

Синтез цифровой системы автоматического регулирования угловой скорости электродвигателя

Цель работы

Техническая цель работы: практическое освоение принципов дискретно-цифрового автоматического управления непрерывным объектом.

Для этой цели необходимо разработать систему автоматического регулирования угловой скорости электродвигателя постоянного тока с применением принципа цифрового регулирования с помощью ЭВМ.

Алгоритм цифрового регулятора реализуется в управляющем вычислительном комплексе (УВК - микро ЭВМ, АЦП, ЦАП).

2. Учебное задание

а) Разработка математической модели по функциональной и принципиальной схемам системы.

б) Ознакомление с методикой моделирования цифровых систем и разработка технологического процесса ее реализации.

в) Составления структурной схемы моделирования САР в среде ПК "МВТУ".

г) Моделирование переходных процессов.

д) Оптимизации параметров регулятора воспользуемся процедурой оптимизации параметров САР, предусмотренной в ПК «МВТУ».

е) Замена непрерывного регулятора дискретным в VisSim'е:

- определение алгоритма работы цифрового регулятора

- построение модели алгоритма цифрового регулятора в VisSim'е

В качестве инструментария при моделировании использовать программные комплексы моделирования в технических устройствах ПК МВТУ и VisSim.

Математическая модель непрерывной части системы

Принципиальная схема цифровой САР угловой скорости электродвигателя постоянного тока:

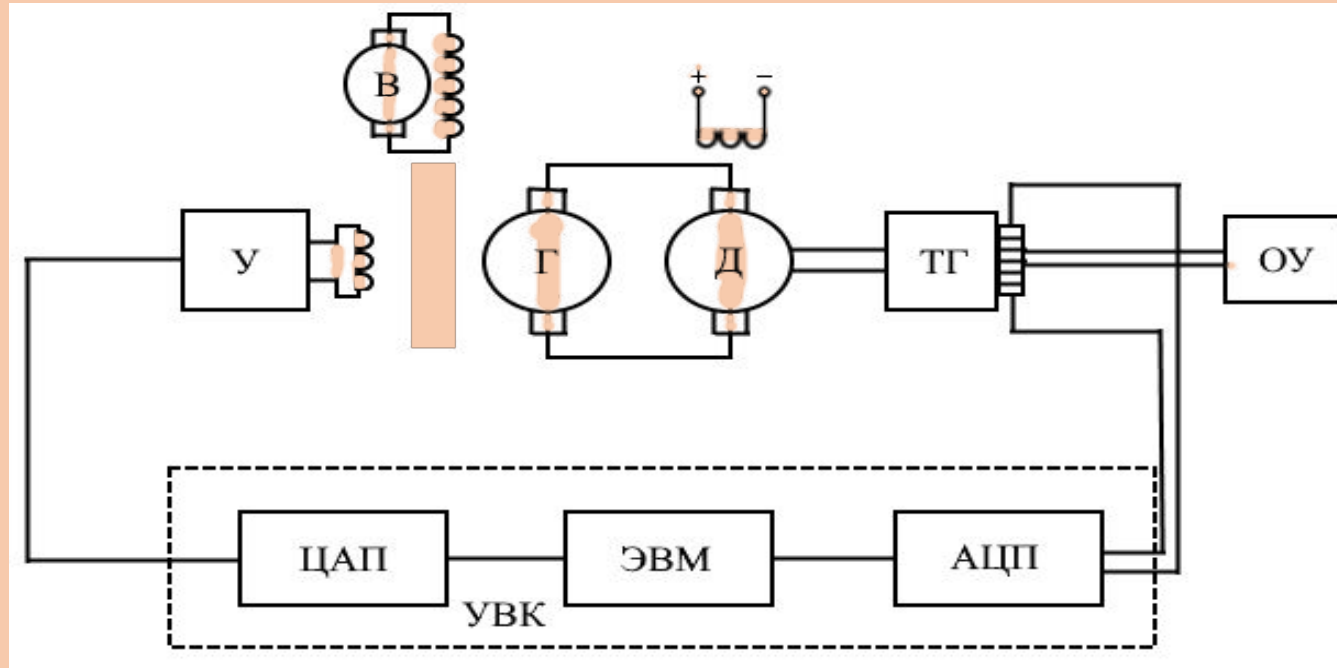


Рис. 1 Принципиальная схема цифровой САР угловой скорости электродвигателя постоянного тока

где: УВК - (микро ЭВМ, АЦП, ЦАП); У – электронный усилитель; В – возбудитель; Г – генератор; Д – двигатель; ТГ – тахогенератор; ОУ- объект управления.

