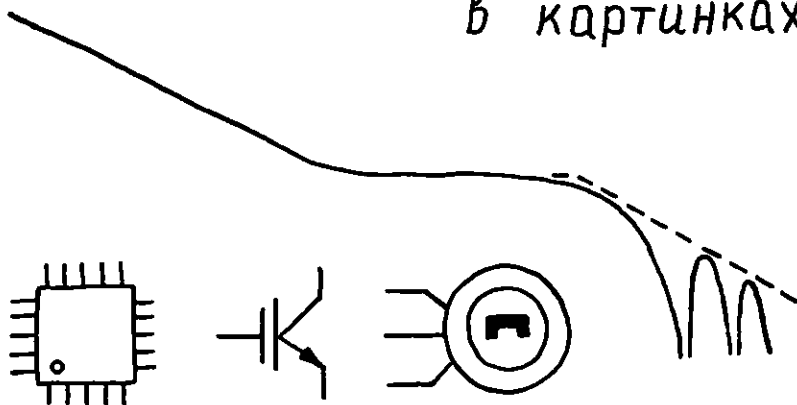


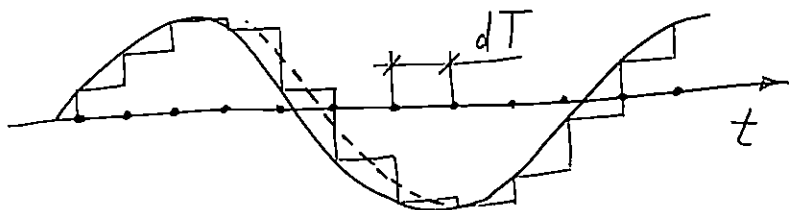
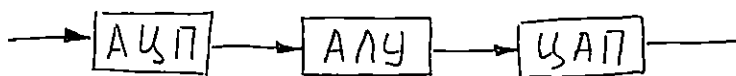
Клиначев Н.В.

