

контур тока и механическая часть двигателя. Рассмотрим структурную схему такой системы регулирования. Существенным допущением при стандартных настройках является пренебрежение внутренней обратной связи по ЭДС двигателя. Такое допущение можно принять если $T_m \gg T_a$. Влияние обратной связи по ЭДС на контур тока можно скомпенсировать, если ввести положительную обратную связь по скорости внутрь контура тока (показана пунктиром).

В системе подчиненного регулирования применяют стандартные настройки контуров. В зависимости от требований к настраиваемой координате, в настоящее время в электроприводах используются два способа настройки контуров:

- по модульному принципу (технический оптимум);
- по симметричному методу.

Настройка на технический оптимум предполагает получение системы, имеющей максимально возможное быстродействие при минимально возможном перерегулировании. Для достижения заданной цели АЧХ должна быть невозрастающей в области низких частот (модульный принцип). Для получения астатических систем по возмущению (моменту) контура настраиваются по симметричному методу. Суть симметричной настройки заключается в формировании желаемой ЛАЧХ, симметричной относительно частоты среза системы.

1.2 Настройка контура тока на технический оптимум.

Структурная схема контура тока представлена на рисунке 10.2.

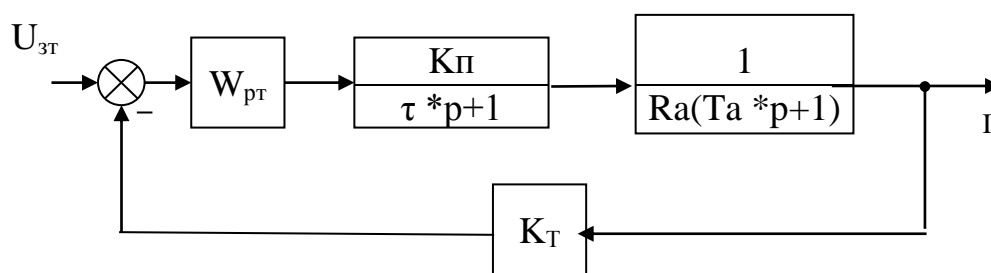


Рисунок 10.2

Контур тока в основном настраивается на модульный оптимум, т.к. настройка по симметричному методу дает большие значения перерегулирования.

Передаточная функция прямого канала контура тока без регулятора:

$$W_n(p) = \frac{K_n}{\tau p + 1} \cdot \frac{1}{R_a(T_a p + 1)}. \quad (1.1)$$

Объект регулирования состоит из двух последовательно соединенных апериодических звеньев. Для того, чтобы иметь наибольшее быстродействие, необходимо скомпенсировать самую большую постоянную времени, для обеспечения минимального перерегулирования необходимо получить невозрастающую амплитудную частотную характеристику в области низких частот, для поддержания на время пуска постоянство тока, контур тока должен иметь интегрирующее звено для обеспечения астатизма. Применим в контуре ток ПИ-регулятор с передаточной функцией:

$$W_{pt}(p) = K_{pt} \frac{1 + T_{pt}p}{T_{pt}p}. \quad (1.2)$$

Так как, для большинства современных приводов $T_a \gg \tau$, то постоянная времени регулятора тока принимается равной электромагнитной постоянной времени двигателя ($T_{pt} = T_a$). Тогда передаточная функция прямого канала с регулятором примет вид:

$$W_{пр} = K_{pt} \frac{K_n K_r}{R_a T_a p(\tau p + 1)} = \frac{K_1}{p(\tau p + 1)}, \quad (1.3)$$

где $K_1 = \frac{K_{pt} K_n}{T_{pt} R_a}$

Передаточная функция замкнутой САУ:

$$W_3 = \frac{\frac{K_1}{p(\tau p + 1)}}{1 + \frac{K_1 K_r}{p(\tau p + 1)}} = \frac{K_1}{p(\tau p + 1) + K_1 K_r} = \frac{K_1}{\tau^2 p^2 + p + K_1 K_r}. \quad (1.4)$$

Найдем амплитудную частотную характеристику:

$$W(j\omega) = \frac{K_1}{-\tau\omega^2 + j\omega + K_1 K_r} = \frac{K_1}{\sqrt{(K_1 K_r - \tau\omega^2)^2 + (\omega)^2}} e^{j\varphi(\omega)} = A(\omega) e^{j\varphi(\omega)}, \quad (1.5)$$

