Автоматизированный привод позиционного типа

Области использования позиционного ЭП:

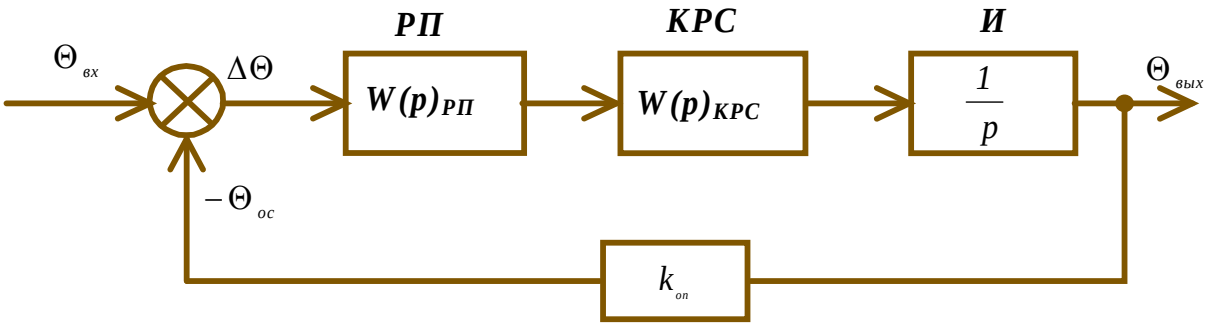
1) подъёмно-транспортные машины;
2) робототехнические установки;
3) металлорежущие станки;
4) тепловые системы химического и фармацевтического производства, пищевой промышленности, системы газо- и теплоснабжения.

Данные установки приводятся в движение электроприводами, работающими в режимах позиционирования и являющимися по существу непосредственными регуляторами технологического процесса.

От того, насколько качественно данные позиционные электроприводы осуществляют заданные технологическим регулятором перемещения рабочих органов, зависит и качество управляемого технологического процесса.

Задачу – получить наибольшее быстродействие при отсутствии перерегулирования и в пределах требуемой точности позиционирования, можно считать актуальной задачей оптимизации.

Структурная схема позиционного электропривода



В контуре регулирования положения П - регулятором положения содержится одно интегрирующее звено. Позиционный ЭП обладает астатизмом первого порядка по управляющему воздействию. В схеме с ПИ - регулятором положения содержится два интегрирующих элемента, и система обладает астатизмом второго порядка. Без ошибки отрабатывается не только постоянное перемещение, но и линейно-изменяющийся входной сигнал. Схема с ПИД – регулятором положения является системой с третьим порядком астатизма. Порядок астатизма третий является максимальным и используется редко.

Показателями качества позиционного ЭП являются добротность системы, точность позиционирования, скоростная ошибка.

Добротность системы по скорости определяется: $k_\omega = \frac{\omega_{max}}{\Delta\Theta_{max\,доп}}$, 1/с,

добротность системы по ускорению определяется: $k_\varepsilon = \frac{\varepsilon_{max}}{\Delta\Theta_{max\,доп}}$, $1/с^2$,

где $\Delta\Theta_{max\,доп}$ – допустимая ошибка слежения.

Добротность по скорости численно равна скорости изменения воздействия, дающей единичное значение $\Delta\Theta$. Добротность по ускорению равна постоянному ускорению, соответствующему $\Delta\Theta$=1.

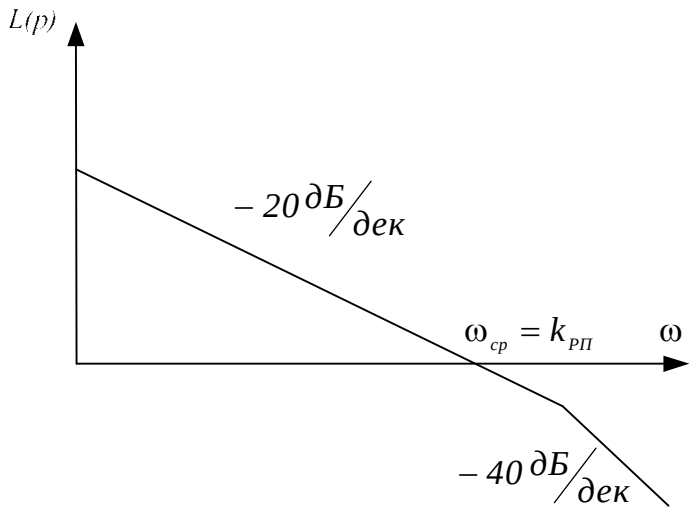
Добротность системы по скорости можно определить:

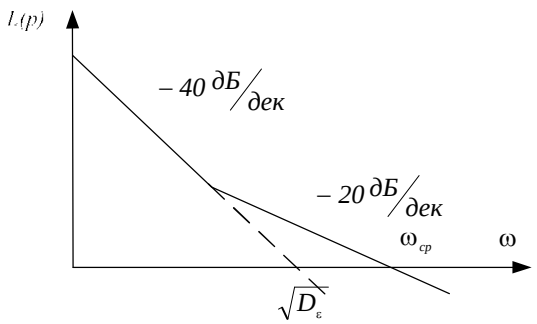
$$k_\omega \le \frac{1}{a_п \cdot T_{μп}} = \frac{1}{a_п \cdot a_с \cdot a_т \cdot T_μ}.$$

При настройке всех контуров на модульный оптимум и $T_μ$=0,0064 с. k_ω=19,53. На практике это значение должно быть больше на порядок.

Добротность по скорости соответствует частоте среза разомкнутого контура регулирования положения при настройке на модульный оптимум.