Настройка цифровых  
систем управления  
электропривода  
в картинках



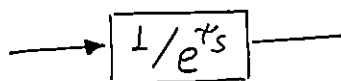
2017.05.09

# Частотная характеристика ЦВМ

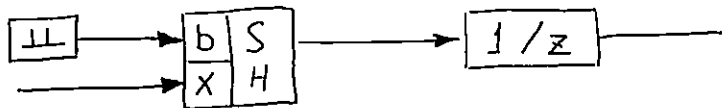


сдвиг (задержка) на  $\frac{dT}{2}$

Звено чистого запаздывания



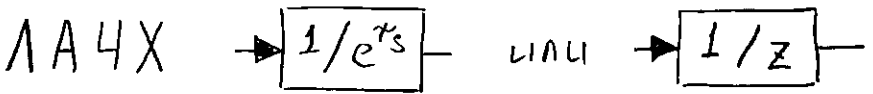
или



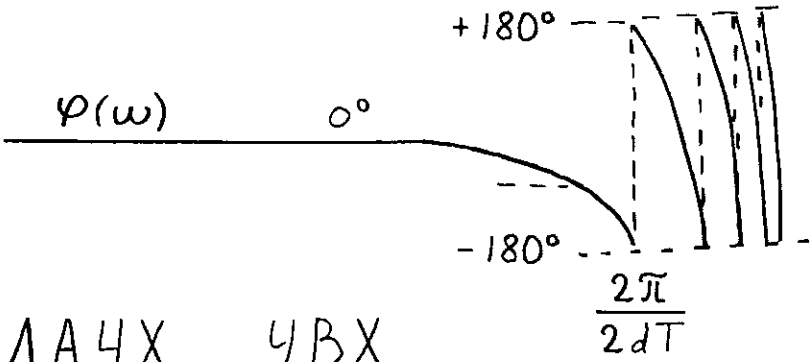
Устройство  
Выборки - хранения

Регистр  
задержки

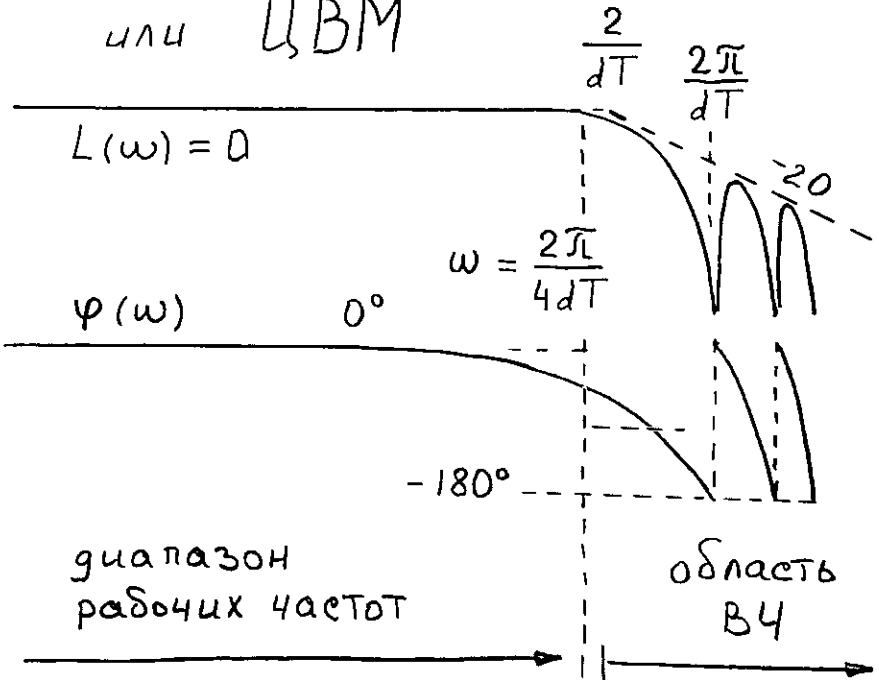
Пример  $W(z)_{АЛУ} = 1$



$L(\omega) = 0$



$\Lambda A \text{ ЧХ}$   $\text{УВХ}$   
 $\text{иЛИ}$   $\text{ЦВМ}$



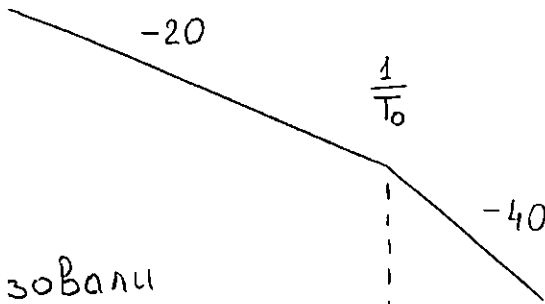
Вариации  $\Lambda A \text{ ЧХ}$  усреднены

# Выводы

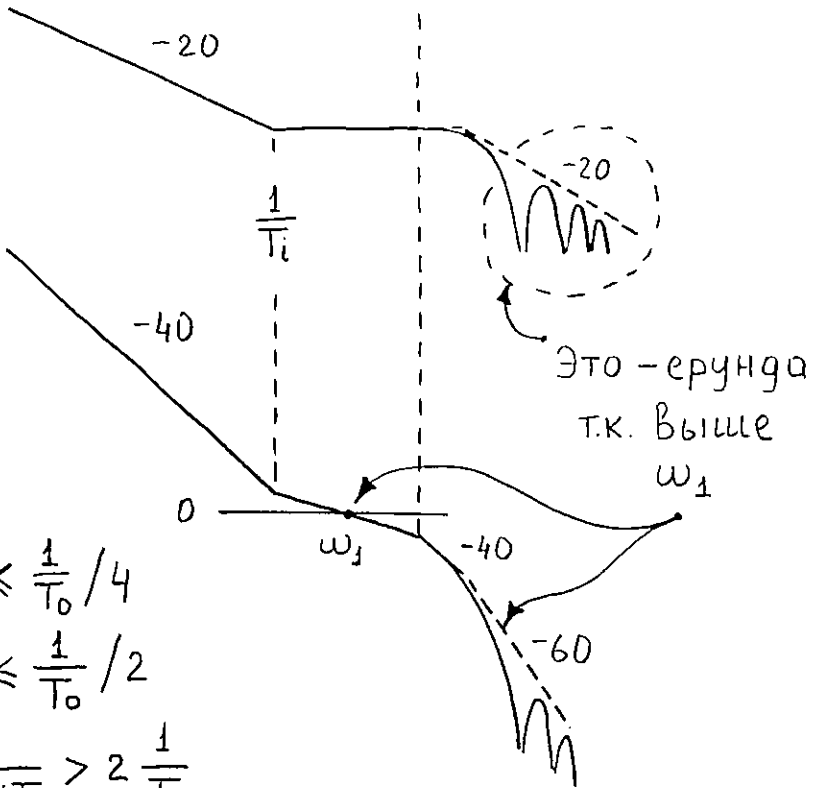
- ① Цифровую систему управления, у которой АЛУ пропускает сигнал без преобразования, можно заменить аperiodическим звеном 1-ого порядка с постоянной времени  $T = 0,636 dT$
- ② Дискретные св-ва ЦВМ не будут оказывать влияния на реализуемую передаточную функцию до частоты  $\omega = \frac{1}{0,636 dT}$
- ③ Не существует цифровых САР, у которых коэффициент передачи разомкнутого контура на частоте  $\omega = \frac{1}{0,636 dT}$  был бы  $> 1$

