

Модель управления крутящим моментом электродвигателя привода дроссельной заслонкой.

Базирование алгоритмов систем управления (СУ) двигателем внутреннего сгорания (ДВС) на физических представлениях получает все большее распространения среди производителей систем управления ДВС (*Bosch, Siemens*, ИТЭЛМА и др.) и дает ряд преимуществ по сравнению с “традиционным” подходом, в частности, в управлении положением дроссельной заслонки (ДЗ) с использованием ПИД регулятора. Существенным недостатком ПИД регулятора являются трудности в управлении переходным процессом. Использование физических закономерностей в построении алгоритмов управления положением ДЗ дает ряд преимуществ в управлении положением ДЗ в переходном процессе, обеспечивая более высокую точность позиционирования ДЗ, прогнозируемость следующих положений ДЗ, уменьшение занимаемого адресного пространства в постоянном запоминающем устройстве (ПЗУ), сокращение затрат времени на калибровку.

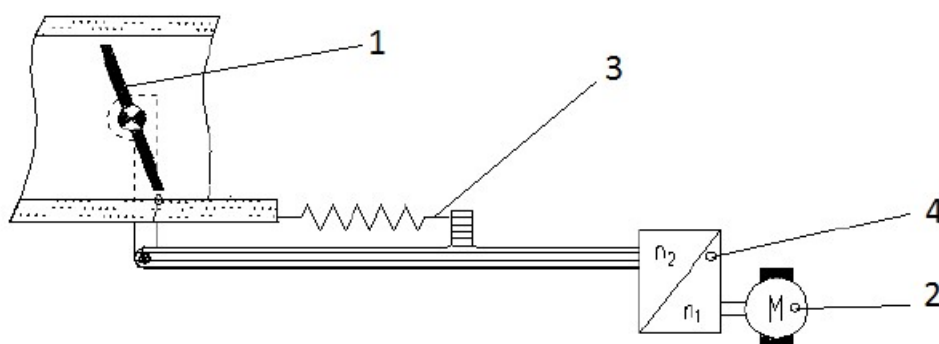


Рис.1. Дроссельный узел. 1 – ДЗ, 2 – ЭД, 3 – ВП, 4 – редуктор.

В большинство ДВС с количественным регулированием в состав СУ входит дроссельный узел (ДУ) (рис.1) состоящий из ДЗ, электродвигателя

(ЭД), возвратной пружины (ВП) и редуктора. Для обеспечения на переходных режимах работы ДВС величин токсичности выбросов отработавших газов полученных при стационарных режимах, а также стационарных значений удельного расхода топлива g_e , необходимо точно обеспечивать требуемое положение ДЗ, и прогнозировать величину наполнения цилиндра воздухом. Прогнозируемая величина наполнения цилиндра требуется для расчета топливоподачи. В современных системах управления алгоритмы прогнозирования величины наполнения цилиндра не используются из-за трудности прогнозирования положений ДЗ в переходных режимах, которые вызваны применением ПИД регулятора. Вместо них используются алгоритмы добавочного топлива, что является вынужденной мерой. Использование алгоритмов управления крутящим моментом ЭД привода ДЗ позволит в переходных режимах работы ДВС обеспечить СУ:

- 1) Требуемое положение ДЗ.
- 2) Спрогнозировать положение ДЗ на несколько циклов регулирования вперед.
- 3) Использовать алгоритмы для прогнозирования величины наполнения цилиндра воздухом.
- 4) Для обеспечения требуемого коэффициента избытка воздуха α использовать расчет количества топлива на основе прогнозирования величины наполнения цилиндра воздухом.

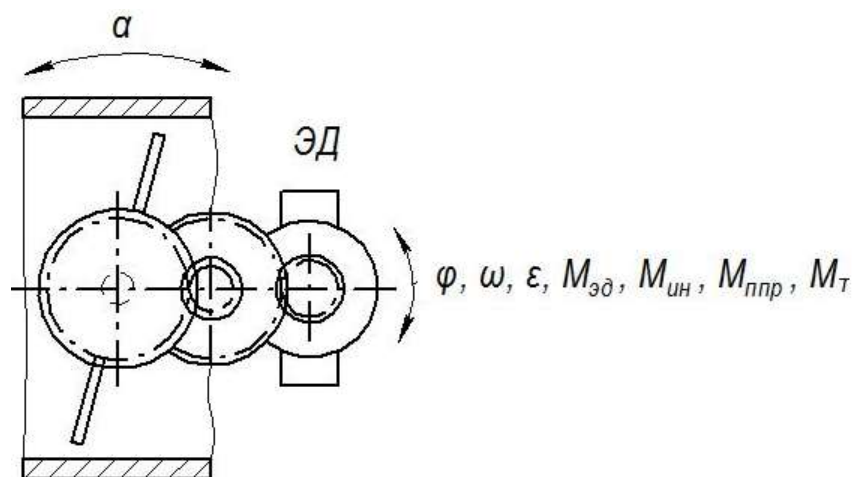


Рис.2.

Эквивалентная схема ДУ представлена на (рис.2). Запишем уравнения моментов, приложенных к ЭД (1).

$$M_{\text{эд}} - M_{\text{ин}} - M_{\text{ппр}} - M_{\text{тр}} = 0 \quad (1)$$

где, $M_{\text{д}}$ - крутящий момент ЭД, $M_{\text{ин}}$ - приведенный момент сил инерции, $M_{\text{ппр}}$ - приведенный момент ВП, $M_{\text{тр}}$ - приведенный момент трения.

В ДУ используется ЭД постоянного тока с постоянными магнитами (ЭДПТПМ далее ЭД), имеющий постоянный наклон функции крутящего момента от частоты вращения ЭД [1] (рис.3).