Данная схема ЭП содержит П – регулятор.





ЛАЧХ для системы с ПИ – регулятором положения.

Ошибка определяется по формуле: $\Delta\Theta = \frac{\omega}{k_{КРП}} = \frac{M_c}{k_{КРП} \cdot \beta_{замкн}}$,

где $k_{КРП} = \frac{1}{a_п \cdot T_{μп}}$ – коэффициент усиления разомкнутого контура регулирования положения. Ошибка регулирования зависит от $k_{КРП}$, $\beta_{замкн}$.

Ошибка в схеме с П – регулятором:

по каналу управления составит: $\Delta\Theta_{упр} = \frac{\omega}{k_{КРП}} = \frac{\omega}{1 / a_п \cdot a_ω \cdot a_i \cdot T_μ} = \frac{\omega}{1 / 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 0{,}01} = \frac{\omega}{12{,}5}$,

по каналу момента нагрузки: $\Delta\Theta_{нагр} = \frac{M_c}{k_{КРП} \cdot \beta_{замкн}} = \frac{M_c}{12{,}5 \cdot \frac{\beta_{ест} \cdot T_м}{4 \cdot T_μ}}$.

В схеме с ПИ- регулятором положения $\Delta\Theta_ω = 0$.

$$k_{КРП} = \frac{1}{a_п \cdot T_{μп}} = \frac{1}{16 \cdot T_μ \cdot 8 \cdot T_μ} = \frac{1}{128 \cdot 0{,}01^2} = 78{,}125 \cdot$$

Ошибка по каналу управления составит: $\Delta\Theta_{упр} = \frac{\varepsilon}{k_{КРП}} = \frac{\varepsilon}{78{,}125}$,

по каналу момента нагрузки: $\Delta\Theta_{нагр} = \frac{M_c}{k_{КРП} \cdot \beta_{замкн}} = \frac{M_c}{78{,}125 \cdot \frac{\beta_{ест} \cdot T_м}{4 \cdot T_μ}}$.

Из сравнения полученных выражений следует, что ошибка в системе с ПИ – регулятором положения меньше, чем в системе с П – регулятором положения.

В схеме с ПИД – регулятором $k_{КРП} = \frac{1}{32 \cdot T_{\mu} \cdot 2 \cdot T_{\mu}} = \frac{1}{64 \cdot 0{,}01^2} = 156 \cdot$

Точность слежения – это разность между заданным и отработанным перемещениями в данной момент времени и в данной точке траектории.

Для угловой координаты: $\delta = \Delta\Theta = \Theta_з - \Theta$,

где $\Theta_з$ – значение задающего угла, рад; Θ – значение угла исполнительного вала.

Ошибка следящей системы определится: $\Delta\Theta = \Delta\Theta_и + \Delta\Theta_с + \Delta\Theta_{дин}$,

где $\Delta\Theta_и$ – ошибка измерительных устройств; обусловлена классом точности измерителей угла рассогласования между валами. Эту ошибку нельзя уменьшить, совершенствуя систему управления. Снижение возможно применением высокоточных измерительных устройств. В ЭП с большим перемещением рабочего орана используются многоотсчетные системы с каналами грубого и точного отсчета. Канал грубого отсчета обеспечивает однозначность согласования следящего ЭП, а канал точного отсчета – высокую точность этого согласования.

$\Delta\Theta_с$ – статическая погрешность, вызванная приложением к следящей системе внешних воздействий в установившемся режиме. Эта составляющая вызвана рядом возмущений ($M_с$, $U_с$, $f_с$). Снижение этой ошибки достигается использованием двигателя большей мощности.

$\Delta\Theta_{дин}$ – динамическая погрешность $\Delta\Theta_и$ и $\Delta\Theta_с$.

Типовые структурные схемы систем управления положением

Системы регулирования положения различают позиционные и следящие. Позиционный и следящий ЭП, выполненный по принципу подчиненного регулирования, представляют собой трехконтурные системы с контурами тока, скорости и положения.

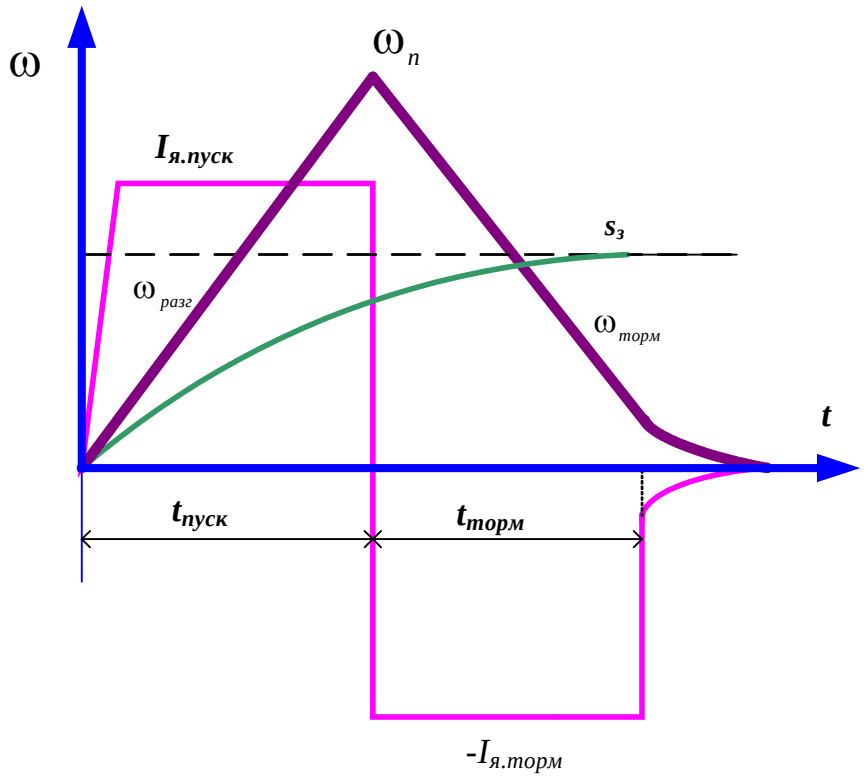
Позиционный ЭП перемещает рабочий механизм в заданные положения с требуемой точностью. Требуемым условием для такого ЭП является отсутствие перерегулирования, а время перемещения должно быть минимальным. Позиционный ЭП в зависимости от технологического процесса работает с малыми, средними или большими перемещениями.

