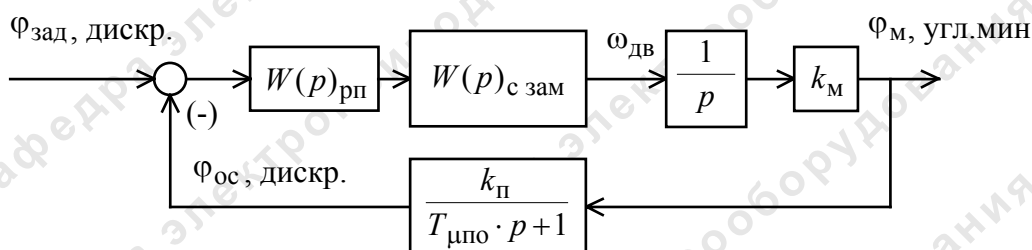


ОПТИМИЗАЦИЯ КОНТУРА ПОЛОЖЕНИЯ с П-регулятором положения и ПИ-регулятором скорости

Следящий электропривод реализуется на базе регулируемого электропривода путем организации с использованием встроенного технологического регулятора привода или подключением технологического модуля дополнительного внешнего контура регулирования технологического параметра.

Оптимизация контура положения с инерционной обратной связью

Структурная схема контура положения следящего электропривода с инерционной обратной связью приведена на рисунке. Технологической координатой является угол поворота выходного вала механизма. Требованиями к точности отработки заданных движений выходного вала механизма определена необходимость измерения угла поворота в угловых минутах. Для измерения угла поворота применяется импульсный датчик угловых перемещений.



Структурная схема контура положения с инерционной обратной связью

Для измерения угла поворота может быть применен импульсный датчик угловых перемещений. Коэффициент передачи импульсного датчика положения, установленного на выходном валу механизма, угол поворота которого измеряется в угл. минутах, определяется по выражению

$$k_{\text{дп}} = \frac{n_{\text{дп}}}{360 \cdot 60} \cdot \frac{\text{дискрет}}{\text{угл.мин.}}$$

где $n_{\text{дп}}$ – число периодов выходного сигнала датчика положения выбирается из следующего ряда типовых значений: $n_{\text{дп}} = 1500; 1800; 2000; 2048; 2500; 2540; 3000; 3600; 4000; 4096; 5000; 6500; 7200; 7500; 9000; 10\ 000; 12\ 000; 15\ 000; 18\ 000; 20\ 000; 25\ 000; 36\ 000; 50\ 000$.

Тогда коэффициент обратной связи контура по положению

$$k_{\text{п}} = k_{\text{оп}} \cdot k_{\text{дп}}$$

где $k_{оп}$ – коэффициент преобразования периода выходных сигналов датчика в код угла поворота, принимается $k_{оп} = 1$ (без учетверения) или $k_{оп} = 4$ (с учетверением).

Датчик угла поворота может быть установлен на выходном валу механизма или, что проще, непосредственно на валу электродвигателя.

Если импульсный датчик угла поворота одновременно используется как датчик скорости, то можно принять равными интервал измерения угла поворота в контуре положения следящего электропривода и интервал измерения угловой скорости вращения в контуре скорости регулируемого электропривода

$$T_{сп} = T_{сс}.$$

Поэтому малую постоянную времени цепи обратной связи по положению примем равной малой постоянной времени цепи обратной связи по скорости

$$T_{\mu по} = T_{\mu со}.$$

В этом случае при оптимизации контура положения внутренний оптимизированный замкнутый контур скорости с ПИ-регулятором скорости следует представить усеченной передаточной функцией 3-го порядка

$$W(p)_{с\ зам} = \frac{\frac{1}{k_c} \cdot (T_{\mu со} p + 1)}{b_c a_c^2 T_{\mu сз}^3 p^3 + b_c a_c^2 T_{\mu сз}^2 p^2 + b_c a_c T_{\mu сз} p + 1}.$$