где $A(\omega) = \frac{K_1}{\sqrt{(K_1 K_r - \tau\omega^2)^2 + (\omega)^2}}$

В соответствии с принципом образования максимально плоских частотных характеристик потребуем, чтобы первая производная в точке $\omega=0$

обращалась в нуль. Для облегчения расчетов АЧХ возведем в квадрат и найдем:

$$\left. \frac{\partial A^2}{\partial \omega^2} \right|_{\omega^2 = 0} = 0.$$

Находим производную:

$$\left. \frac{\partial A^2}{\partial \omega^2} \right| = \frac{-K_1 \cdot \{[2 \cdot (K_1 K_T - \tau \omega^2) \cdot (-\tau)] + 1\}}{[(K_1 K_T - \tau \omega^2)^2 + (\omega^2)^2]} = \frac{-K_1 [-2K_1 K_T \tau + \tau^2 \omega^2 + 1]}{[(K_1 K_T - \tau \omega^2)^2 + (\omega^2)^2]},$$

отсюда

$$\left. \frac{\partial A^2}{\partial \omega^2} \right|_{\omega^2 = 0} = 1 - 2K_1 K_T \tau = 0,$$

$$K_1 = \frac{1}{2K_T \tau} = \frac{K_{PT} K_n}{T_{PT} R_a}.$$

т.о.

$$K_{PT} = \frac{R_a T_a}{2K_{IT} K_T \tau}. \quad (1.6)$$

Подставим выражение K_1 в выражение (1.4) для передаточной функции замкнутой САУ:

$$W_3 = \frac{1}{p(\tau p + 1) + \frac{1}{2K_T \tau} \cdot K_T} = \frac{1}{K_T} \frac{1}{2\tau^2 p^2 + 2\tau + 1} = \frac{1}{K_T} \frac{1}{T_{\mu c}^2 p^2 + 2\xi_c T_{\mu c} p + 1} \quad (1.7)$$

где $T_{\mu c} = \sqrt{2} \tau$, $\xi_c = \sqrt{2}/2$.

Как видно из (10.7), передаточная функция контура тока зависит только от постоянной времени силового преобразователя и коэффициента обратной связи по току.

Подставив полученные значения постоянной времени T_{μ} и коэффициента затухания ξ в формулу (4.36), получим следующее выражение для переходной функции:

$$h(t) = \frac{1}{K_T} \left[1 - \frac{1}{\sqrt{2}} e^{-\frac{1}{2\tau} t} \sin \left(\frac{1}{2\tau} t + \arctg 1 \right) \right]. \quad (1.8)$$

На рисунке 10.3 представлена переходная функция при K_T и τ равными единице.

Из рисунка видно, что время нарастания тока равно 4.7τ , а перерегулирование составляет 4.3 %. Таким образом, без больших погрешностей замкнутый контур тока можно представить в виде апериодического звена первого порядка с передаточной функцией, равной:

$$W_{3T} \approx \frac{1}{K_T(2\tau \cdot p + 1)} \quad (10.9)$$

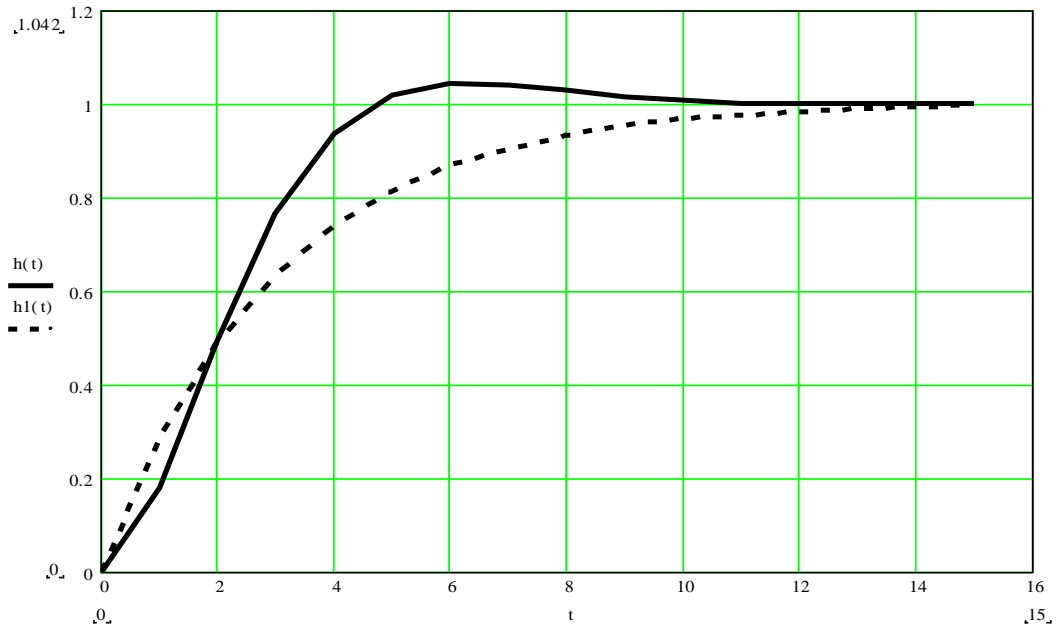


Рисунок 10.3

1.3 Настройка контура скорости на технический оптимум

Структура контура скорости приведена на рисунке 10.4. В прямом канале САУ есть интегрирующее звено, поэтому система астатична по заданию (порядок астатизма равен 1).

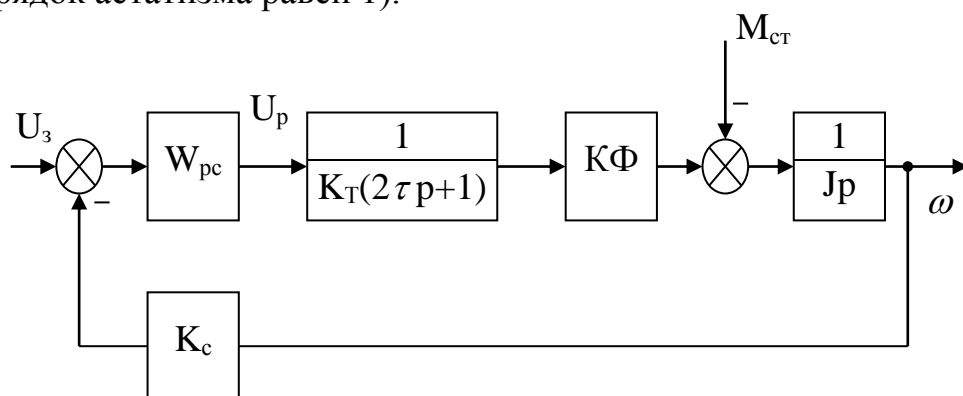


Рисунок 10.4

Если к системе не предъявляется требование астатизма по возмущению, то передаточная функция может иметь наиболее простой вид, как регулятор типа «П» с передаточной функцией:

$$W_{\text{пр}}=K_{\text{pc}}. \quad (10.10)$$

Регулятор скорости в этом случае настраивается на модульный оптимум. Методика выбора параметров регулятора аналогична методике расчета регулятора контура тока.

Передаточная функция прямого канала имеет вид:

$$W_n = \frac{K_{\text{pc}} K \Phi}{K_T J p(2\tau p + 1)} = \frac{K_2}{p(2\tau p + 1)} \quad (10.11)$$

где $K_2 = \frac{K_{\text{pc}} K \Phi}{K_T J}$

Передаточная функция замкнутой САУ:

$$W_3 = \frac{\frac{K_2}{p(2\tau p + 1)}}{1 + \frac{K_2 K_c}{p(2\tau p + 1)}} = \frac{K_2}{p(2\tau p + 1) + K_2 K_c} = \frac{K_2}{\tau p^2 + p + K_2 K_c}. \quad (1.129)$$

Найдем амплитудную частотную характеристику:

$$W(j\omega) = \frac{K_2}{-2\tau\omega^2 + j\omega + K_2 K_c} = \frac{K_2}{\sqrt{(K_2 K_c - 2\tau\omega^2)^2 + (\omega)^2}} e^{j\varphi(\omega)} = A(\omega) e^{j\varphi(\omega)}, \quad (1.10)$$

где $A(\omega) = \frac{K_2}{\sqrt{(K_2 K_c - 2\tau\omega^2)^2 + (\omega)^2}}$

Производная:

$$\left. \frac{\partial A^2}{\partial \omega^2} \right|_{\omega^2=0} = \frac{-K_2 \cdot \{ [2 \cdot (K_2 K_c - 2\tau\omega^2) \cdot (-2\tau)] + 1 \}}{[(K_2 K_c - 2\tau\omega^2)^2 + (\omega)^2]^2} = \frac{-K_2 [-4K_2 K_c \tau + 6\tau^2 \omega^2 + 1]}{[(K_2 K_c - 2\tau\omega^2)^2 + (\omega)^2]^2},$$