В режиме малых перемещений ЭП работает без ограничения тока и скорости. Коэффициент настройки КРП $a=4 \div 6$.

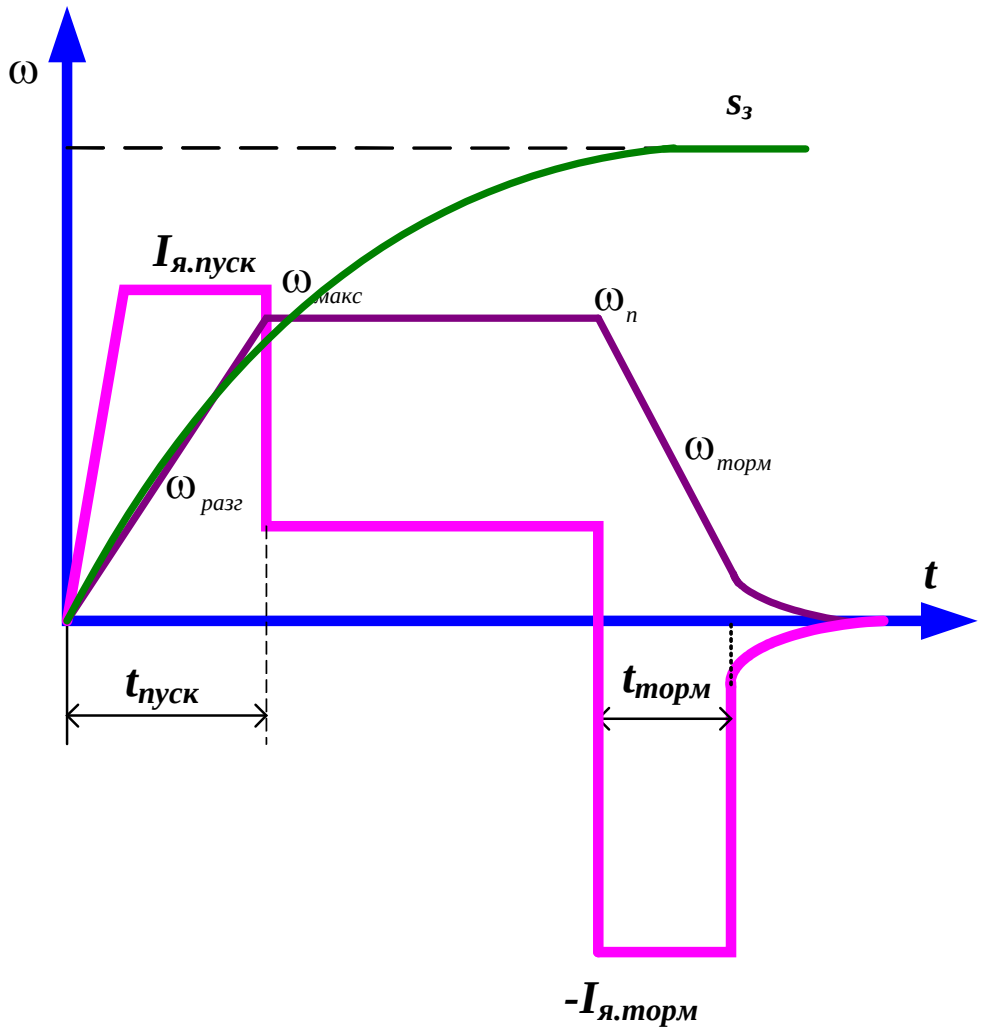
В режиме средних перемещений ЭП работает с ограничением тока, но без ограничения скорости.

В режиме больших перемещений ЭП работает с ограничением и тока, и скорости на допустимом уровне. Ограничение тока и скорости достигается за счет ограничения сигналов на выходе регуляторов положения и скорости.

Переходные процессы при отработке малых перемещений



Переходные процессы при отработке среднего перемещения



Процесс отработки протекает в два этапа. На первом этапе ЭП разгоняется с максимальным ускорением. До скорости переключения $\omega_п$, когда ток и ускорение меняют свой знак. С этого момента начинается торможение до тех пор, пока Система не войдет в линейную зону при подходе к заданной координате. Окончание позиционирования имеет затухающий характер.