# Пример

Для объекта



Реализовали регулятор

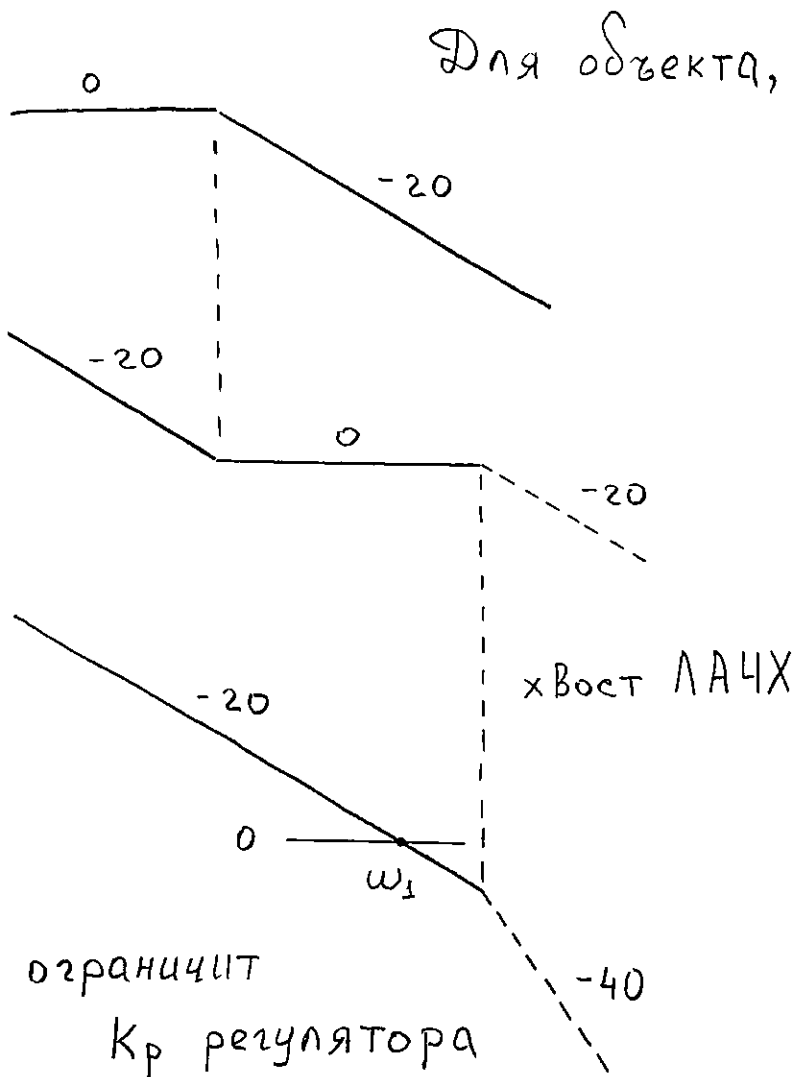


$$\frac{1}{T_i} \leq \frac{1}{T_0} / 4$$

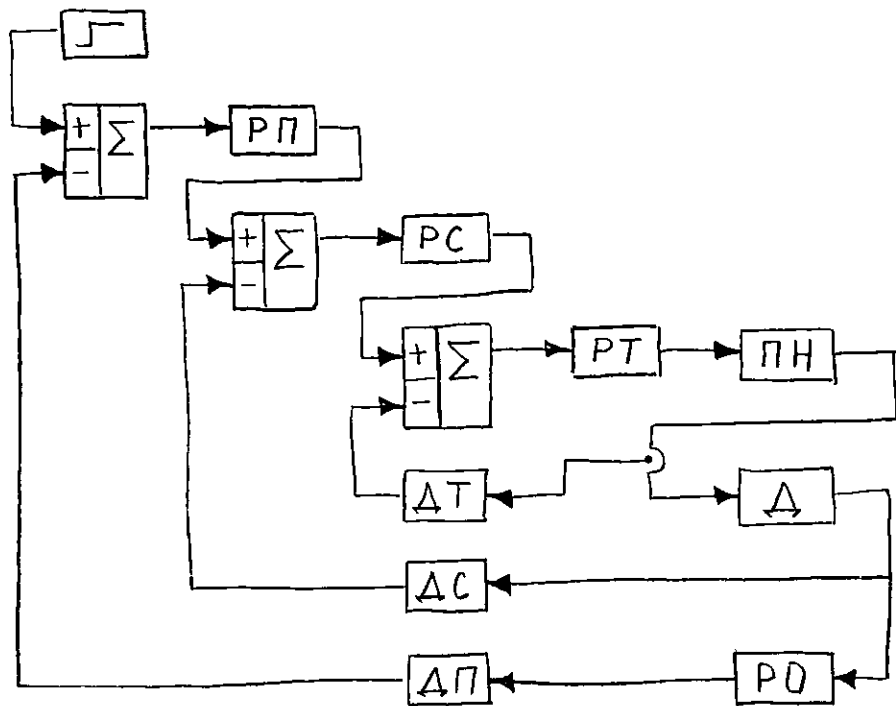
$$\omega_1 \leq \frac{1}{T_0} / 2$$

$$\frac{1}{0,6 dT} > 2 \frac{1}{T_0}$$