отсюда

$$\left. \frac{\partial A^2}{\partial \omega^2} \right|_{\omega^2=0} = 1 - 4K_2 K_c \tau = 0,$$

$$K_2 = \frac{1}{4K_c \tau} = \frac{K_{\text{pc}} K \Phi}{K_T J}.$$

т.о.

$$K_{\text{pc}} = \frac{K_T J}{4K_c K \Phi \tau}. \quad (1.11)$$

Подставим выражение K_2 в выражение (10.12) для передаточной функции замкнутой САУ:

$$W_3 = \frac{1}{p(2\tau p + 1) + \frac{1}{4K_c\tau} \cdot K_c} = \frac{1}{K_c} \frac{1}{8\tau^2 p^2 + 4\tau + 1} = \frac{1}{K_c} \frac{1}{T_{\mu c}^2 p^2 + 2\xi_c T_{\mu c} p + 1} \quad (1.15)$$

где $T_{\mu c} = 2\sqrt{2}\tau$, $\xi_c = \sqrt{2}/2$.

Как видно из (10.15), передаточная функция контура скорости зависит только от постоянной времени силового преобразователя и коэффициента обратной связи по скорости.

Подставив полученные значения постоянной времени $T_{\mu c}$ и коэффициента затухания ξ_c в формулу разложения (4.26), получим следующее выражение для переходной функции:

$$h(t) = \frac{1}{K_c} \left[1 - \frac{1}{\sqrt{2}} e^{-\frac{1}{4\tau}t} \sin\left(\frac{1}{4\tau}t + \arctg 1\right) \right]. \quad (1.12)$$

На рисунке 10.4 представлена переходная функция при K_c и τ равными единице.

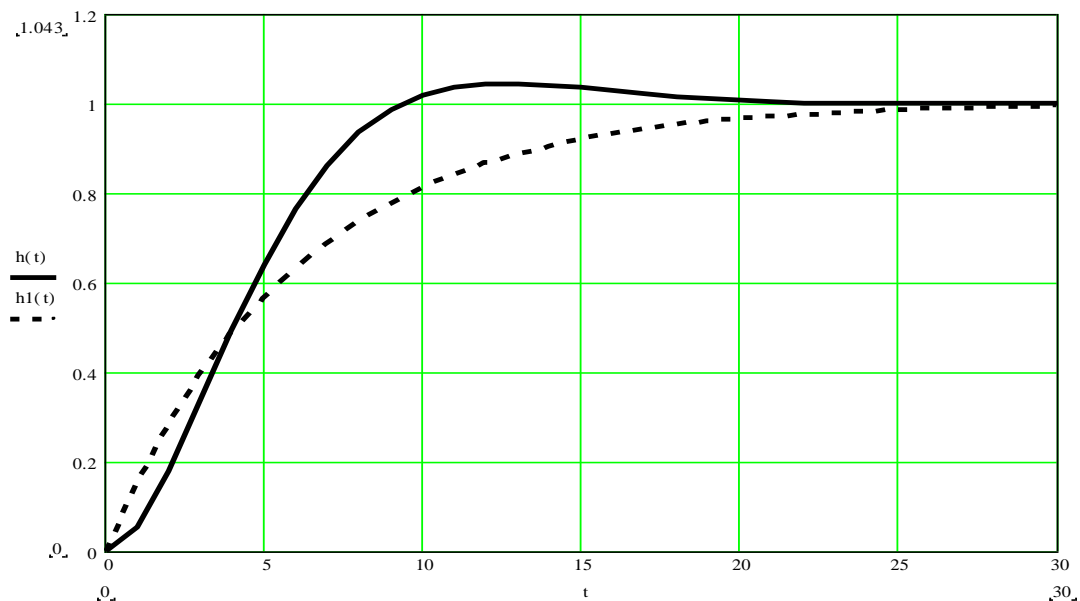


Рисунок 10.4

Оценим влияние момента на скорость. Передаточная функция запишется в виде:

$$W_M = \frac{\omega}{M_c} = \frac{1/Jp}{1 + \frac{JK_T K_c K\Phi}{4\tau K_T K_c K\Phi Jp(2\tau p + 1)}} = \frac{4\tau(2\tau p + 1)}{J[4\tau(2\tau p + 1) + 1]}, \quad (10.17)$$

Подставив в формулу (10.17) $p = 0$, получим статическую ошибку по моменту

$$W(p=0) = \frac{4\tau}{J} \quad (10.18)$$

1.3 Настройка контура скорости на симметричный оптимум

При необходимости астатизма по возмущению регулятор скорости настраивается по симметричному оптимуму. Основой симметричного метода настройки является получение желаемой ЛАХ симметричной относительно точки среза (отсюда название метода).