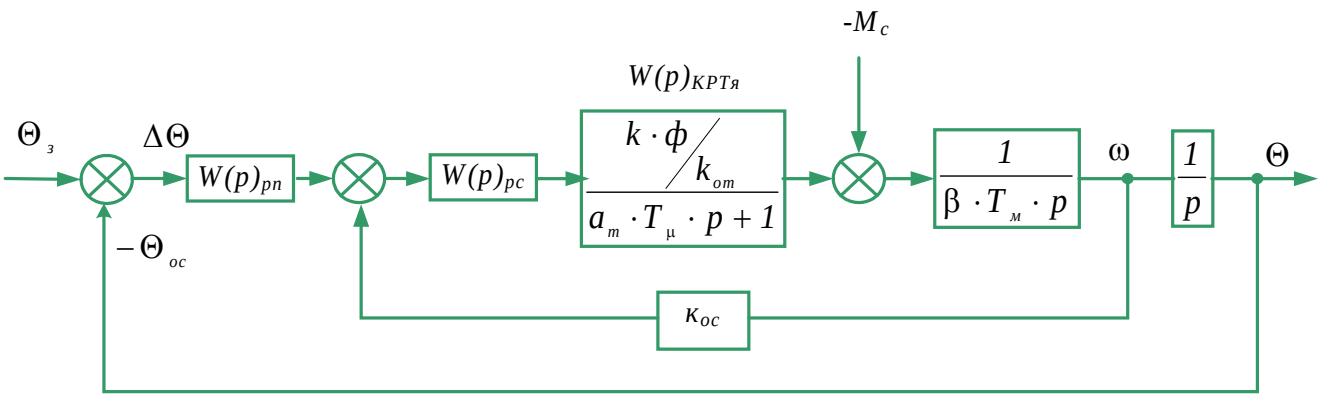
Переходные процессы при отработке большого перемещения $s_з$

ЭП разгоняется с максимальным ускорением до максимальной скорости $\omega_{макс}$ и с этой скоростью движется к заданной точке. При $\omega_п$ сигнал РС проходит через ноль и ЭП переходит в режим торможения. При подходе к з а-

данной точке процесс позиционирования завершается так же, как и при отработке средних перемещений.

Следящий ЭП отличается от позиционного заданием. Задачей следящего ЭП является воспроизведение с высокой точностью произвольных законов движения.

Трехконтурная схема следящего ЭП



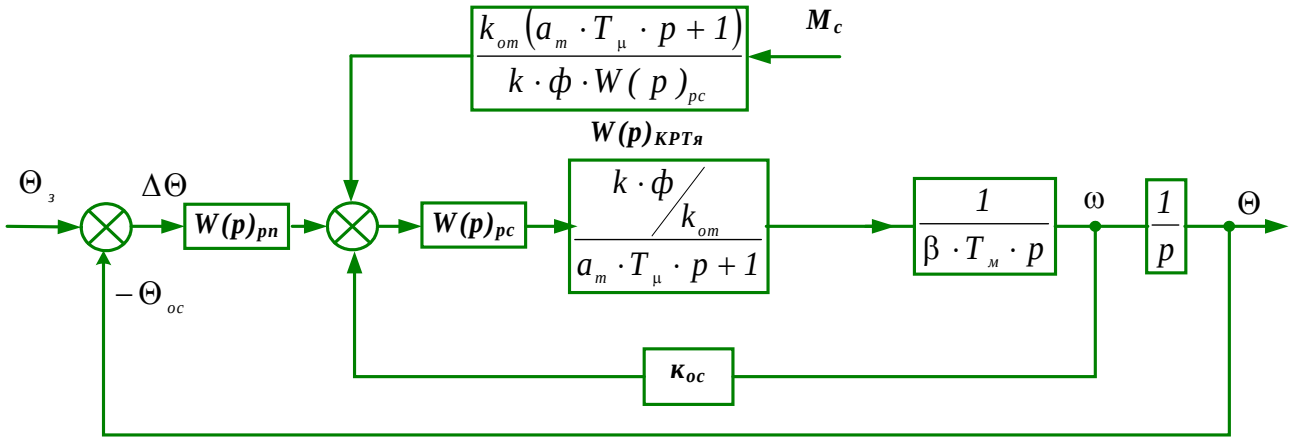
Преобразование в механической части: $\frac{1}{J \cdot p} \cdot \frac{\beta}{\beta} = \frac{1}{\beta \cdot T_м \cdot p}$.

Передаточная функция разомкнутого контура регулирования положения:

$$W_{\Theta_з \to \Theta}(p) = W(p)_{рп} \cdot \frac{1/k_{ос}}{a_с \cdot a_т \cdot T_μ \cdot p \cdot (a_т \cdot T_μ \cdot p + 1) + 1} \cdot \frac{1}{p} \quad \text{или}$$

$$W_{\Theta_з \to \Theta}(p) = \frac{1/k_{оп}}{a_п \cdot a_с \cdot a_т \cdot T_μ \cdot p \cdot (a_с \cdot a_т \cdot T_μ \cdot p + 1)} \qquad (1)$$

Схему преобразуем, для этих целей перенесем точку приложения $M_с$ против направления сигнала задания.



Передаточная функция системы по возмущающему воздействию, принимая $k_{рп}=1$:

$$W_{-M_c\to\Theta}(p)=\frac{\Theta(p)}{-M_c(p)}=\frac{k_{от}\cdot(a_т\cdot T_\mu\cdot p+1)}{k\cdot\phi\cdot W(p)_{рс}}\cdot W_{U\to\omega}(p)_{замк}\cdot\frac{1}{p},$$

$$W_{-M_c\to\Theta}(p)=\frac{k_{от}\cdot(a_т\cdot T_\mu\cdot p+1)}{k\cdot\phi\cdot W(p)_{рс}}\cdot\frac{1/k_{ос}}{a_с\cdot a_т\cdot T_\mu\cdot p\cdot(a_т\cdot T_\mu\cdot p+1)+1}\cdot\frac{1}{p} \qquad (2)$$

Передаточная функция суммарной ошибки по управлению для замкн у-той системы определяется по формуле:

$$\Delta\Theta(p)=\frac{\Theta_з(p)+M_c(p)\cdot W_{-M_c\to\Theta}(p)}{1+W_{\Theta_з\to\Theta}(p)_{раз}}. \qquad (3)$$

Данная формула поможет определить динамическую ошибку.

