

Практическое занятие 2 (4 часа)

**СОСТАВЛЕНИЕ СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ ДИНАМИЧЕСКОЙ
МОДЕЛИ ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА
С ЯКОРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ**

Во многих комплексах ЭП с машинами постоянного тока занимают центральное место, что обусловлено такими преимуществами, как широкий диапазон плавного регулирования угловой скорости электродвигателя (ЭД) $\Omega_{дв}$, линейность механических характеристик, значительная величина пускового момента, высокий КПД (до 90%), высокая надежность. Основным недостатком является наличие коллектора.

Применяют три способа регулирования угловой скорости:

изменением управляющего напряжения (якорное управление),

изменением потока возбуждения (полюсное управление)

изменением сопротивления в цепи якоря $R_{я}$.

В ЭП автоматических систем нашли применение первые два способа управления, а также комбинированное управление.

Полюсное управление является наиболее простым и экономичным.

Однако возможность плавного регулирования угловой скорости двигателя в широких пределах и обеспечение постоянной жесткости механических характеристик посредством якорного управления определило широкое использование этого способа в ЭП различных комплексах.

Поэтому ниже более подробно рассмотрим ЭП с двигателем постоянного тока с якорным управлением (ДПТЯУ).

Динамические свойства силового канала ЭП с ДПТЯУ описываются уравнением электрического равновесия

$$U_y = K_e \Omega_{дв} + I_{я} R_{я} + L_{я} \frac{dI_{я}}{dt}, \quad (2.1)$$

где K_e – коэффициент противо ЭДС;
 $\Omega_{дв}$ – угловая скорость вращения вала ЭД;
 $I_{я}$ – ток якоря;
 $R_{я}$ – сопротивление цепи якоря;
 $L_{я}$ – индуктивность обмотки якоря,

и уравнением механического равновесия

$$J \frac{d\Omega_{дв}}{dt} = M_{вр} - \frac{M_c}{i\eta}, \quad (2.2)$$

где $J = J_{дв,р} + \frac{J_H}{i^2}$ – суммарный момент инерции, приведенный к валу ЭД.

Уравнения (2.1) и (2.2) являются исходными для построения структурных схем динамической модели привода, широко используемых при проектировании автоматических систем.

Для получения структурных схем силового канала ЭП с ДПТЯУ применим прямое преобразование Лапласа к уравнениям (2.1) и (2.2), обозначив вращающий момент $M_{вр} = K_M I_{я}$ (K_M – коэффициент момента).

$$U_y = K_e \Omega_{дв} + I_{я} R_{я} + L_{я} \frac{dI_{я}}{dt}, \quad (2.1)$$

$$J \frac{d\Omega_{дв}}{dt} = M_{вр} - \frac{M_c}{i\eta}, \quad (2.2)$$

Тогда

$$U_y = K_e \Omega_{дв} + I_{я} R_{я} (1 + T_{\text{э}} s); \quad (2.3)$$

$$J s \Omega_{дв} = K_M I_{я} - \frac{M_c}{i\eta}, \quad (2.4)$$

где $T_{\text{э}} = \frac{L_{я}}{R_{я}}$ – электромагнитная постоянная времени двигателя.

Исключим из (2.3), (2.4) промежуточную переменную $I_{я}$ и запишем полученное выражение в стандартной форме, относительно регулируемого параметра $\Omega_{дв}$

$$(T_{\text{э}} T_M s^2 + T_M s + 1) \Omega_{дв} = K_{дв} U_y - \frac{1}{i\eta K_D} (T_{\text{э}} s + 1) M_c, \quad (2.5)$$

где $T_M = \frac{J R_{я}}{K_M K_e}$ – электромеханическая постоянная времени двигателя;

$K_{дв} = \frac{1}{K_e}$ – коэффициент передачи двигателя по скорости;

$K_D = \frac{K_M K_e}{R_{я}}$ – коэффициент демпфирования.

$$(T_{\text{э}}T_{\text{м}}s^2 + T_{\text{м}}s + 1) \Omega_{\text{дв}} = K_{\text{дв}}U_{\text{у}} - \frac{1}{i\eta K_{\text{д}}} (T_{\text{э}}s + 1) M_{\text{с}}, \quad (2.5)$$

Согласно (2.5), будем иметь

$$\Omega_{\text{дв}} = \frac{1}{T_{\text{э}}T_{\text{м}}s^2 + T_{\text{м}}s + 1} (K_{\text{дв}}U_{\text{у}} - \frac{T_{\text{э}}s + 1}{i\eta K_{\text{д}}} M_{\text{с}}). \quad (2.6)$$

Структурная схема динамической модели силового канала ЭП, соответствующая (2.6), с учетом обозначения $\Omega = K_{\text{р}} \Omega_{\text{дв}}$ ($K_{\text{р}} = i$ - коэффициент передачи редуктора) принимает вид i (рис. 2.7).