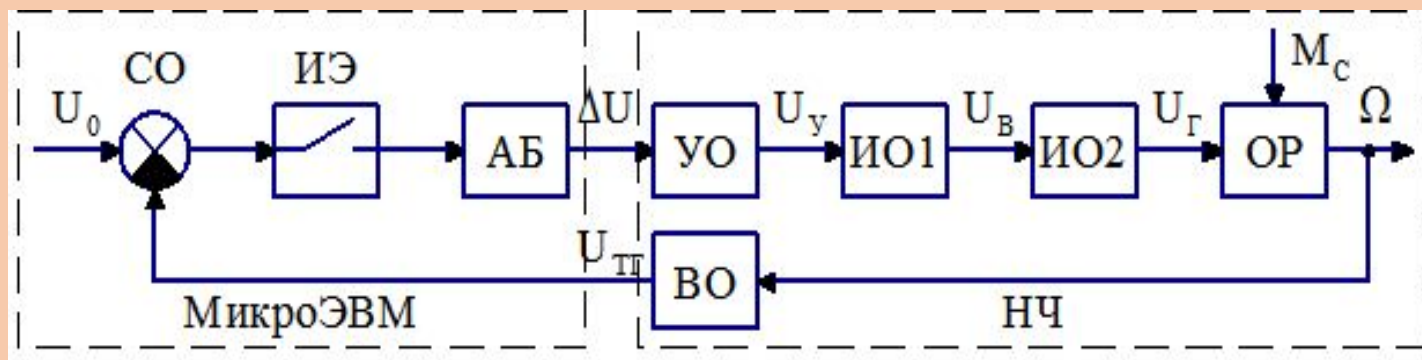


Рис. 2 Функциональная схема цифровой САР
угловой скорости электродвигателя постоянного
тока

Функциональная схема и числовые значения параметров объекта регулирования и элементов системы и передаточные функции непрерывной части системы: ОР (Д) – объект регулирования (двигатель постоянного тока); ВО (T_r) – воспринимающий орган (тахогенератор); СО – сравнивающий орган; ИЭ – импульсный элемент; АБ – алгоритмический блок; УО (У) – усилительный орган (электронный усилитель); ИО1(ОВГ) – исполнительный орган 1 (возбудитель); ИО2 (Г) – исполнительный орган 2 (генератор); НЧ – непрерывная часть системы

Передаточные функции объекта регулирования (двигателя совместно с рабочим механизмом) по регулирующему и задающему воздействиям соответственно

	$k_D=0,25 \text{ рад}/(\text{с}\cdot\text{В})$ – передаточный коэффициент; $T_D=1 \text{ с}$ – постоянная времени; $k_M=0,125 \text{ рад}/(\text{с}\cdot\text{Н}\cdot\text{м})$ – передаточный коэффициент;
--	---

Передаточная функция воспринимающего органа

$W_{\text{ВО}}(p) = k_{\text{ТГ}}$ (3)	$k_{\text{ТГ}} = 1 \text{ В}\cdot\text{с}/\text{рад}$ – передаточный коэффициент.
---	---

Передаточная функция усилительного органа (электронного усилителя)

$W_{\text{УО}}(p) = k_{\text{У}}$ (4)	$k_{\text{У}}=1\dots 10$ – коэффициент усиления усилителя (варьируемый параметр).
--	---

Передаточная функция исполнительного органа 1 (возбудителя)

	$k_B=5$ – передаточный коэффициент; $T_B=0,1 \text{ с}$ – постоянная времени.
--	--

Передаточная функция исполнительного органа 2 (генератора)

	$k_T = 5$ – передаточный коэффициент; $T_T = 0,5$ с – постоянная времени.
--	--

Заданное значение угловой скорости $\Omega = 110$ рад/с, максимальное значение момента сопротивления $M_C = M_{Cmax} = 470$ Н·м.

Передаточную функцию приведенной непрерывной части САП можно записать как

$$W_{\text{ПНЧ}}(p) = W_{\Phi}(p)W_{\text{НЧ}}(p) \quad (1)$$

В этой формуле передаточная функция непрерывной части системы с учетом передаточных функций (1), (3) - (6)

$$\begin{aligned} W_{\text{НЧ}}(p) &= W_{\text{ВО}}(p)W_P(p)W_{\text{ИО2}}(p)W_{\text{ИО1}}(p)W_{\text{УО}}(p) = \\ &= \frac{k_{\text{ТГ}}k_{\text{Д}}k_{\text{Г}}k_{\text{В}}k_{\text{У}}}{(T_{\text{Д}}p+1)(T_{\text{Г}}p+1)(T_{\text{В}}p+1)} = \frac{k_0}{(T_{\text{Д}}p+1)(T_{\text{Г}}p+1)(T_{\text{В}}p+1)}, \end{aligned} \quad (2)$$

где $k_0 = k_{\text{ТГ}}k_{\text{Д}}k_{\text{Г}}k_{\text{В}}k_{\text{У}}$.

С учетом (8) передаточная функция приведенной непрерывной части САП

$$W_{\text{ПНЧ}}(p) = (1 - e^{-pT}) \frac{k_0}{p(T_{\text{Д}}p+1)(T_{\text{Г}}p+1)(T_{\text{В}}p+1)} \quad (3)$$

Исходную САР с микро ЭВМ представляют в виде структурной схемы непрерывной САР (рис. 4). В такой структурной схеме передаточная функция **алгоритмического блока $W_{AB}(p)$** , соответствует необходимому, исходя из требований синтеза САР, закону регулирования, а передаточная функция $e^{-\tau p}$ учитывает запаздывание в системе, обусловленное дискретизацией с периодом квантования T ($\tau=T/2$).