Далее необходимо (1) и (2) подставить в формулу (3):

$$\Delta\Theta(p)=\frac{\Theta_з(p)+M_c(p)\cdot\frac{k_{от}\cdot(a_т\cdot T_\mu\cdot p+1)}{k\cdot\phi\cdot W(p)_{рс}}\cdot\frac{1/k_{ос}}{a_с\cdot a_т\cdot T_\mu\cdot p\cdot(a_т\cdot T_\mu\cdot p+1)+1}\cdot\frac{1}{p}}{1+\frac{1/k_{оп}}{a_п\cdot a_с\cdot a_т\cdot T_\mu\cdot p\cdot(a_с\cdot a_т\cdot T_\mu\cdot p+1)}}.$$

$W(p)_{рс}=\frac{T_м\cdot к\cdot\phi\cdot k_{от}}{a_с\cdot a_т\cdot T_\mu\cdot k_{ос}\cdot R_я}=k_{рс}$ – при настройке КРС на модульный оптимум.

При постоянной нагрузке и задающем сигнале динамическая ошибка зависит только от нагрузки.

Статическая ошибка может быть получена при p=0: $\Delta\Theta = \frac{M_c \cdot k_{от}}{k \cdot ф \cdot k_{рс}}$.

При $k_{рп} \neq 1$ статическая ошибка $\Delta\Theta = \frac{M_c \cdot k_{от}}{k \cdot ф \cdot k_{рс} \cdot k_{рп}}$.

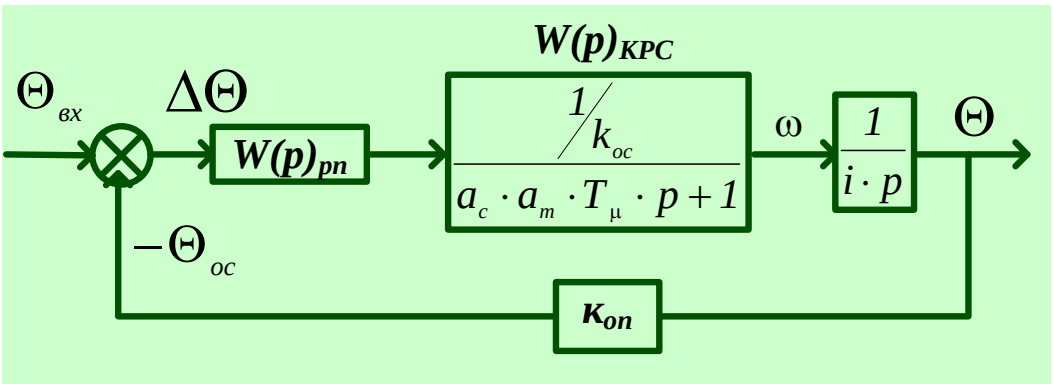
Кроме того, ошибки в схеме

по каналу управления составит: $\Delta\Theta_{упр} = \frac{\omega}{k_{КРП}} = \frac{\omega}{1/a_п \cdot a_\omega \cdot a_i \cdot T_\mu}$,

а по каналу момента нагрузки: $\Delta\Theta_{нагр} = \frac{M_c}{k_{КРП} \cdot \beta_{замкн}}$.

Уменьшение ошибок следящего ЭП с П - регулятором достигается наименьшими по критериям качества коэффициентов a_n, a_ω, a_i.

Синтез следящего ЭП



Передаточная функция объекта регулирования:

$$W(p)_{ор} = \frac{1/k_{ос}}{a_с \cdot a_т \cdot T_\mu \cdot p + 1} \cdot \frac{1}{i \cdot p} = \frac{1/k_{ос}}{4 \cdot T_\mu \cdot p + 1} \cdot \frac{1}{i \cdot p}.$$

Передаточная функция с учетом неединичной обратной связи при отсу т-

ствии фильтра на входе: $W(p)_{CO} = \dfrac{1/k_{оп} \cdot (4 \cdot T_{\mu п} \cdot p + 1)}{a_п \cdot T_{\mu п}^{\,2} \cdot p^2 (T_{\mu п} \cdot p + 1)}$.

Некомпенсируемая постоянная времени для конт ура положения:

$T_{\mu п} = a_с \cdot a_т \cdot T_\mu = 2 \cdot 2 \cdot T_\mu = 4 \cdot T_\mu$.

Тогда: $W(p)_{CO} = \dfrac{1/k_{оп} \cdot (4 \cdot 4 \cdot T_\mu \cdot p + 1)}{8 \cdot 16 \cdot T_{\mu п}^{\,2} \cdot p^2 (4 \cdot T_\mu \cdot p + 1)} = \dfrac{1/k_{оп} \cdot (16 \cdot T_\mu \cdot p + 1)}{128 \cdot T_{\mu п}^{\,2} \cdot p^2 (4 \cdot T_\mu \cdot p + 1)}$

Передаточная функция регулятора положения:

$$W(p)_{рп} = \frac{W(p)_{CO}}{W(p)_{ОР}} = \frac{1/k_{оп} \cdot (16 \cdot T_\mu \cdot p + 1)}{128 \cdot T_\mu^{\,2} \cdot p^2 (4 \cdot T_\mu \cdot p + 1)} \cdot \frac{(4 \cdot T_\mu \cdot p + 1) \cdot i \cdot p}{1/k_{ос}}$$

Окончательно $W(p)_{рп} = \dfrac{k_{ос} \cdot i \cdot (16 \cdot T_\mu \cdot p + 1)}{128 \cdot T_\mu^{\,2} \cdot p \cdot k_{оп}} = k_{рп} + \dfrac{1}{T_и \cdot p}$.