Зачем учитывать ерцуду -  
хвост ЛАЧХ ЦВМ?



# Настройка ЦСУ для электропривода по ЛАЧХ



РП - регулятор положения

РС - регулятор скорости

РТ - регулятор тока

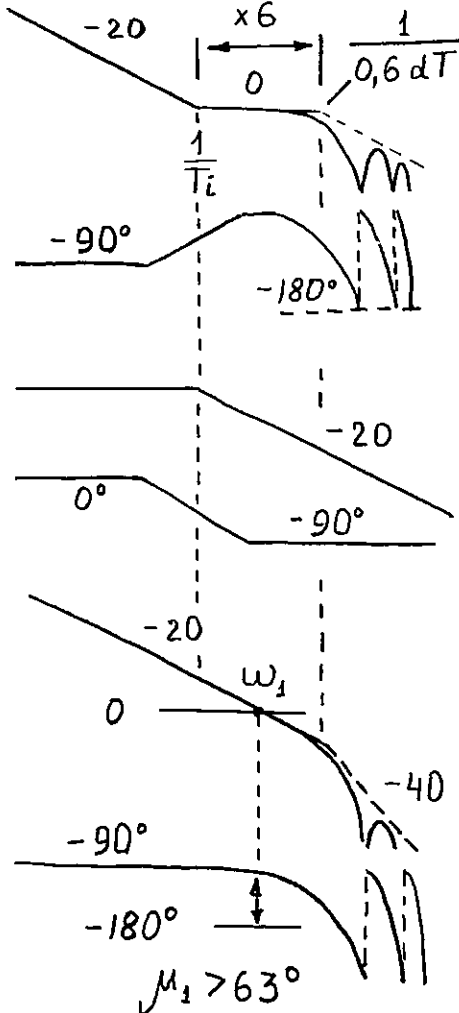
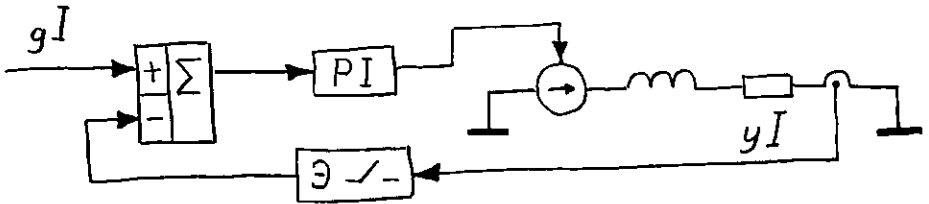
ПН - преобразователь напряж.