Передаточная функция нескорректированной системы:

$$W_{nc} = \frac{K\Phi \cdot K_c}{K_T} \cdot \frac{1}{Jp} \cdot \frac{1}{2\tau \cdot p + 1} \quad (1.13)$$

Логарифмическая амплитудная частотная характеристика L_{nc} представлена на рисунке 10.5.

Передаточная функция регулятора скорости имеет вид:

$$W_{pc} = K_{pc} \frac{T_{pc}p + 1}{T_{pc}p} \quad (1.201)$$

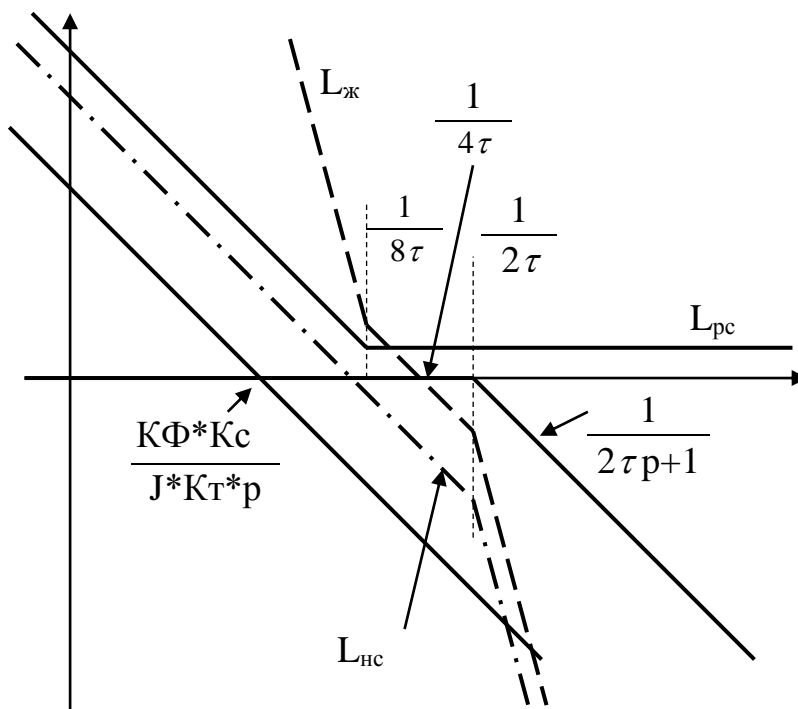


Рисунок 10.5

Выберем точку среза желаемой характеристики равную $1/(4\tau)$ и через эту частоту проводим желаемую логарифмическую характеристику с наклоном минус 20 дБ/дек. В области высоких частот желаемую ЛАЧХ

проводим параллельно нескорректированной, т.е. при частоте, равной $1/(2\tau)$ наклон изменяется на минус 40 дБ/дек. Тогда по условию симметричности ЛАЧХ относительно частоты среза на частоте $1/(8\tau)$ изменяем наклон желаемой ЛАЧХ на минус 40 дБ/дек. ЛАЧХ регулятора скорости находится по уравнению:

$$L_{pc} = L_{жс} - L_{нс} \quad (1.21)$$

Из рисунка 10.4 видно, что постоянная времени регулятора скорости должна быть равна $T_{pc}=8\tau$. Коэффициент усиления регулятора скорости определим при $p=1/(4\tau)$.