Постоянная интегрирования ПИ – регулятора положения: $T_и = \dfrac{128 \cdot T_\mu^{\,2} \cdot k_{оп}}{k_{ос} \cdot i}$,

а коэффициент усиления $k_{рп} = \dfrac{16 \cdot T_\mu}{T_и} = \dfrac{16 \cdot T_\mu \cdot k_{ос} \cdot i}{128 \cdot T_\mu^{\,2} \cdot k_{оп}} = \dfrac{k_{ос} \cdot i}{8 \cdot T_\mu \cdot k_{оп}}$.

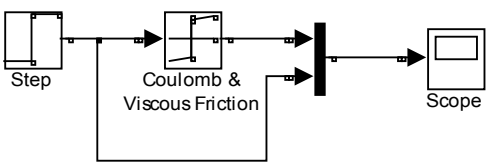
Компенсация влияние сухого трения на работу следящего ЭП

На работу следящего ЭП оказывает влияние сухого трения и зазоры. Это объясняется тем, что следящий ЭП работ ает со знакопеременной н а-грузкой и зачастую на низких скоростях.

Момент сухого трения определяется: $M_{тр} = M_{тро} \cdot \mathrm{sign}\omega$.

Момент сухого трения учитывается бл оком с релейной характерист и-

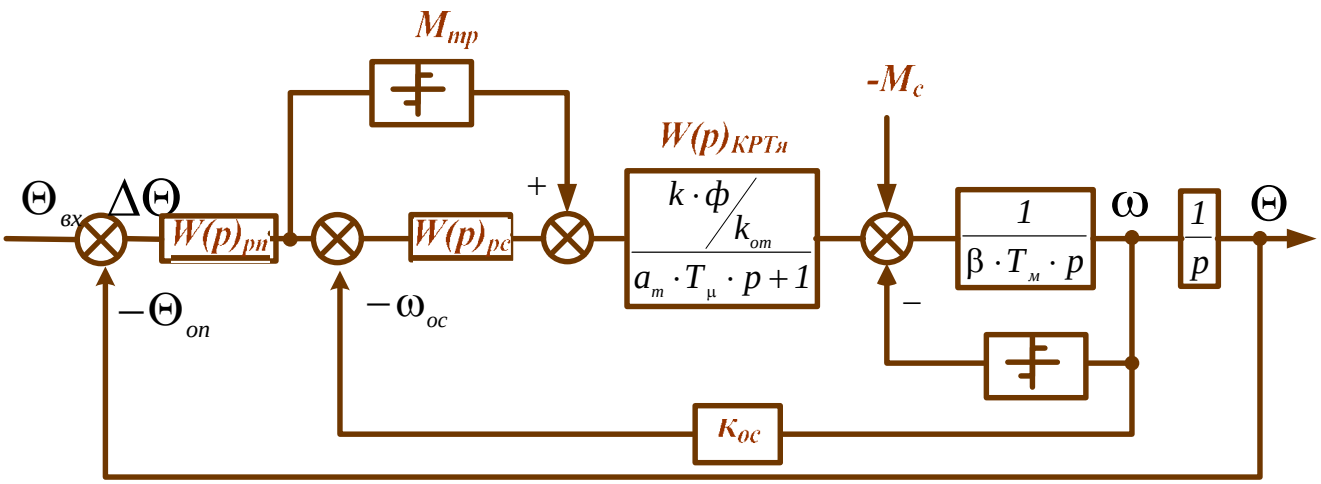
кой.



При наличии сухого трения снижаются точность слежения увеличив а-ются длительность переходных процессов.

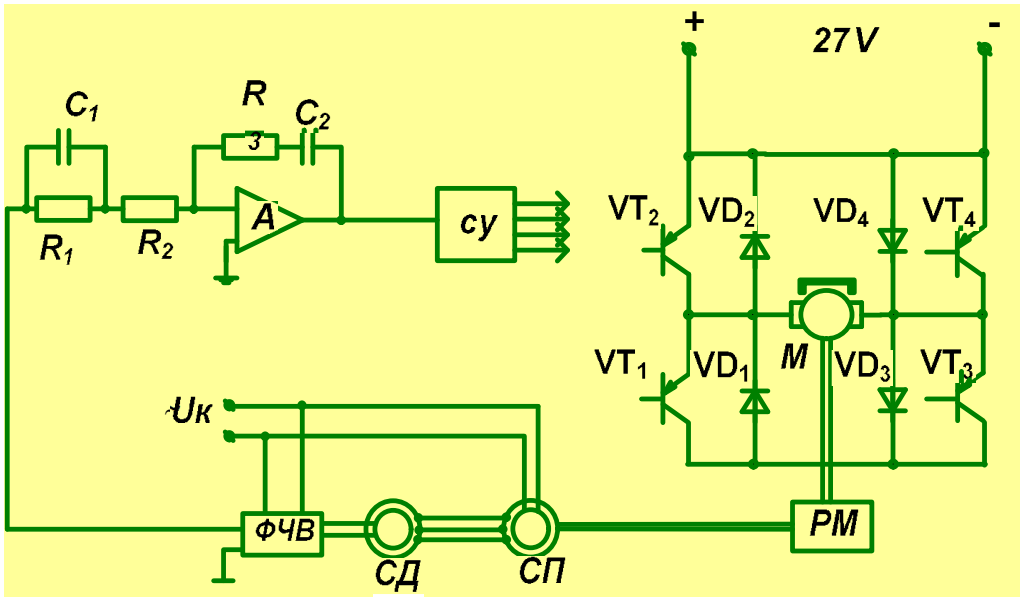
Если $M<M_{тр}$, то двигатель неподвижен. Однако рассогласование $\Delta\Theta\neq0$. Под действием $\Delta\Theta$ $U_{рп}$, $U_{рс}$, $U_{рт}$ изменяются. Это приводит к росту $I_я$. Когда M достигнет $M_{тр}$ двигатель начнет вращаться, уменьшая $\Delta\Theta$. В момент вре-мени, когда рассогласование $\Delta\Theta=0$, но уже ω и $I_я$ отличны от нуля. Когда знак рассогласования изменяется, двигатель начинает то рмозится, $I_я\downarrow$. Ко-гда $I_я<I_{тр}$ двигатель остановится $\omega=0$. Далее процесс повторяется при др у-гом знаке скорости.