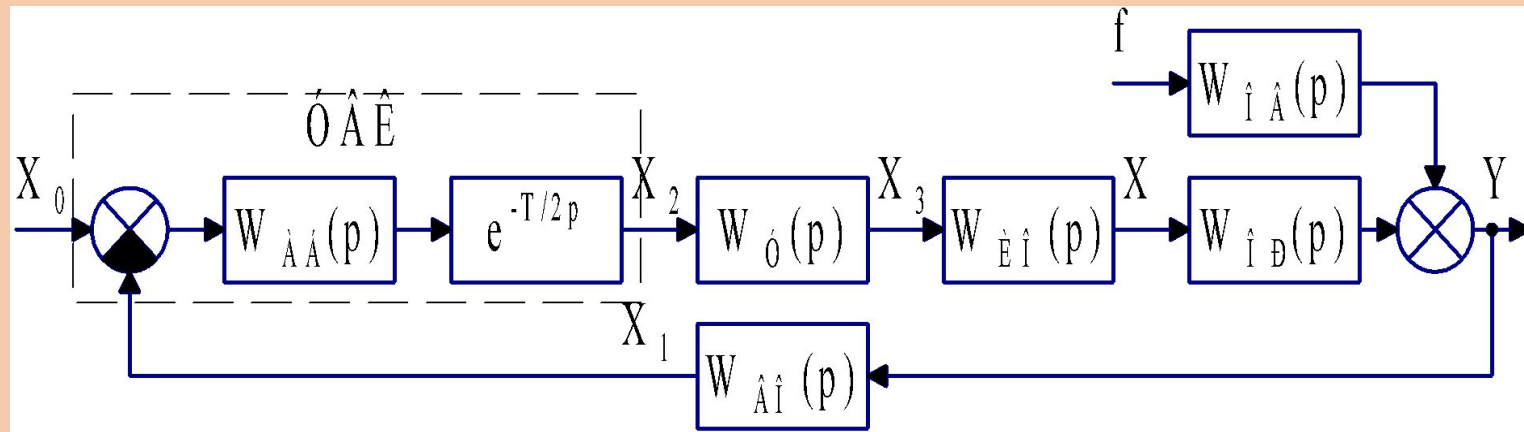
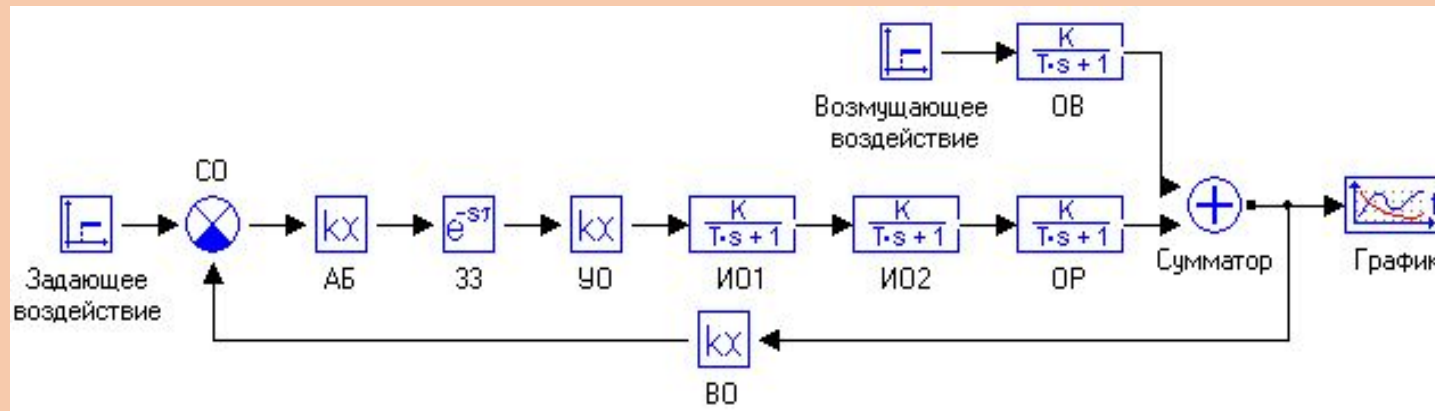
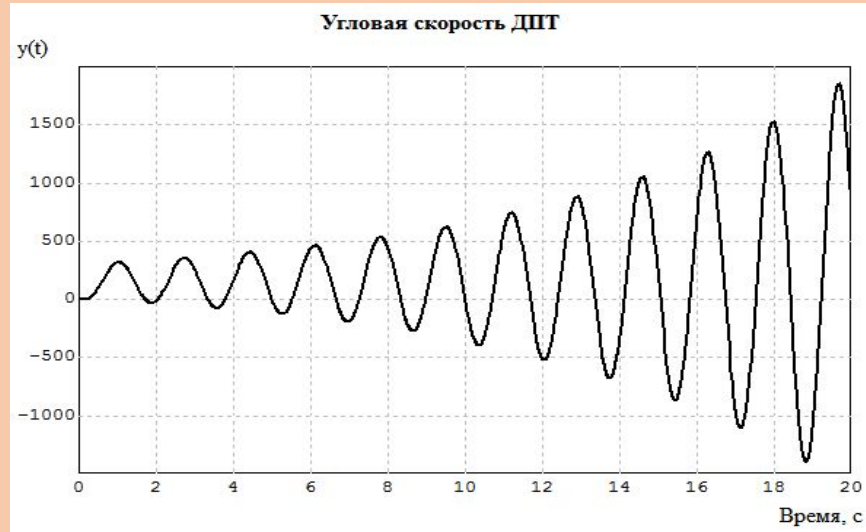