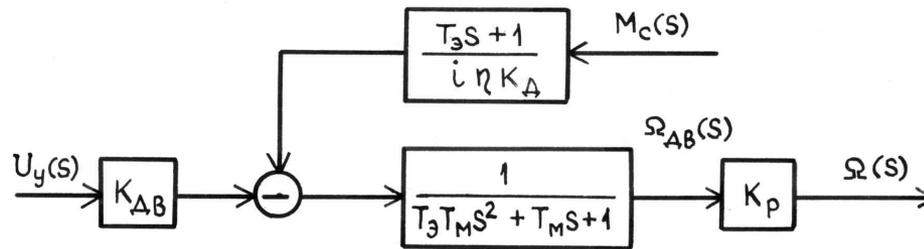


Рис.2.1. Структурная схема динамической модели электропривода с ДПТЯУ

Из схемы (рис. 2.1) несложно определить передаточные функции силового канала ЭП относительно угловой скорости вращения исполнительного вала по управляющему воздействию

$$W_{U_{\text{у}}}(s) = \frac{\Omega(s)}{U_{\text{у}}(s)} = \frac{K_{\text{дв}}}{i(T_{\text{э}}T_{\text{м}}s^2 + T_{\text{м}}s + 1)} \quad (2.7)$$

и по моменту
сопротивления

$$W_{M_c}(s) = \frac{\Omega(s)}{M_c(s)} = (-1) \frac{T_\Theta s + 1}{i^2 \eta K_D (T_\Theta T_M s^2 + T_M s + 1)}. \quad (2.8)$$

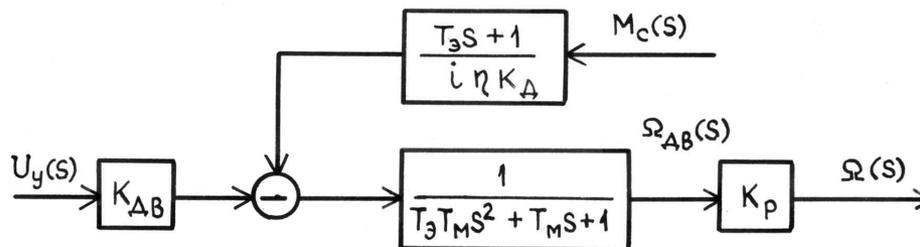


Рис.2.1. Структурная схема динамической модели электропривода с ДПТЯУ

Из выражений (2.7) и (2.8) видно, что динамические свойства ЭП, относительно угловой скорости, описываются передаточными функциями с характеристическими многочленами второго порядка.

Для двигателей, как правило, выполняется условие

$$T_M > 4T_\Theta. \quad (2.9)$$

Условие

$$T_M < 4T_\Theta \quad (2.10)$$

наблюдается редко.

На рис. 2.2, 2.3, 2.4, 2.5 показаны графики зависимости угловой скорости Ω , полученные для соотношений (2.9) и (2.10). При моделировании были заданы следующие входные воздействия и параметры ЭП: $U_y = 60$ В; $M_c = -10$ Нм; $i=10$; $K_d = 0,625$ нмс/рад; $K_{дв} = 2$ рад/В.с; $\eta = 0,8$.