Это означает, что на входе контура скорости с ПИ-регулятором должен быть установлен сглаживающий фильтр первого порядка с постоянной времени фильтра

$$T_{ф.вх2} = b_c \cdot a_c \cdot T_{\mu сз}.$$

Передаточная функция П-регулятора положения

$$W_{рп}(p) = k_{рп}.$$

Коэффициент усиления регулятора положения находится по выражению

$$k_{рп} = \frac{k_c}{k_m \cdot k_{п} \cdot a_{п} \cdot T_{\mu пэ}},$$

где

$$T_{\mu пэ} = T_c = b_c \cdot a_c \cdot T_{\mu сз}, \text{ с,}$$

– эквивалентная малая постоянная времени контура положения при настройке контура скорости с ПИ-регулятором;

$a_{п}$ – коэффициент оптимизации контура положения.

Оптимизированный контур положения с П-регулятором положения и внутренним контуром скорости с ПИ-регулятором скорости имеет следующие передаточные функции:

– разомкнутого контура

$$W(p)_{\text{п раз}} = \frac{1}{a_{\text{п}} b_{\text{с}}^2 a_{\text{с}}^3 T_{\text{мсэ}}^4 p^4 + a_{\text{п}} b_{\text{с}}^2 a_{\text{с}}^3 T_{\text{мсэ}}^3 p^3 + a_{\text{п}} b_{\text{с}}^2 a_{\text{с}}^2 T_{\text{мсэ}}^2 p^2 + a_{\text{п}} b_{\text{с}} a_{\text{с}} T_{\text{мсэ}} p}$$

– замкнутого контура

$$W(p)_{\text{п зам}} = \frac{\frac{1}{k_{\text{п}}} \cdot (T_{\text{мсо}} p + 1)}{a_{\text{п}} b_{\text{с}}^2 a_{\text{с}}^3 T_{\text{мсэ}}^4 p^4 + a_{\text{п}} b_{\text{с}}^2 a_{\text{с}}^3 T_{\text{мсэ}}^3 p^3 + a_{\text{п}} b_{\text{с}}^2 a_{\text{с}}^2 T_{\text{мсэ}}^2 p^2 + \rightarrow} \\ \rightarrow + a_{\text{п}} b_{\text{с}} a_{\text{с}} T_{\text{мсэ}} p + 1$$

При коэффициенте оптимизации $a_{\text{п}} = 2$ отношение

$$\frac{a_{\text{п}} \cdot b_{\text{с}} \cdot a_{\text{с}} \cdot T_{\text{мсэ}}}{T_{\text{мсо}}} \geq 8,$$

и тогда настройка контура положения оказывается близка к настройке на МО системы 4-ого порядка. Замкнутый контур положения представляет собой астатическую систему 1-го порядка по управлению. Показатели качества работы замкнутого контура положения по управлению мало зависят от соотношения малых постоянных времени в прямом канале $T_{\text{мсп}}$ и в цепи обратной связи $T_{\text{мпс}}$.

Точная настройка контура положения на МО достигается при установке на входе контура сглаживающего фильтра первого порядка с постоянной времени

$$T_{\text{ф.вх2}} = T_{\text{мсо}}.$$

Передаточная функция замкнутого контура положения с фильтром на входе по управлению принимает вид

$$W(p)_{\text{п зам}} = \frac{\frac{1}{k_{\text{п}}}}{a_{\text{п}} b_{\text{с}}^2 a_{\text{с}}^3 T_{\text{мсэ}}^4 p^4 + a_{\text{п}} b_{\text{с}}^2 a_{\text{с}}^3 T_{\text{мсэ}}^3 p^3 + a_{\text{п}} b_{\text{с}}^2 a_{\text{с}}^2 T_{\text{мсэ}}^2 p^2 + \rightarrow} \\ \rightarrow + a_{\text{п}} b_{\text{с}} a_{\text{с}} T_{\text{мсэ}} p + 1$$