Рис. 3 Непрерывная модель САР с микро ЭВМ

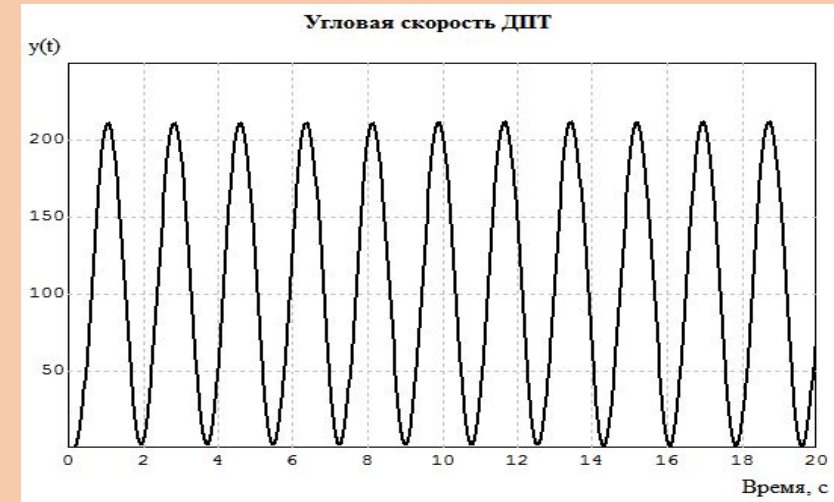


Схемное Окно с введенной структурной схемой САР

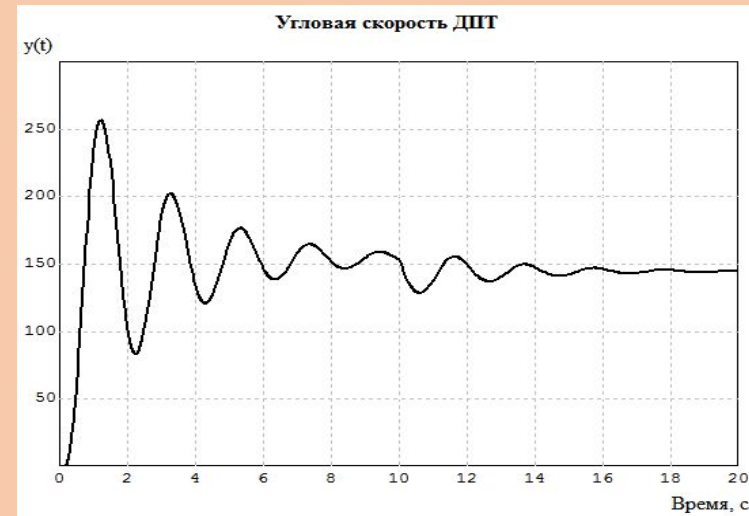
Моделирование переходных процессов линейной САР