РО - рабочий орган

Далее  $K_{ДТ} = K_{ДС} = K_{ДП} = K_{ПН} = 1$

# Контур тока

Клиначев Н.В.



ЛАЧХ

дискретного

PI - регулятора

ЛАЧХ

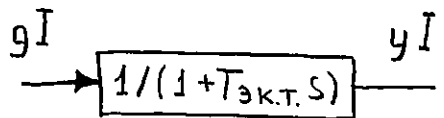
обмотки якоря

$T_{\text{я}} = T_i$

//

Блок-сх. замкн.

САР тока ДПТ

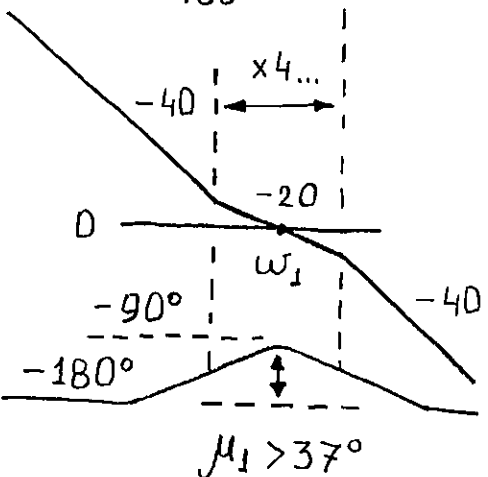
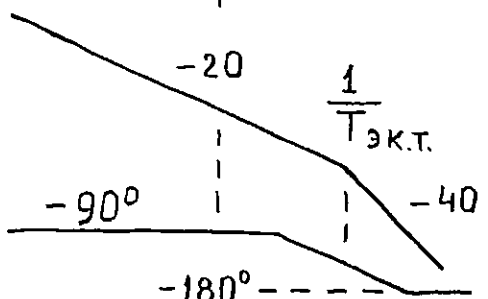
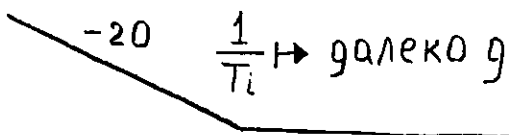
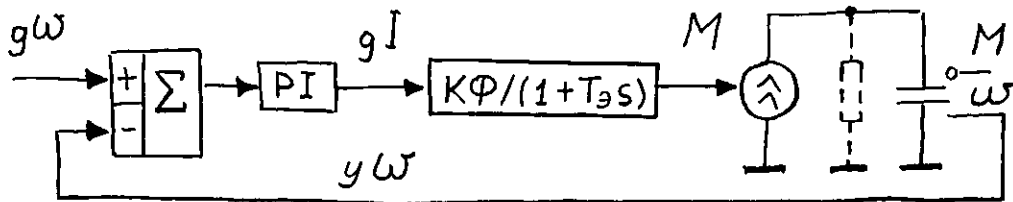


$$\omega_1 = \frac{1}{T_{\text{э.к.т.}}} = \frac{1}{2 \cdot 0,6 \cdot dT}$$



# Контур скорости

# Клиначев НВ



ЛАЧХ z-PI

$$T_i \geq 4 T_{\text{эк.т.}}$$

ЛАЧХ при вводе  
(контур Iя +  
+ ДПТ + РО)