Контур остается астатической системой регулирования 1-го порядка по управлению. Показатели качества работы замкнутого контура положения с фильтром на входе по управлению не зависят от соотношения малых постоянных вре-

мени в прямой и обратной цепи контура и определяются следующими значениями:

– установившаяся статическая ошибка по управлению при постоянном значении задающего сигнала

$$\Delta\varphi_{уст} = 0;$$

– установившаяся скоростная ошибка

$$\Delta\varphi_{ск} = \frac{k_c}{k_{рп} \cdot k_{п} \cdot k_{м}} \cdot \left(\frac{d\varphi}{dt} \right)_{зад} = \frac{k_c}{k_{рп} \cdot k_{п} \cdot k_{м}} \cdot \omega_{зад}, \text{ УГЛ. МИН};$$

– добротность контура по скорости

$$D_{\omega} = k_{п} \cdot \frac{1}{k_c} \cdot k_{рп} \cdot k_{м}, \text{ с}^{-1};$$

– полоса пропускания контура по модулю и по фазе:

$$\omega_{п}^{(м)} = \frac{0.282}{T_{мсэ}}, \frac{\text{рад}}{\text{с}}, \quad \omega_{п}^{(\phi)} = \frac{0.182}{T_{мсэ}}, \frac{\text{рад}}{\text{с}};$$

– перегулирование, время первого и окончательного вхождения в 5 % зону при отработке скачка задания:

$$\sigma = 6.24 \%, \quad t_{ру1}^{(5)} = 13.2 \cdot T_{мсэ}, \text{ с}; \quad t_{ру2}^{(5)} = 20.3 \cdot T_{мсэ}, \text{ с}.$$

Для полного исключения перегулирования контур положения настраивается на ЛО с коэффициентом оптимизации $a_{п} = 4$. Показатели качества работы по управлению замкнутого контура положения, настроенного на ЛО, с фильтром на входе определяются следующими значениями:

– установившаяся статическая ошибка по управлению при постоянном значении задающего сигнала

$$\Delta\varphi_{уст} = 0;$$

– установившаяся скоростная ошибка

$$\Delta\varphi_{ск} = \frac{k_c}{k_{рп} \cdot k_{п} \cdot k_{м}} \cdot \left(\frac{d\varphi}{dt} \right)_{зад} = \frac{k_c}{k_{рп} \cdot k_{п} \cdot k_{м}} \cdot \omega_{зад}, \text{ УГЛ. МИН};$$

– добротность контура по скорости

$$D_{\omega} = k_{п} \cdot \frac{1}{k_c} \cdot k_{рп} \cdot k_{м}, \text{ с}^{-1};$$

– полоса пропускания контура по модулю и по фазе:

$$\omega_{п}^{(м)} = \frac{0.175}{T_{мсэ}}, \frac{\text{рад}}{\text{с}}, \quad \omega_{п}^{(\phi)} = \frac{0.25}{T_{мсэ}}, \frac{\text{рад}}{\text{с}};$$

– перерегулирование, время первого и окончательного вхождения в 5 % зону при обработке скачка задания:

$$\sigma = 0 \%, \quad t_{\text{py1}}^{(5)} = t_{\text{py2}}^{(5)} = 19.3 \cdot T_{\text{мсэ}}, \text{ с.}$$