Каб =
1

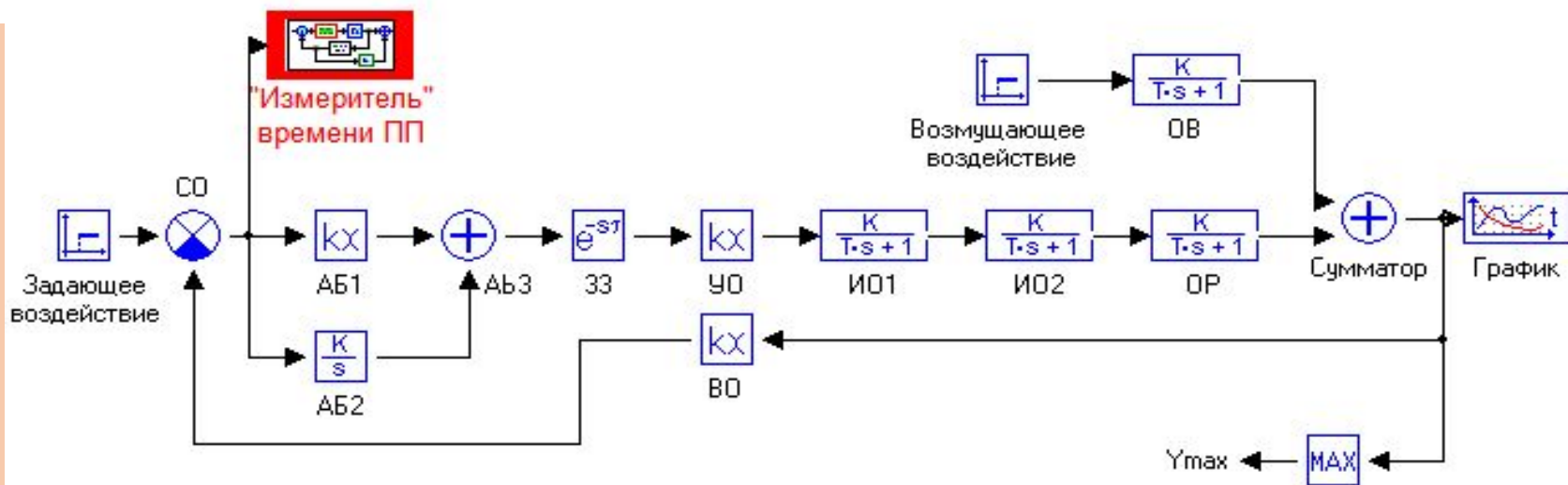
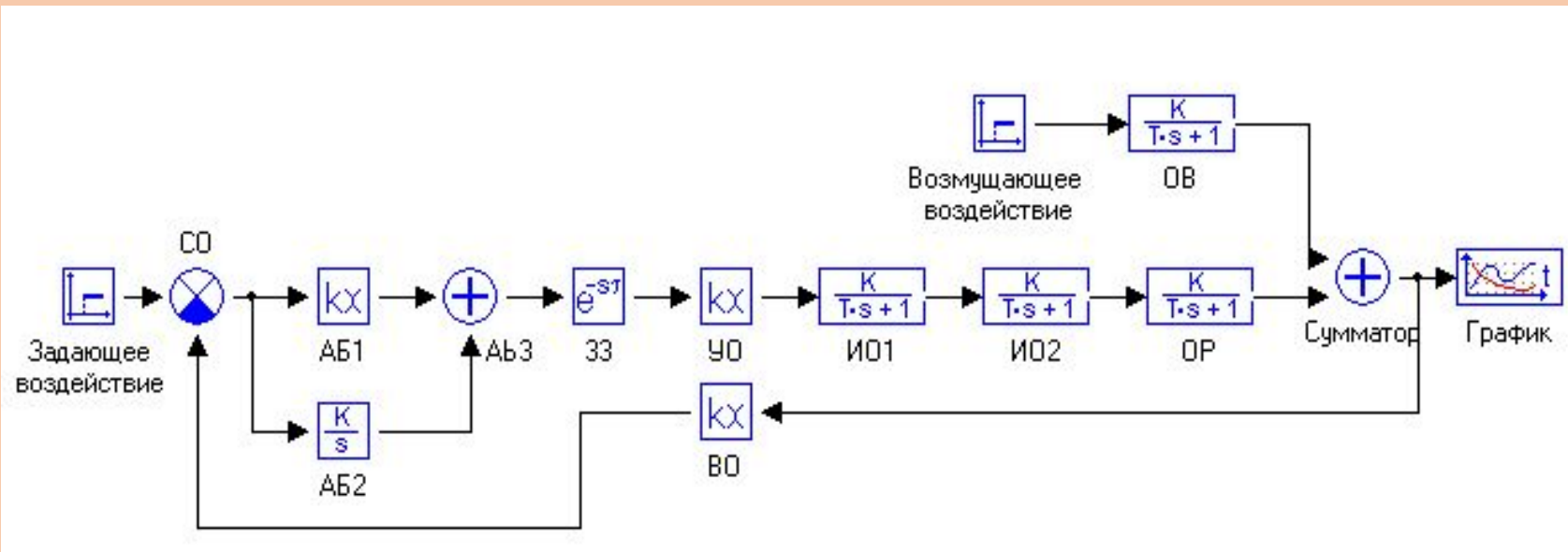


Каб =
0.915



Каб =
0.6

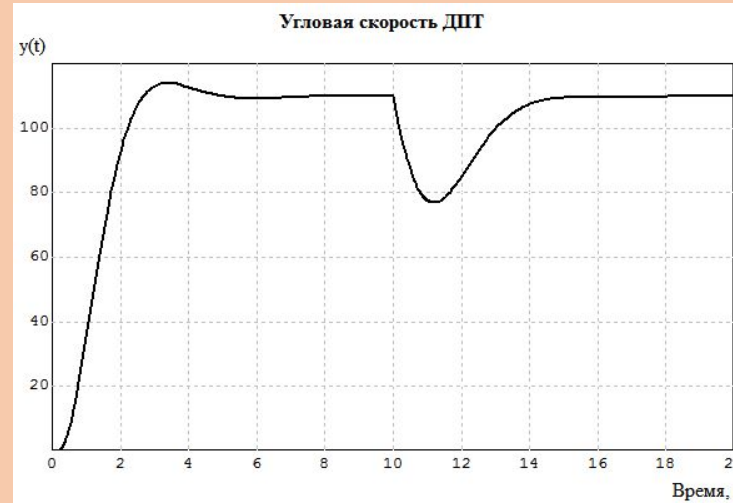
Схемное окно с введенными корректирующими элементами



Структурная схема САР "Синтез оптимального регулятора"

Запускаем задачу на расчет с новыми значениями $k_{ab1}=0,1025$; $k_{ab2}=0,08726$

Запускаем задачу на расчет с новыми значениями k_{ab1} , k_{ab2} при наличии возмущающего воздействия на десятой секунде расчета и убеждаемся, что получившийся переходный процесс соответствует поставленным условиям и ограничениям



