измерения положения и скорости при использовании шифраторов составляют менее 1%, поэтому при использовании в качестве дублирующего ограничителя скорости цифрового аппарата построенного по предлагаемой в настоящей работе методике позволяет их исключить. В этом случае ошибка будет определяться только САРС.

В работе [3] показано, что траекторию скорости на участке замедления можно определить соотношением:

$$v_c = \begin{cases} v_s, & \text{при } v_1 < v_s < v_{\text{max}} \\ v_{\text{max}}, & \text{при } v_s \geq v_{\text{max}} \end{cases}. \quad (3)$$

где  $v_s(h)$  определяется по выражению:

$$v_s(h) = -v_0 + \sqrt{2a_0(h_n - h_{dom} - h_0) + v_0^2}. \quad (4)$$

Момент перехода на скорость дотягивания при автоматическом формировании точки начала замедления, без учета вносимых САРС погрешностей можно идентифицировать функцией переключения вида:

$$v_{nep}(h) = -v_{nep1} + \sqrt{2a_{m2}(h_c - h_{dom}) + v_{nep0}^2}, \quad (5)$$

где  $v_{nep0}$ ,  $v_{nep1}$ ,  $v_{nep2}$  — вторичные параметры тахограммы.

Вторичные параметры тахограммы рассчитываются по формулам:

$$v_{nep0} = v_{nep1} + v_{nep2}; \quad (6)$$

$$v_{nep1} = \frac{a_{m1}^2}{2\rho_{m1}}; \quad (7)$$

$$v_{nep2} = \frac{a_{m2}^2}{2\rho_{m2}}. \quad (8)$$

Таким образом, преобразуя (5) и учитывая скорость движения в разгрузочных кривых, получим:

$$h_{нз}(v_c) = \frac{v_c^2 - v_n^2 - \frac{a_{m2}^2}{2\rho_{m2}}}{2a_3} + \Delta h_{cap} + h_d. \quad (9)$$

где  $v_c$  — текущая скорость сосуда, м/с;

$v_n$  — скорость подхода к кривым, м/с;

$h_{дот}$  — точка входа в кривые;

$\Delta h_{cap}$  — отставание действительной диаграммы скорости от заданной, вносимое системой регулирования.

Отставание действительной диаграммы скорости от заданной, вносимое системой регулирования с ПИ регулятором ЭДС, есть скоростная ошибка системы:

$$\varepsilon_{уст}^{скор} = \frac{k_u T_u}{k_e k_{pэ}} a_3. \quad (10)$$

Местоположение сосудов на основании информации о повороте рабочего органа может быть вычислено, как:

$$h_c = R_6 \cdot \phi. \quad (11)$$

где  $\phi$  — угол поворота барабана, рад;

$R_6$  — радиус барабана.

Вычисляя текущее значение  $h_{нз}$  для действительной скорости во время каждого цикла подъема, независимо от скорости будет обеспечен подход к той же конечной точке пути, как и при работе на максимальной скорости.

Точку перехода от скорости подхода к скорости движения в кривых необходимо формировать с учетом влияния статического удлинения каната. Статическое удлинение  $\Delta h_{cy}$  вертикально висящего каната длиной  $L$ , нагруженного концевой нагрузкой  $P$  от массы подъемного сосуда и нагрузкой  $P_k$  от массы струны каната, может быть найдено из выражения [53]:

$$\Delta h_{cy} = \frac{(P_c + 0,5 \cdot P_k)L}{eEd^2Q_c}. \quad (12)$$

где  $P_k$  — масса погонного метра каната, кг/м;

$\bar{e}$  — коэффициент, учитывающий уменьшение предельной жесткости каната по сравнению со сплошным стальным стержнем, площадь которого равна суммарной площади всех проволок каната;

$E$  — модуль упругости стали,  $E = 2,06 \cdot 10^5$  Н/мм<sup>2</sup>;

$d$  — диаметр головного каната;

$Q_c$  — расчетный параметр, учитывающий заполнение металлом площади поперечного сечения каната  $Q_c = 0,389$ .

Тогда с учетом (12):

$$h_{нз} = \frac{v_c^2 - v_{dom}^2}{2a_3} - \frac{(P_c + 0,5 \cdot P_k)h_{нз}}{eEd^2Q_c}. \quad (13)$$

Известно, что для двигателя постоянного тока связь между моментом и током определяется как:

$$M_6 = k\Phi \cdot I_a. \quad (14)$$

Связь между весом поднимаемого груза и усилием на барабане подъемной машины определяется соотношением:

$$P_{zp} = \frac{M_{zp}}{R_{\sigma} g} \quad (15)$$

Тогда, учитывая (13) и (15) получим:

$$h_{нд} = \frac{(v_c^2 - v_{дом}^2) \cdot \bar{e} E d^2 \bar{Q}}{2a_3 \left( \frac{M_{zp}}{R_{\sigma} g} + 0,5 \cdot P_{\kappa} + \bar{e} E d^2 \bar{Q}_c \right)} \quad (16)$$