Оптимизация контура положения с безынерционной обратной связью

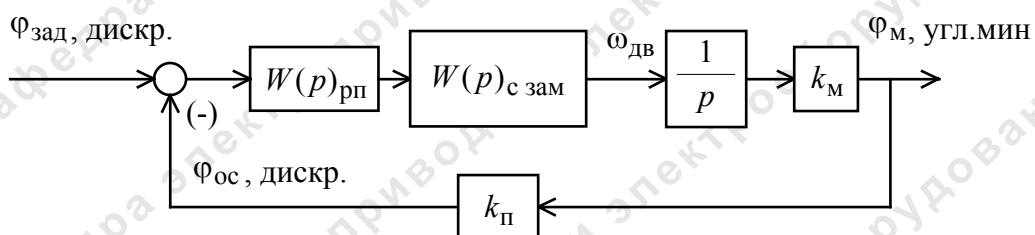
Если для измерения положения (или другой технологической координаты) исполнительного органа механизма, оснащенного следящим электроприводом, используется специализированный дискретный или аналоговый датчик положения, то сигнал обратной связи может быть получен практически без запаздывания во времени. В этом случае цепь обратной связи по положению можно принять безынерционной, а малую постоянную времени в цепи обратной связи контура положения

$$T_{\text{цпо}} = 0.$$

Структурная схема контура положения с безынерционной обратной связью приведена на рисунке.

При оптимизации контура положения внутренний оптимизированный замкнутый контур скорости с ПИ-регулятором скорости следует представить усеченной передаточной функцией 3-го порядка

$$W(p)_{\text{с зам}} = \frac{1}{k_c} \cdot \frac{1}{b_c a_c^2 T_{\text{мсэ}}^3 p^3 + b_c a_c^2 T_{\text{мсэ}}^2 p^2 + b_c a_c T_{\text{мсэ}} p + 1}.$$



Структурная схема контура положения с безынерционной обратной связью

Это означает, что на входе контура скорости с ПИ-регулятором должны быть установлены два сглаживающих фильтра первого порядка с постоянными времени фильтров, соответственно, равными

$$T_{\text{ф.вх2}} = b_c \cdot a_c \cdot T_{\text{мсэ}} \quad \text{и} \quad T_{\text{ф.вх1}} = T_{\text{мсо}}.$$

Передаточная функция П-регулятора положения

$$W_{\text{рп}}(p) = k_{\text{рп}}.$$

Коэффициент усиления регулятора положения находится по выражению

$$k_{\text{рп}} = \frac{k_{\text{с}}}{k_{\text{м}} \cdot k_{\text{п}} \cdot a_{\text{п}} \cdot T_{\text{мпэ}}},$$

где

$$T_{\text{мпэ}} = b_{\text{с}} \cdot a_{\text{с}} \cdot T_{\text{мсэ}} = b_{\text{с}} \cdot a_{\text{с}} \cdot (T_{\text{т}} + T_{\text{мсо}}), \text{ с},$$

– эквивалентная малая постоянная времени контура положения при настройке контура скорости с ПИ-регулятором;

$a_{\text{п}}$ – коэффициент оптимизации контура положения.

Оптимизированный контур положения с П-регулятором положения и внутренним контуром скорости с ПИ-регулятором скорости в общем случае имеет следующие передаточные функции:

– разомкнутого контура

$$W(p)_{\text{п раз}} = \frac{1}{a_{\text{п}} b_{\text{с}}^2 a_{\text{с}}^3 T_{\text{мсэ}}^4 p^4 + a_{\text{п}} b_{\text{с}}^2 a_{\text{с}}^3 T_{\text{мсэ}}^3 p^3 + a_{\text{п}} b_{\text{с}}^2 a_{\text{с}}^2 T_{\text{мсэ}}^2 p^2 + a_{\text{п}} b_{\text{с}} a_{\text{с}} T_{\text{мсэ}} p};$$

– замкнутого контура

$$W(p)_{\text{п зам}} = \frac{\frac{1}{k_{\text{п}}}}{a_{\text{п}} b_{\text{с}}^2 a_{\text{с}}^3 T_{\text{мсэ}}^4 \cdot p^4 + a_{\text{п}} b_{\text{с}}^2 a_{\text{с}}^3 T_{\text{мсэ}}^3 \cdot p^3 + a_{\text{п}} b_{\text{с}}^2 a_{\text{с}}^2 T_{\text{мсэ}}^2 \cdot p^2 + \rightarrow \rightarrow + a_{\text{п}} b_{\text{с}} a_{\text{с}} T_{\text{мсэ}} \cdot p + 1}.$$