Графическое окно с переходным процессом при оптимальных настройках ПИ-регулятора

Моделирование переходных процессов САР с дискретным регулятором

В соответствии с методикой моделирования цифровых систем в среде ПК "МВТУ", используя преобразование Тустена, получим дискретную передаточную функцию оптимального закона регулирования алгоблока $W_{AB}(z)$. В соответствии со структурной схемой моделирования в среде ПК "МВТУ" непрерывной модели исследуемой цифровой САР передаточная функция алгоблока $W_{AB}(p)$, реализующего ПИ-закон регулирования, имеет вид

$$W_{AB}(p) = k_{AB1} + \frac{k_{AB2}}{p}, \quad (4)$$

где k_{AB1} , k_{AB2} – передаточные коэффициенты пропорционального (АБ1) и интегрирующего (АБ2) блоков (**kab1=0,1025; kab2=0,08726**)

Тогда дискретная передаточная функция ПИ-закона регулирования алгоритмического блока в соответствии с преобразованием Тустена будет

$$\begin{aligned} W_{AB}(z) &= W_{AB}(p) \Big|_p = \frac{2}{T} \cdot \frac{z-1}{z+1} = \left(k_{AB1} + \frac{k_{AB2}}{p} \right) \Big|_p = \frac{2}{T} \cdot \frac{z-1}{z+1} = \\ &= k_{AB1} + \frac{k_{AB2}}{\frac{2}{T} \cdot \frac{z-1}{z+1}} \end{aligned} \quad (5)$$

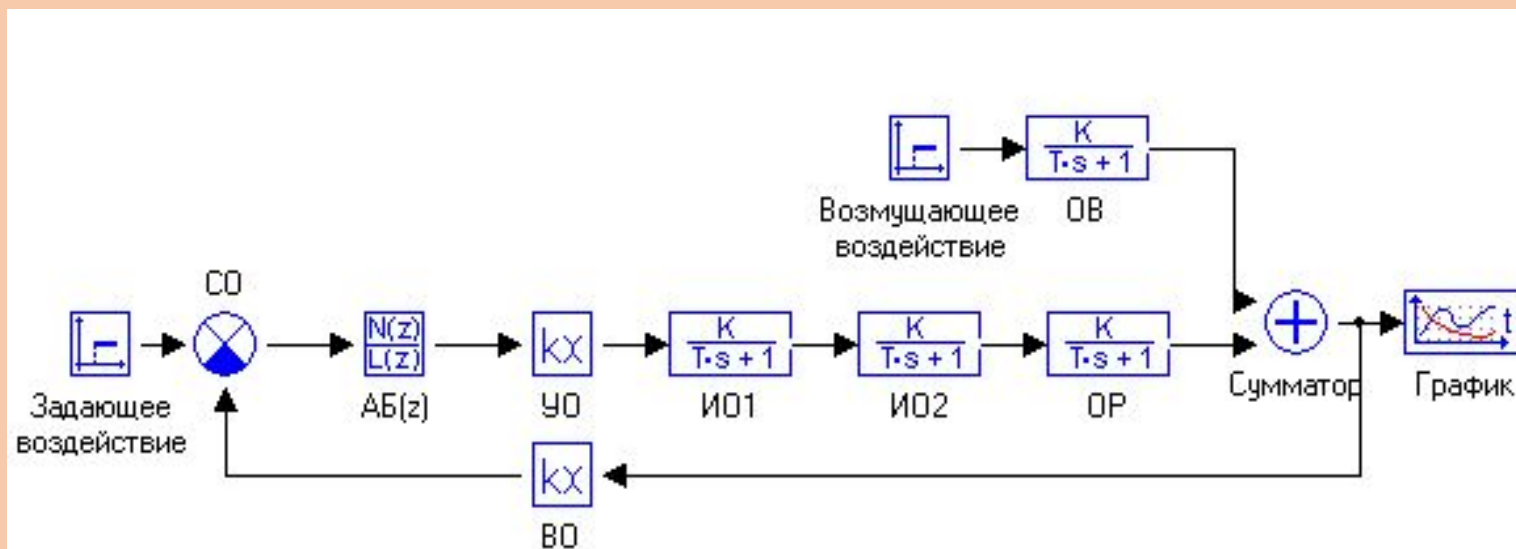
После несложных математических преобразований $W_{AB}(z)$ примет вид

$$W_{AB}(z) = \frac{z(2k_{AB1} + k_{AB2}T) + (-2k_{AB1} + k_{AB2}T)}{2z - 2} \quad (6)$$

Подставив в (12) численные значения периода квантования T и оптимальных передаточных коэффициентов k_{AB1} и k_{AB2} , определенных при параметрической оптимизации настроек ПИ-регулятора, получим

$$W_{AB}(z) = \frac{45.4z - 36.6}{400z - 400}. \quad (7)$$

Теперь моделируем структурную схему непрерывно-дискретной модели исходной цифровой САР с ПИ-регулятором. Для этого заменяем блоки "АБ" и "ЗЗ" в структурной схеме моделирования непрерывной модели, исследуемой САР (рис. 6) одним блоком *Дискретная передаточная функция общего вида* из библиотеки *Дискретные звенья*, который подписываем как "АБ(z)".