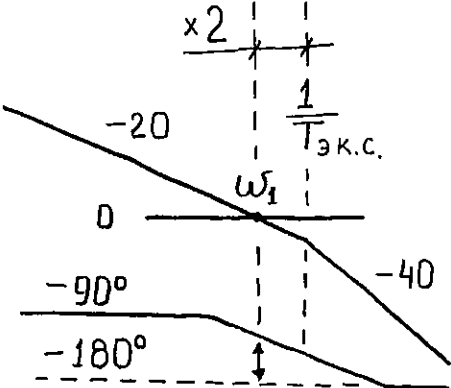
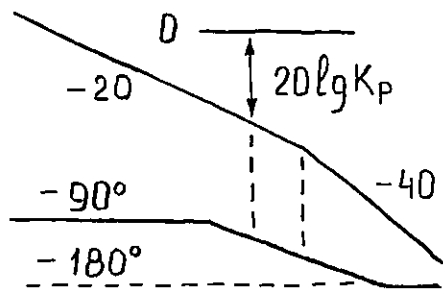
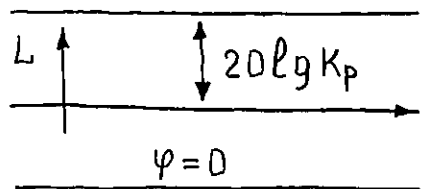
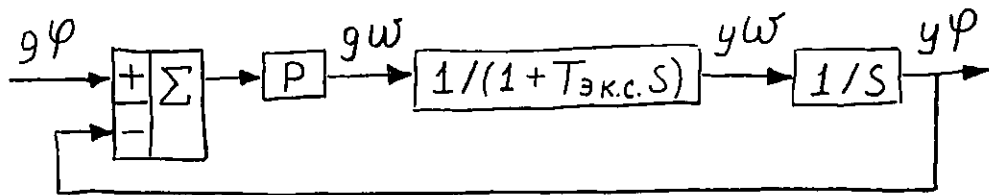
// Блок-сх. замкн.

САР скорости



$$T_{\text{эк.с.}} \geq 2 T_{\text{эк.т.}} \geq 4 \cdot 0,6dT$$

# Кантур положения Клиначев НВ



ЛАЧХ Р-регулятора  
(или параболического)

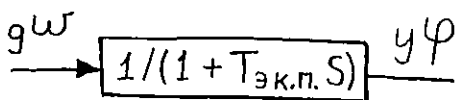
ЛАЧХ объекта

$$\omega_0 = \Phi_{\text{САРСК}} \cdot \frac{1}{S} \doteq \frac{y\varphi}{g\omega}$$

ЛАЧХ разомкн. сист.

$$\omega_1 \leq \frac{1}{T_{\text{э.к.с.}}} / 2$$

Блок-сх. замкн.  
САР полож. РО




$$\mu_1 > 63^\circ \quad T_{\text{э.к.п.}} \geq 2T_{\text{э.к.с.}} \geq 4T_{\text{э.к.т.}} \geq 8 \cdot 0,6 \cdot dT$$


Ну хорошо, понятно, заговор  
лишь в том, что каждую  
следующую постоянную  
Времени нужно выбирать  
в 2..3 раза больше

А как выбрать  $dT$  и  $T_{э.к.т.}$ ?

# Выбираем dT

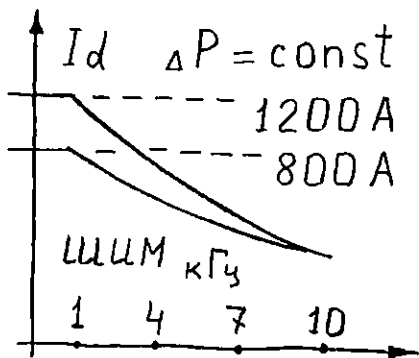
①  $dT \geq 25 \text{ мкс}$  — время исполнения сложной программы ARM 150 МГц

②  $1/dT = 40 \text{ кГц}$  — I ♥ my   
MOSFET < 100 В < 20 А

③  $1/dT = 22 \text{ кГц}$  — не свистит :-)  
SiC  > 100 В > 20 А

④  $1/dT \leq 12 \text{ кГц}$   
IGBT 1200 В

$1/dT \leq 8 \text{ кГц}$   $\Leftarrow$   
IGBT 1700 В  $\rightarrow$



⑤  $dT \leq \frac{1}{18 \cdot 25 \cdot f_m I_s}$  если без датчика  
18 — модели  
25 — практика