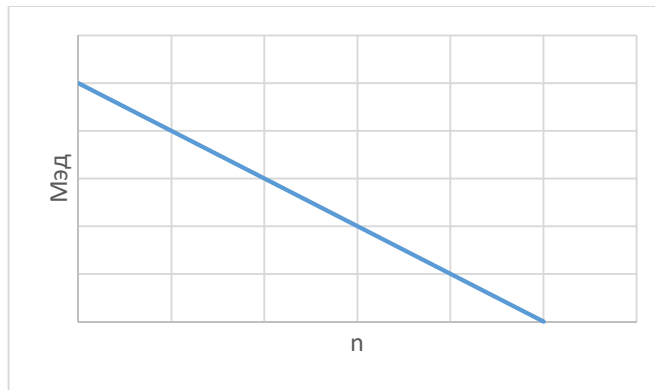


Рис.3.

Запишем уравнения крутящего момента ЭД (2), угловой скорости ЭД (3), момента сил инерции (4), углового ускорения ЭД (5), момента ВП (6) и передаточного отношения (7).

$$M_{\text{эд}} = M_{\text{кз}} - a \cdot \omega \quad (2)$$

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt} \quad (3)$$

$$M_{\text{ин}} = J_{\text{пр}} \cdot \varepsilon \quad (4)$$

$$\varepsilon = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\varphi}{dt^2} \quad (5)$$

$$M_{\text{пр}} = M_{\text{пр_н}} + C_{\text{пр}} \cdot \alpha \quad (6)$$

$$u = \frac{\alpha}{\varphi} = \frac{M_{\text{пр}}}{M_{\text{ппр}}} \quad (7)$$

где, $M_{\text{кз}}$ - крутящий момент короткого замыкания ЭД, a - коэффициент наклона характеристики ЭД, ω - угловая скорость ротора ЭД, φ - угол поворота ротора ЭД, t - время, $J_{\text{ин}}$ - приведенный момент инерции, ε - угловое ускорение ротора ЭД, $M_{\text{пр_н}}$ - начальный момент ВП, $C_{\text{пр}}$ - коэффициент жесткости ВП, α - угол поворота ДЗ. Подставим (2), (3), (4), (5), (6), (7) в (1).

$$M_{\text{кз}} - a \cdot \frac{d\varphi}{dt} - \left(J_{\text{пр}} \cdot \frac{d^2\varphi}{dt^2} \right) - \left(M_{\text{ппр_н}} + \frac{C_{\text{пр}} \cdot \varphi}{u^2} \right) - M_{\text{тр}} = 0 \quad (8)$$

$$C_{\text{ппр}} = \frac{C_{\text{пр}} \cdot \varphi}{u^2} \quad (9)$$

Подставим (9) в (8). После преобразования получим (10).

$$J_{\text{пр}} \cdot \frac{d^2\varphi}{dt^2} + a \cdot \frac{d\varphi}{dt} + C_{\text{ппр}} \cdot \varphi = M_{\text{кз}} - M_{\text{ппр_н}} - M_{\text{тр}} \quad (10)$$

Примем следующие допущения:

- 1) Индуктивностью ЭД пренебрегаем.
- 2) $M_{\text{кз}}$ при $\omega = \text{const}$ не зависит от φ .
- 3) $M_{\text{ппр_н}} = \text{const}$, $M_{\text{тр}} = \text{const}$.

На основании допущений уравнение (10) является неоднородным дифференциальным уравнением второго порядка с постоянными коэффициентами [2]. Общее решения такого уравнения представляет сумму общего решения соответствующего однородного уравнения и частного решения неоднородного уравнения (11).

$$\varphi = \varphi_0 + \tilde{\varphi} \quad (11)$$

Для получения соответствующего однородного уравнения приравняем нулю левую часть уравнения (10).

$$J_{\text{пр}} \cdot \frac{d^2 \varphi}{dt^2} + a \cdot \frac{d\varphi}{dt} + C_{\text{ппр}} \cdot \varphi = 0 \quad (12)$$

Для нахождения общего решение однородного дифференциального уравнения второго порядка необходимо определить дискриминант D и корни k_1 и k_2 из характеристического уравнения, (13).

$$J_{\text{пр}} \cdot k^2 + a \cdot k + C_{\text{ппр}} = 0 \quad (13)$$

Примем что дискриминант $D > 0$, тогда общее решение однородного дифференциального уравнения будет иметь вид (14).

$$\varphi_0 = C_1 \cdot e^{k_1 \cdot t} + C_2 \cdot e^{k_2 \cdot t} \quad (14)$$

Решение правой части будем искать в виде (15).

$$\tilde{\varphi} = A \cdot t^2 + B \cdot t + C \quad (15)$$

Заменим правую часть уравнения (10) на M .

$$M = M_{\text{кз}} - M_{\text{ппр_н}} - M_{\text{тр}} \quad (16)$$

где, A, B, C неопределенные коэффициенты, которые необходимо найти из равенства (17).

$$J_{\text{пр}} \cdot \frac{d^2 \tilde{\varphi}}{dt^2} + a \cdot \frac{d\tilde{\varphi}}{dt} + C_{\text{ппр}} = M \quad (17)$$

Получаем систему уравнений (18)

$$\left\{ \begin{array}{l} A = 0 \\ B = 0 \\ C = \frac{M}{C_{\text{ппр}}} \end{array} \right. \quad (18)$$

Подставим (14), (15) и (18) в (11).

$$\varphi = C_1 \cdot e^{k_1 \cdot t} + C_2 \cdot e^{k_2 \cdot t} + \frac{M}{C_{\text{нпр}}} \quad (19)$$

Определим коэффициенты C_1, C_2 .

Далее скрыто.