

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ РУЛЕВЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ СУДНА

Дворак В.Н., студент, Шабанов В.Б. к.т.н., доцент
(*Керченский морской технологический институт,*
г. Керчь, Украина)

Рассматривается следящий электропривод руля с двигателем постоянного тока (ДПТ). Отработка угла α поворота руля от начального положения на заданное значение α_3 осуществляется рулевой машинкой, на двигатель которой с регулятора подводится напряжение u . На вал двигателя действует момент сопротивления M_C руля. Сигнал $\delta = \alpha_3 - \alpha$ является величиной ошибки регулирования следящей системы.

Электропривод с приведенными к валу ДПТ вращающим моментом M_D , моментом сопротивления M_C , моментом инерции J и углом поворота α руля описывается системой уравнений

$$J\dot{\omega} = M_D - M_C, \quad M_D = \beta(\omega_X - \omega), \quad M_C = C_B\alpha = C_B(\alpha_3 - \delta), \quad (1)$$

где: ω – частота вращения двигателя; β – жесткость механической характеристики двигателя; $\omega_X = u/C_\Phi$ – частота вращения двигателя на холостом ходу; C_Φ – коэффициент магнитного потока двигателя; C_B – коэффициент пропорциональности между моментом M_C на баллере руля и углом α поворота руля.

При скачкообразном изменении угла задания α_3 руль должен за заданное время T повернуться на этот угол и иметь в начале и в конце движения нулевую частоту вращения:

$$\alpha_3 = \int_0^T \omega \cdot dt = - \int_0^T \dot{\delta} \cdot dt, \quad \omega(0) = \omega(T) = 0, \quad \delta(0) = \alpha_3, \quad \delta(T) = 0 \quad (2)$$

Критерием оптимальности принят функционал

$$W = \int_0^T (u \cdot i_{я} + \beta k \delta^2) dt = \beta \int_0^T (\omega_X (\omega_X - \omega) + k \delta^2) dt \quad (3)$$

В этом критерии интеграл от первого слагаемого $u \cdot i_{я}$ является работой, затраченной на поворот руля, а интеграл от слагаемого $\beta k \delta^2$, который пропорционален площади, образуемой графиком переходного процесса $\delta(t)$ с осью t , является косвенной характеристикой времени переходного процесса.

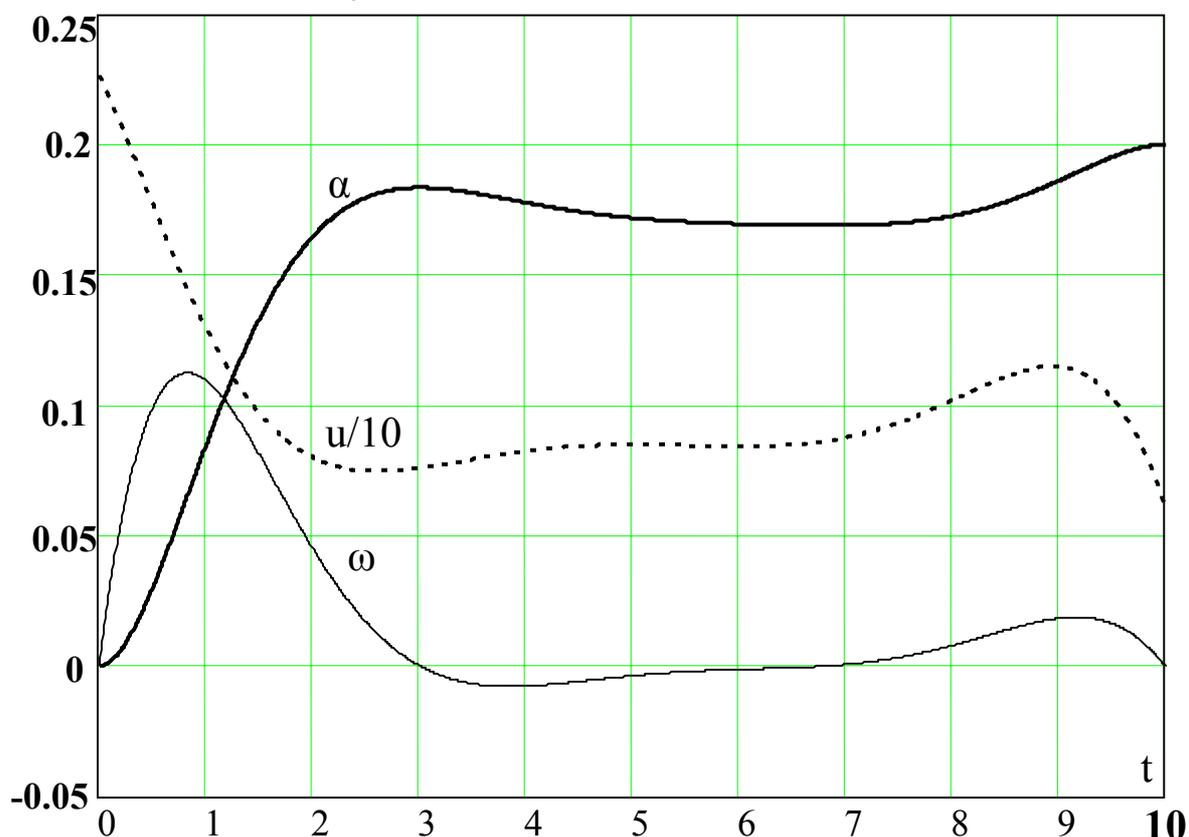
Решение задачи, выполненное классическим вариационным методом, дает следующее выражение оптимального процесса

$$\delta = \delta_{\text{пр}} + e^{-\gamma t} (c_1 \sin(\chi t) + c_2 \cos(\chi t)) + e^{\gamma t} (c_3 \sin(\chi t) + c_4 \cos(\chi t)) \quad (4)$$

где: $\delta_{\text{пр}}$ – принужденная составляющая и γ, χ – коэффициенты, определяемые через параметры системы (1) и параметр k , входящий в (3); c_1, \dots, c_4 – постоянные интегрирования, определяемые из граничных условий (2).

С использованием выражений (1) найдены оптимальные законы изменения сигналов ω и u . Далее найдены передаточная функция системы $W(p)_{\text{ОПТ}} = \delta(p) / \alpha_3(p)$ при оптимальном управлении и передаточная функция $W(p)_{\text{РЕГ.ОПТ}}$ оптимального регулятора.

На рисунке приведены графики переходных процессов с применением оптимального регулятора, определенного при $k=6, \alpha_3=0,2, T=10, J=1,4 \cdot \beta, C_B=1$.



При использовании в процессе синтеза только критерия минимума энергии, потребленной двигателем при перекладке руля, переходный процесс сопровождается незатухающими колебаниями пера руля, что для рулевого привода абсолютно неприемлемо. Улучшение переходного процесса достигается путем подбора значения коэффициента k , входящего в функционал (3).