11..15 точек на период — с датчиком

## Выбираем $T_{\text{эк.т.}}$

Всегда следует стремиться к максимальному быстродействию контура тока

$$\omega_1 = \frac{1}{T_{\text{эк.т.}}} = \frac{1}{2 \cdot 0,6 \, dT}$$

Есть лишь одна причина понизить

$$K_{\text{к.т. max}} = T_{\text{я}} / dT - 0,5 \approx \frac{T_{\text{я}}}{2 \cdot 0,6 \, dT}$$

— это шум в контуре тока

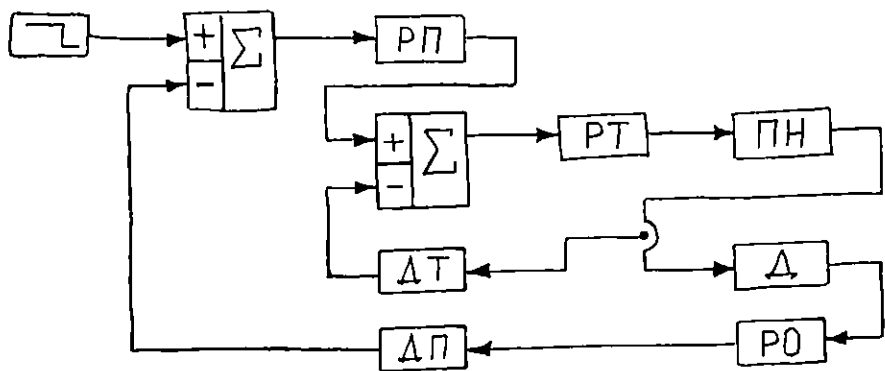
$$K_{\text{к.т.}} \downarrow \text{ в } 2 \text{ раза} \quad \text{шум} \downarrow \text{ в } \sqrt{2}$$

Расплатитесь вы ёмкостью на шине постоянного тока

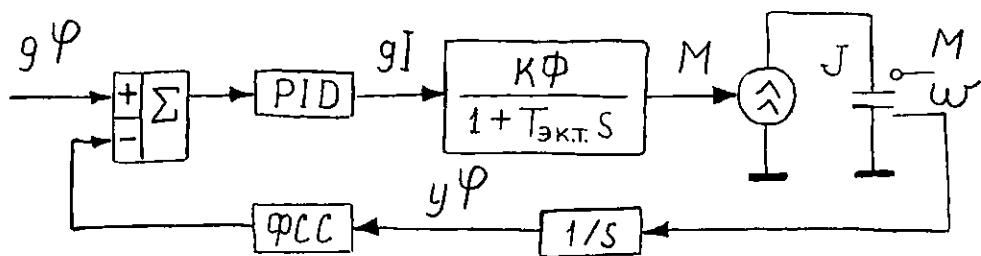
$$R_{\text{торм.}} \cdot C \geq 2 \cdot T_{\text{эк.т.}}$$

$$\text{И ещё раз: } T_{\text{эк.т.}} = \frac{T_{\text{я}}}{1 + K_{\text{к.т.}}}$$

# Настройка следящего привода для малых перемещений



Если перемещение мало или ползущие режимы, то скорость  $\rightarrow 0$ .  
 Датчиков малых скоростей нет.  $\Rightarrow$   
 Нет в приводе контура скорости.  
 $\Rightarrow$  Требуется PID-регулятор.  
 D-канал - это шум.  $\Rightarrow$  Нужен ФСС.



# Контур положения

ЛАЧХ

МОМЕНТНОГО  
привода

$$W_{мп} = \Phi_{к.т.} \cdot \frac{кф}{J S} \doteq \frac{\omega}{g I}$$

+ ЛАЧХ датчика  
(Вычислителя  
положения)

$$W_0 = W_{мп} \cdot \frac{1}{S} \doteq \frac{y \varphi}{g I}$$

ЛАЧХ z-PID

или PD+PI без  
интегрального  
насыщения

ФСС  $\approx$  ЦВМ

В полосе  $L \approx \varphi \approx 0$

ЛАЧХ разомк.  
следящей сист.