Схема с компенсацией сухого трения



Контур регулирования тока обладает высоким быстродействием, п о-этому положительная обратная связь включена на вход регулятора тока. П о-явление на выходе любого напряжения приводит к появлению на входе на регулятор тока сигнала $\equiv M_{тр}$. Момент двигателя $M=M_{тр}$. Тем самым дости-гается компенсация сухого трения.

Высокоточный следящий ЭП



РМ – рабочий механизм; ФЧВ – фазочувствительный выпрямитель преобразует переменное напряжение в постоянное соответствующей полярности;

СД, СП– сельсин-датчик, сельсин-приемник измеряют угол рассогласования между задающим и исполнительным валами.

Транзисторный широтно-импульсный преобразователь выполнен по мостовой схеме. Отделительные диоды предназначены для устранения коммутационных напряжений в коллекторных цепях транзистора.

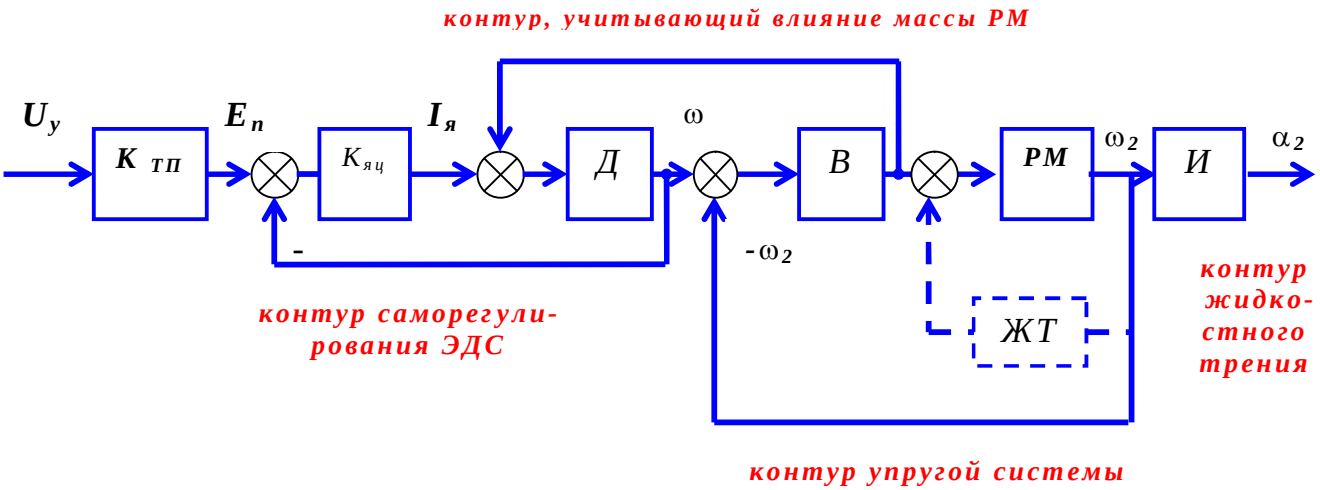
Частота коммутирующего напряжения ($U_к$) выбирается 500 Гц и выше для обеспечения фильтрации выпрямленного напряжения на выходе ФЧВ.

Регулятор положения по типу ПИД (пропорционально-интегрально-дифференциальный).

В данной схеме используется малоинерционный двигатель, получающий питание от безынерционного преобразователя, то существенно увеличивается частота среза настраиваемого контура. Постоянные времени в уп-

ругих элементах будут оказывать существенное влияние на динамику, по-этому их обязательно учитывать.

Структурная схема ЭП



В–вал; РМ–рабочая машина; И–интегратор; ЖТ–звено жидкостного трения.