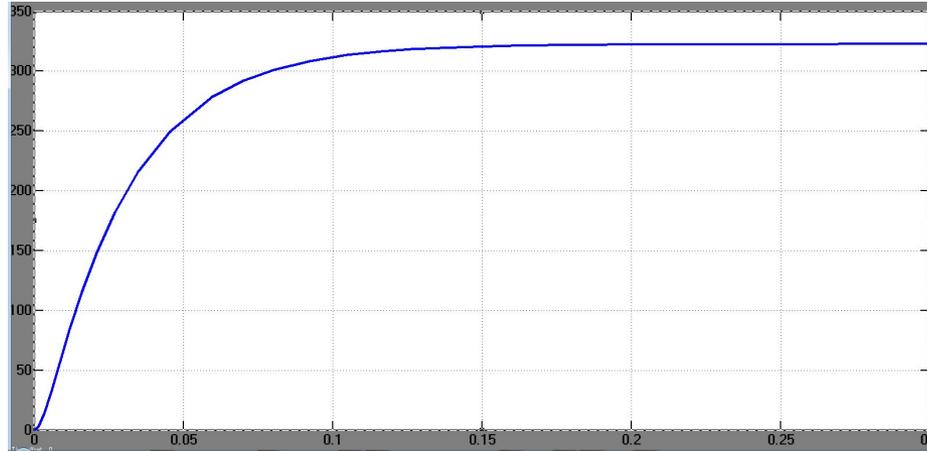


Рис.2.2. График зависимости угловой скорости по управляющему воздействию ($T_M > 4T_\Delta$)

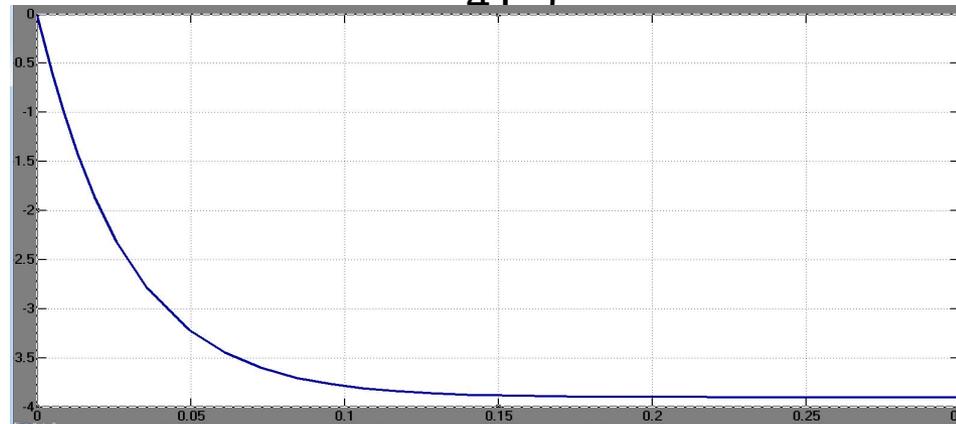


Рис.2.3. График зависимости угловой скорости по моменту сопротивления ($T_M > 4T_\Delta$)

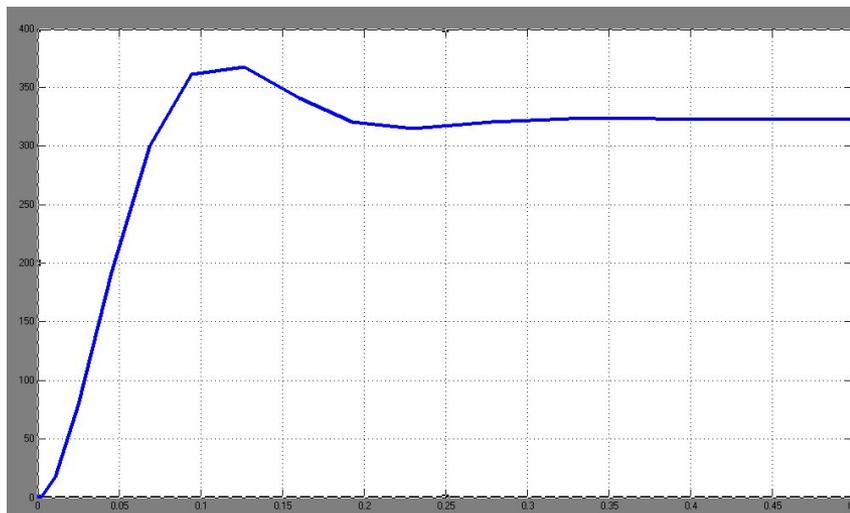


Рис.2.4. График зависимости угловой скорости по управляющему воздействию ($T_M < 4T_{\Theta}$)