$$W_{жс} \left|_{\omega = \frac{1}{4\tau}} = \frac{1}{4\tau} = K_{pc} \frac{8p+1}{8p} \frac{K\Phi \cdot K_c}{K_T} \frac{1}{Jp} \frac{1}{2p+1} = K_{pc} \frac{(8\tau \frac{1}{4\tau} + 1) \cdot K\Phi \cdot K_c}{8\tau \frac{1}{4\tau} K_T (2\tau \frac{1}{4\tau} + 1) J} \frac{1}{4\tau} = 1;$$

$$K_{pc} = \frac{K_T J}{K\Phi * K_c * 4\tau}; \quad (1.221)$$

Желаемая передаточная функция будет иметь вид:

$$W_{жс} = \frac{8p+1}{32\tau^2 p^2 (2p+1)}. \quad (10.23)$$

Передаточная функция замкнутой системы по заданию:

$$W_3 = \frac{8 \cdot \tau \cdot p + 1}{32\tau^2 p^2 (2\tau \cdot p + 1) + 8\tau \cdot p + 1} \cdot \frac{1}{K_c} \quad (10.24)$$

Передаточная функция замкнутой системы при действии возмущения (момента) будет имеет вид:

$$W_{3M} = \frac{\omega}{M} = \frac{\frac{1}{Jp}}{1 + \frac{8\tau \cdot p + 1}{32\tau^2 p^2 (2\tau \cdot p + 1)}} = \frac{32 \cdot \tau^2}{J} \frac{p(2\tau \cdot p + 1)}{32\tau^2 p^2 (2\tau \cdot p + 1) + 8\tau \cdot p + 1}. \quad (1.24)$$

При $p=0$ $W_3 = 1$, $W_{3M} = 0$, т.е. система астатичная и по заданию, и по возмущению.

Уравнения переходных характеристик по заданию и по моменту при $J = 1$, $K_c = 1$ и постоянной времени преобразователя $\tau = 0.01$ с записываются в виде:

$$h_3(t) = 1 + e^{-25t} + .993 \cos(21.7t + 3.14),$$

$$h_M(t) = 0.04e^{-25t} + 0.04e^{-12.5t} \cos(21.7t + 2.09)$$

и представлены на рисунках 10.6, 10.7.

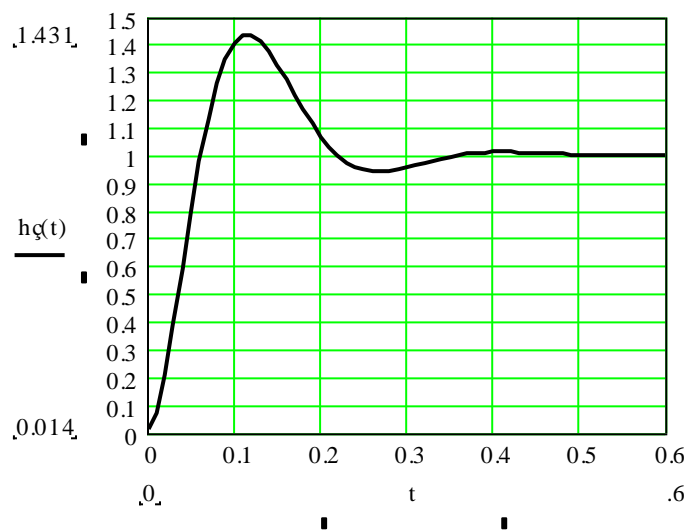


Рисунок 10.6

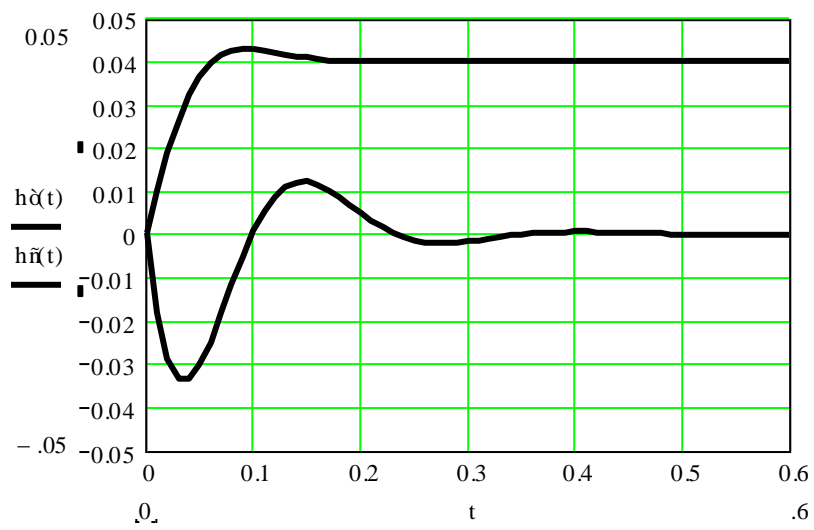


Рисунок 10.7