Числитель: -36.6 45.4

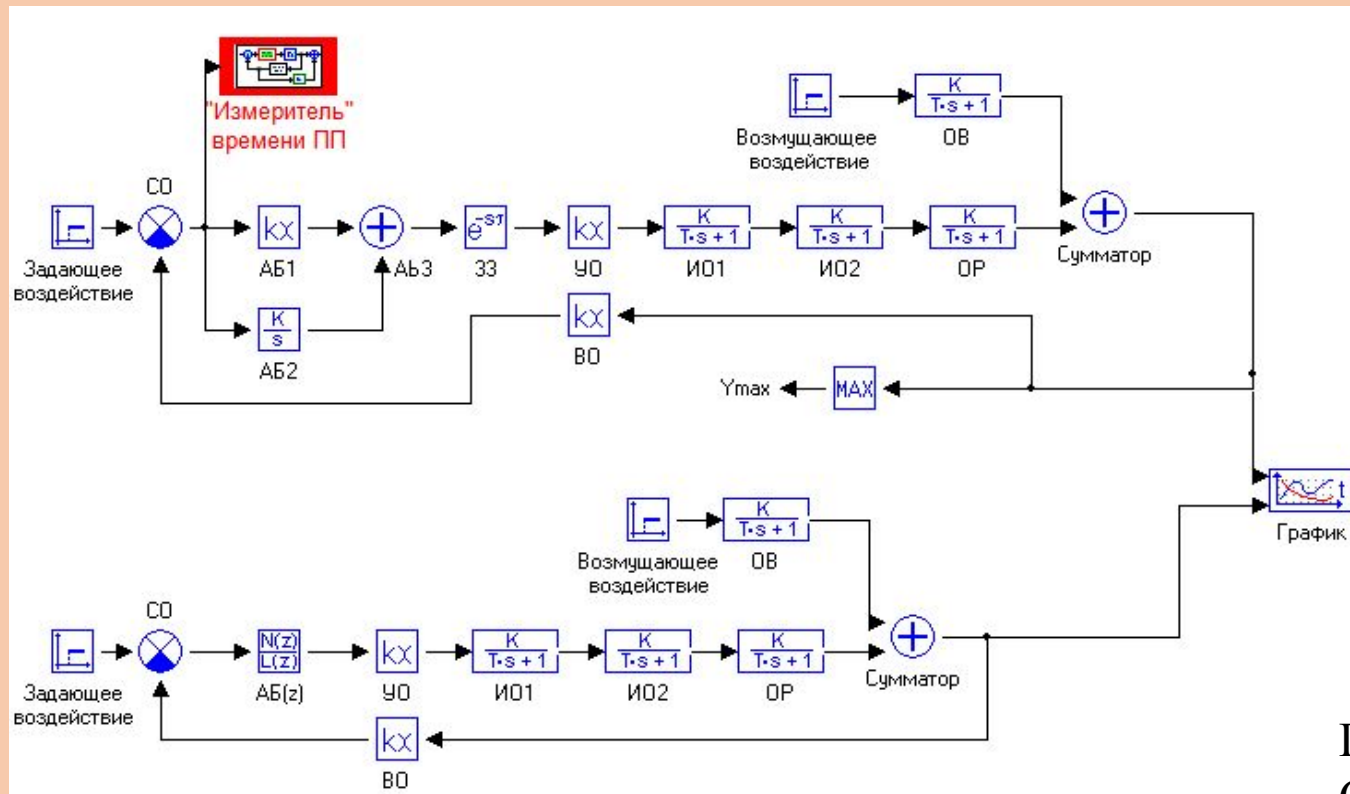
Знаменатель: -400 400

Период квантования: 0.25

$Y(0): 0$

Диалоговое окно блока Дискретная передаточная функция общего вида "АБ(z)"