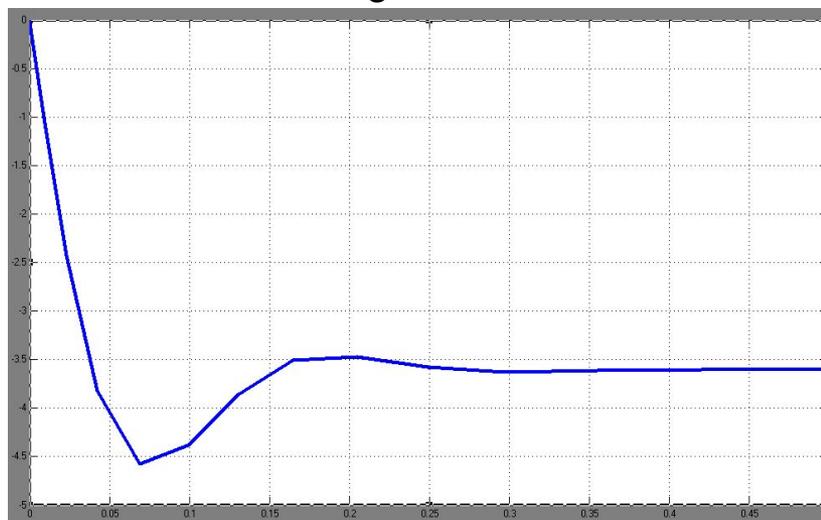


Рис.2.5. График зависимости угловой скорости по моменту сопротивления ($T_M < 4T_{\Theta}$)

Из анализа графиков видно, что при $T_M > 4T_\Theta$ процесс имеет апериодический характер (рис. 2.2, рис 2.3), а при $T_M < 4T_\Theta$ имеет место колебательный процесс (рис. 2.4, рис. 2.5). При этом, очевидно, влияние форсирующего звена первого порядка ($T_\Theta s + 1$) на быстродействие прохождения сигнала по цепи возмущающего воздействия U_c невелико. Поэтому, при построении динамической модели ЭП с ДПТЯУ требуется реализовать обратную связь по угловому ускорению исполнительного вала. Информационным сигналом, при этом, служит ток, протекающий в цепи якоря двигателя.

Выражение для тока якоря получим из

$$(2.3) \quad U_y = K_e \Omega_{дв} + I_y R_y (1 + T_\Theta s); \quad (2.3)$$

в
виде

$$I_y = \frac{1/R_y}{T_\Theta s + 1} (U_y - K_e \Omega_{дв}) \quad (2.11)$$

Дополним (2.11) выражением для угловой скорости $\Omega_{дв}$, полученной из (2.4) с учетом

$$T_M = \frac{J R_y}{K_M K_e}$$

$$J s \Omega_{дв} = K_M I_y - \frac{M_c}{i \eta}, \quad (2.4)$$

$$\Omega_{дв} = \frac{R_y}{K_e T_M s} \left(I_y - \frac{1}{i \eta K_M} M_c \right) \quad (2.12)$$

$$I_{\text{я}} = \frac{1/R_{\text{я}}}{T_{\text{э}}s + 1} (U_{\text{y}} - K_{\text{е}}\Omega_{\text{дв}}) \quad (2.11)$$

$$\Omega_{\text{дв}} = \frac{R_{\text{я}}}{K_{\text{е}}T_{\text{м}}s} \left(I_{\text{я}} - \frac{1}{i\eta K_{\text{м}}} M_{\text{с}} \right) \quad (2.12)$$

На основании (2.11) и (2.12) построим соответствующую ССДМ, изображенную на рис. 2.6.

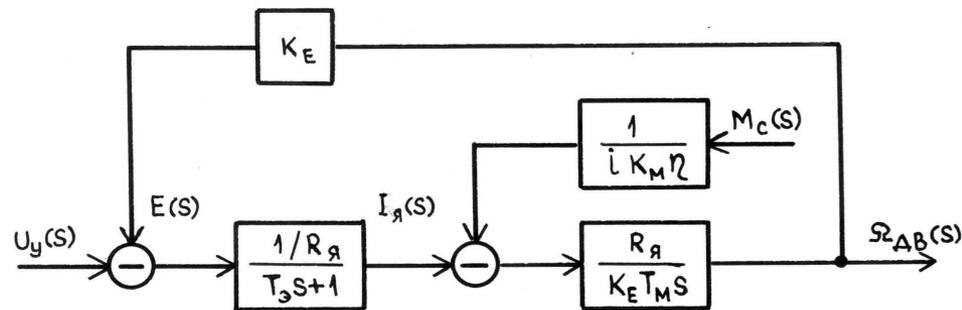


Рис.2.6. Структурная схема динамической модели электропривода с ДПТЯУ