Таким образом, функции переключения для блока управления определяются как:

$$\left. \begin{aligned} h_{нд}(v_c) &= \frac{v_c^2 - v_{дом}^2 - \frac{a_{m2}^2}{2\rho_{m2}} + \Delta h_{сар} + h_{д}}{2a_3} \\ h_{нд}(v_c, I_{я}) &= \frac{(v_c^2 - v_{дом}^2) \cdot \bar{e} E d^2 \bar{Q}}{2a_3 \left( \frac{M_{zp}}{R_{\sigma} g} + 0,5 \cdot P_{\kappa} + \bar{e} E d^2 \bar{Q}_c \right)} \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

Статический момент на валу двигателя для неуравновешенной подъёмной установки определяется двумя составляющими:

$$M_{ст}(h) = M_{ст. гр} + M_{ст. кан}(h) \quad (18)$$

где  $M_{ст}(h)$  — полный статический момент;

$M_{ст. гр}$  — статический момент определяемый полезным грузом;

$M_{ст. кан}(h)$  — статический момент вызываемой массой каната;

Алгоритм определения массы груза в трех точках следующий:

— после срабатывания сигнала «начало ускорения» начинается циклическое отслеживание движения скипов с выполнением в начале каждого цикла последовательности основных операций и последующим контролем скорости. Если по завершении очередного цикла будет выяснено, что скорость стабилизировалась (среднее ускорение, полученное в последних 10 циклах не превышает величину  $0,01 \text{ м/с}^2$ ), устанавливается флаг окончания разгона;

— измеряется полный статический момент двигателя при нахождении сосуда на глубине  $h_c$ ;

— статическое усилие, вносимое канатом, определяется из основного уравнения динамики подъема

М.М. Фёдорова как  $M_{\kappa} = R_{\sigma} \rho_{\kappa} (H_{п} - 2h_c) g$ ;

— определяется момент создаваемый полезным грузом  $M_{ст. гр} = M_{ст} - M_{\kappa}$

— подобные измерения проводятся еще два раза причем один из них при  $h_c = S \cdot H_{п}$ , то есть в середине ствола, когда масса головных канатов и сосудов должна компенсироваться;

— вычисляется среднее  $M_{зр см} = \frac{\sum_{i=1}^n M_{зр см} [i]}{n}$ .

Последовательность работы алгоритма самонастройки и определения  $\Delta h_{сар}$  следующая:

— в режиме «настройка» при перегоне порожнего сосуда (необходимо для того чтобы разгон происходил не на токоограничении) фиксируется время поступления сигнала «начало ускорения» (точка 1 на рисунке 1);

— начинается отслеживание выхода машины на постоянное ускорение (точка 2 на рисунке 1). Если по завершении очередного цикла будет выяснено, что ускорение стабилизировалось (изменение ускорения, полученного в последних 10 циклах, не превышает величину  $0,025 \text{ м/сек}^2$ ), то рассчитывается время  $t_{сар}$  и путь  $\Delta h_{сар}$ , проходимый подъёмным сосудом. Данные параметры используются при формировании сигнала «начало замедления»;

— при получении сигнала «начало замедления» фиксируется время поступления сигнала (точка 3 рисунка 1);

— начинается отслеживание выхода машины на постоянное замедление (точка 4 на рисунке 1). Если по завершении очередного цикла будет выяснено, что замедление стабилизировалось (изменение ускорения, полученного в последних 10 циклах, не превышает величину  $0,025 \text{ м/сек}^2$ ), то рассчитывается время  $t_{сар}$  и путь  $\Delta h_{сар}$ , проходимый подъёмным сосудом;

— полученные в п.5 значения используются в дальнейшей работе системы, и корректируются каждый цикл.

## Литература:

1. Островлянич В. Ю. Автоматический электропривод постоянного тока горно-металлургического производства: Учебное пособие [Текст]. — Новокузнецк: Изд-во СибГИУ, 2004. — 383 с.

2. Островлянич В. Ю., Кубарев В. А., Модзелевский Д. Е. Методика разработки программного обеспечения систем логического управления и технологических защит современного электропривода //

Автоматизированный электропривод и промышленная электроника в металлургической и горно-топливной областях: Труды Второй Всероссийской научно-практической конференции // Под общ. ред. В. Ю. Островляничка, П. Н. Кунина. — Новокузнецк: Изд-во СибГИУ, 2004 г. — с. 112-116

3. Островляничка В. Ю., Модзелевский Д. Е. Принципы построения алгоритмических структур систем логического управления современного электропривода [Текст]. // Автоматизированный электропривод и промышленная электроника в металлургической и горно-топливной отраслях: Труды Второй всероссийской научно-практической конференции // Под. Ред. В.Ю. Островляничка, П. Н. Кунина, Новокузнецк: Изд-во СибГИУ, 2004 г. — 253 с.