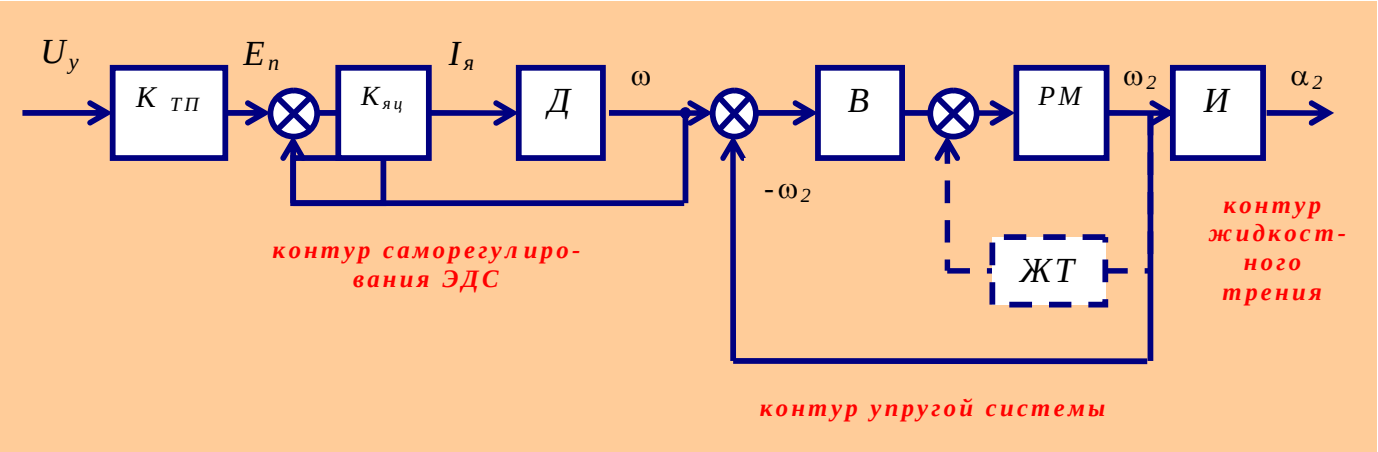
Схема содержит три замкнутых регулирования:

1) контур саморегулирования ЭДС в двигателе учитывает статические и динамические свойства двигателя;

2) контур упругой системы учитывает характер изменения ω_2 выходного вала рабочей машины, когда РМ присоединена к двигателю через упругий элемент – вал. Контур жидкостного трения учитывает влияние действия сил вязкого трения.

3) контур, учитывающий влияние присоединенной через упругий вал В массы РМ на загрузку двигателя.

Если пренебречь влиянием на загрузку двигателя $M_{упр}$, то структурная схема примет вид.



Передаточная функция контура упругой системы:

$$W(p)_{упр} = \frac{W_В(p) \cdot W_{РМ}(p)}{1 + W_В(p) \cdot W_{РМ}(p)} = \frac{1}{1 + T_В \cdot T_{РМ} \cdot p^2 + T_В \cdot p}$$ соответствует колебательному звену, имеющему частоту собственных незатухающих колебаний:

$$\Omega = \sqrt{\frac{1}{T_В \cdot T_{РМ}}}.$$

В реальных системах упругие колебания происходят с затуханием, что объясняется наличием звена жидкостного трения.

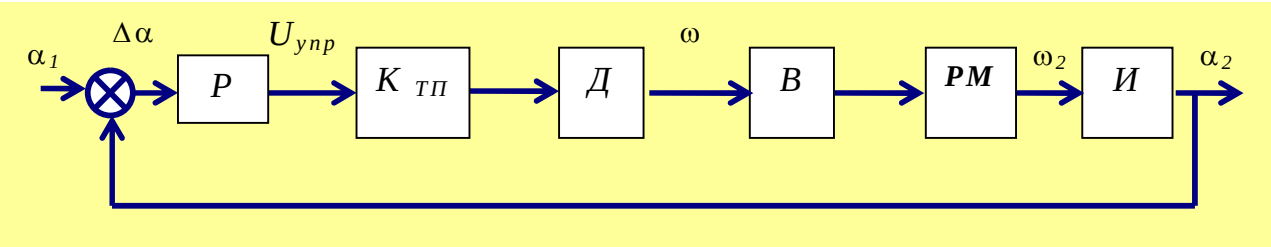
Передаточная функция контура упругой системы при учете зв ена жидкостного трения: $$W(p)_{упр} = \frac{1}{1 + T_В \cdot T_{РМ} \cdot p^2 + K_{ЖТ} \cdot T_В \cdot p}$$ соответствует колебательному звену с коэффициентом демпфирования: $$\xi = \frac{K_{ЖТ}}{2} \cdot \sqrt{\frac{T_В}{T_{РМ}}}.$$

Для общепромышленных механизмов ξ=0,05…0,2.

Так как контур является колебательным звеном, то условия устойчивости ухудшаются. Степень колебательности можно понизить, если увеличить $K_{ЖТ}$. Это наиболее очевидный путь демпфирования колебаний, однако, он

требует применения специальных демпферов гидравлического или пневматического типа, что усложняет установку.

Выбор регулятор положения



Желаемую передаточную функцию разомкнутого контура положения можно аппроксимировать и записать в виде:

$W(p)_{КРП} = \frac{1}{T_{КРП} \cdot p}$, где $T_{КРП}$ – постоянная времени контура регулирования положения.

Передаточная функция объекта регулирования:

$$W(p)_{ор} = W(p)_{ТП} \cdot W(p)_{Д} \cdot W(p)_{В} \cdot W(p)_{РМ} \cdot W(p)_{И}$$

Учитывая, что $W(p)_{И} = 1/p$ передаточная функция регулятора положения определится: $W(p)_{РП} = \frac{1/T_{КРП}}{W(p)_{ТП} \cdot W(p)_{Д} \cdot W(p)_{В} \cdot W(p)_{РМ}}$.

То есть передаточная функция регулятора положения должна быть обратной передаточным функциям звеньев ТП, Д, В, РМ. Так как эти звенья содержат инерционности, поэтому регулятор положения должен иметь дифференцирующие каналы. В данном случае используется ПИД-регулятор.