Настройка контура положения при коэффициенте оптимизации $a_{\text{п}} = 2$ точно соответствует настройке на МО системы 4-го порядка. Замкнутый контур положения представляет собой астатическую систему 1-го порядка по управлению. Показатели качества работы замкнутого контура положения по управлению определяются следующими значениями:

– статическая ошибка по управлению при постоянном значении задающего сигнала $\varphi_{\text{зад}} = 0$

$$\Delta\varphi_{\text{уст}} = 0;$$

– скоростная ошибка при линейно изменяющемся задающем сигнале

$$\left(\frac{d\varphi}{dt}\right)_{\text{зад}} = \omega_{\text{зад}} = \text{const}, \frac{\text{дискр.}}{\text{с}},$$

$$\Delta\varphi_{\text{ск}} = \frac{k_c}{k_{\text{рп}} \cdot k_{\text{п}} \cdot k_{\text{м}}} \cdot \left(\frac{d\varphi}{dt} \right)_{\text{зад}} = \frac{k_c}{k_{\text{рп}} \cdot k_{\text{п}} \cdot k_{\text{м}}} \cdot \omega_{\text{зад}}, \text{ УГЛ.МИН};$$

– добротность контура по скорости

$$D_{\omega} = k_{\text{п}} \cdot \frac{1}{k_c} \cdot k_{\text{рп}} \cdot k_{\text{м}}, \text{ с}^{-1};$$

– полоса пропускания контура по модулю и по фазе

$$\omega_{\text{п}}^{(\text{м})} = \frac{0.282}{T_{\text{мсэ}}}, \frac{\text{рад}}{\text{с}}, \quad \omega_{\text{п}}^{(\text{ф})} = \frac{0.182}{T_{\text{мсэ}}}, \frac{\text{рад}}{\text{с}};$$

– перерегулирование, время первого и окончательного вхождения в 5 % зону при отработке скачка задания

$$\sigma = 6.24 \% ; \quad t_{\text{ру1}}^{(5)} = 13.2 \cdot T_{\text{мсэ}}, \text{ с}; \quad t_{\text{ру2}}^{(5)} = 20.3 \cdot T_{\text{мсэ}}, \text{ с}.$$

При настройке контура положения на ЛО при коэффициенте оптимизации $a_{\text{п}} = 4$ показатели качества работы по управлению замкнутого контура положения определяются следующими значениями:

– установившаяся статическая ошибка по управлению при постоянном значении задающего сигнала

$$\Delta\varphi_{\text{уст}} = 0;$$

– установившаяся скоростная ошибка

$$\Delta\varphi_{\text{ск}} = \frac{k_c}{k_{\text{рп}} \cdot k_{\text{п}} \cdot k_{\text{м}}} \cdot \left(\frac{d\varphi}{dt} \right)_{\text{зад}} = \frac{k_c}{k_{\text{рп}} \cdot k_{\text{п}} \cdot k_{\text{м}}} \cdot \omega_{\text{зад}}, \text{ УГЛ. МИН};$$

– добротность контура по скорости

$$D_{\omega} = k_{\text{п}} \cdot \frac{1}{k_c} \cdot k_{\text{рп}} \cdot k_{\text{м}}, \text{ с}^{-1};$$

– полоса пропускания контура по модулю и по фазе

$$\omega_{\text{п}}^{(\text{м})} = \frac{0.0875}{T_{\text{мсэ}}}, \frac{\text{рад}}{\text{с}}, \quad \omega_{\text{п}}^{(\text{ф})} = \frac{0.127}{T_{\text{мсэ}}}, \frac{\text{рад}}{\text{с}};$$

– перерегулирование, время первого и окончательного вхождения в 5 % зону при отработке скачка задания:

$$\sigma = 0 \% , \quad t_{\text{ру1}}^{(5)} = 38.6 \cdot T_{\text{мсэ}}, \text{ с}.$$