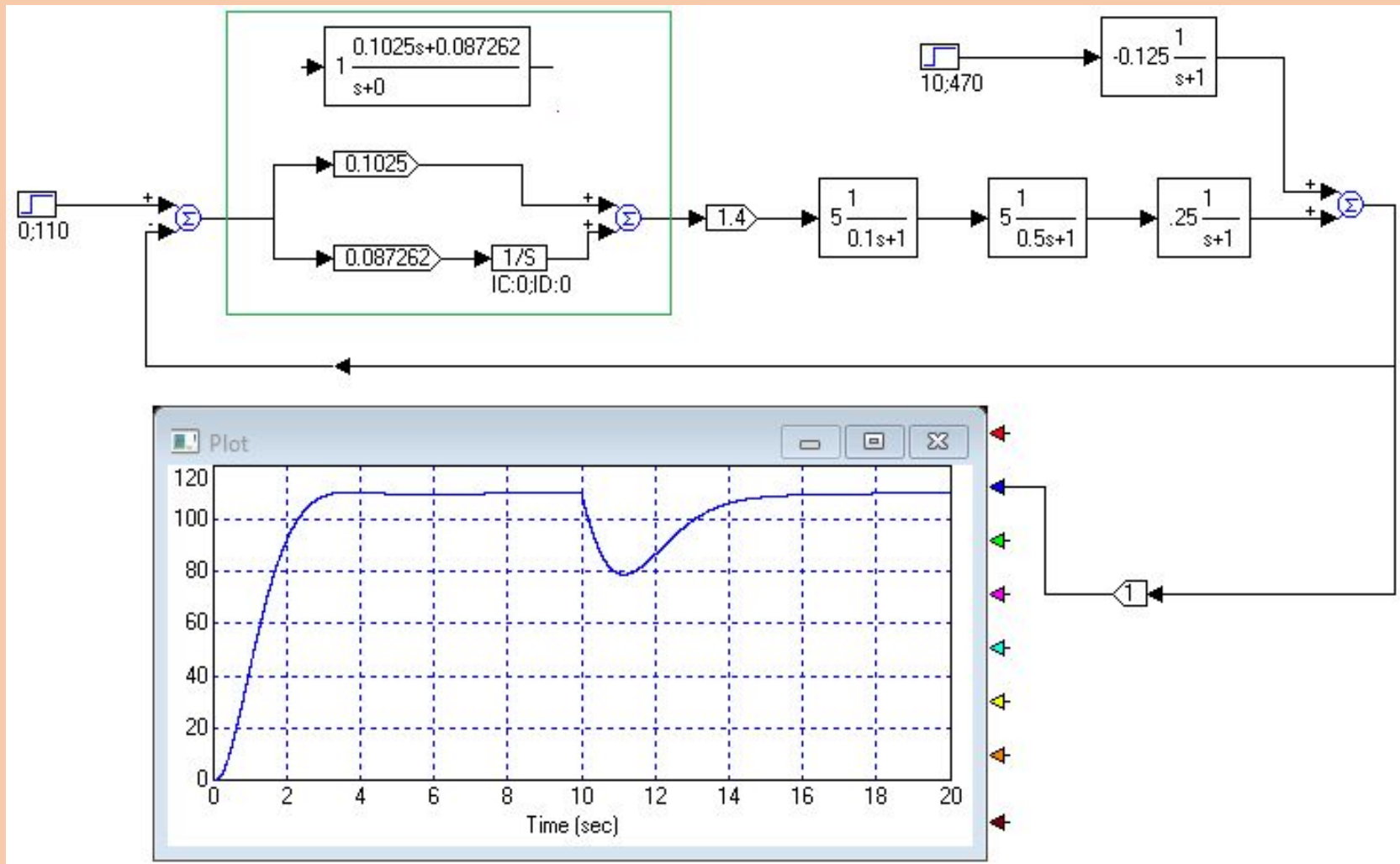
Структурная схема непрерывно-дискретной модели САР с ПИ-регулятором



Структурные схемы: 1 – в непрерывной модели САР;
2 – в непрерывно-дискретной САР;

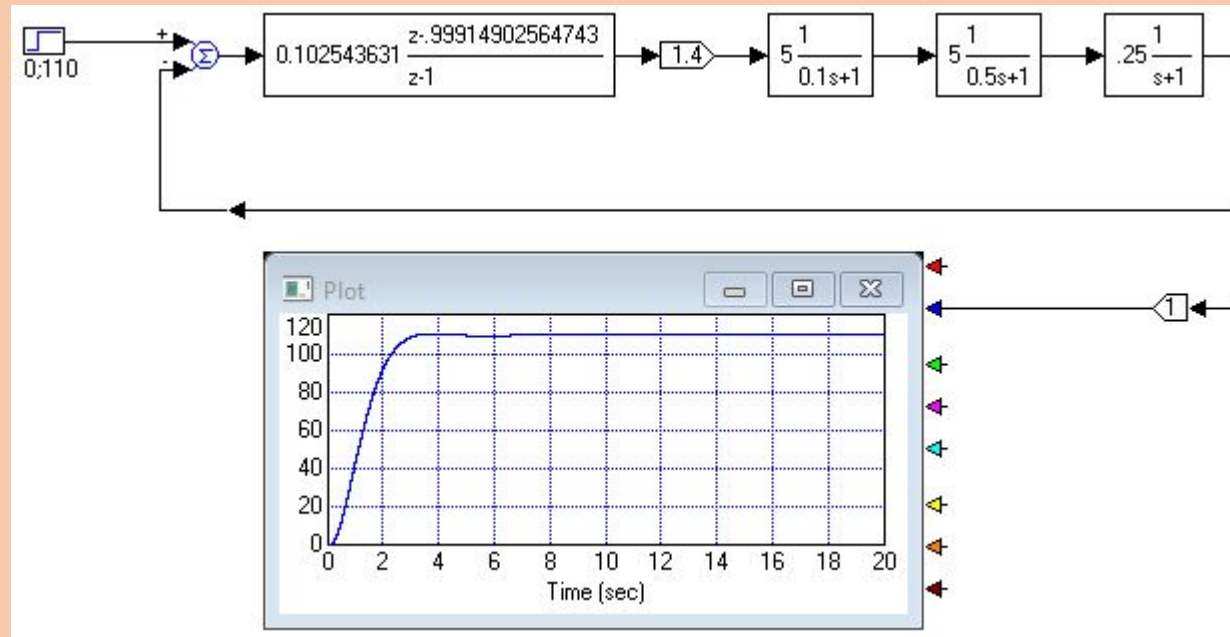


Переходные процессы: 1 – в непрерывной модели САР (рис. 33); 2 – в непрерывно-дискретной САР.



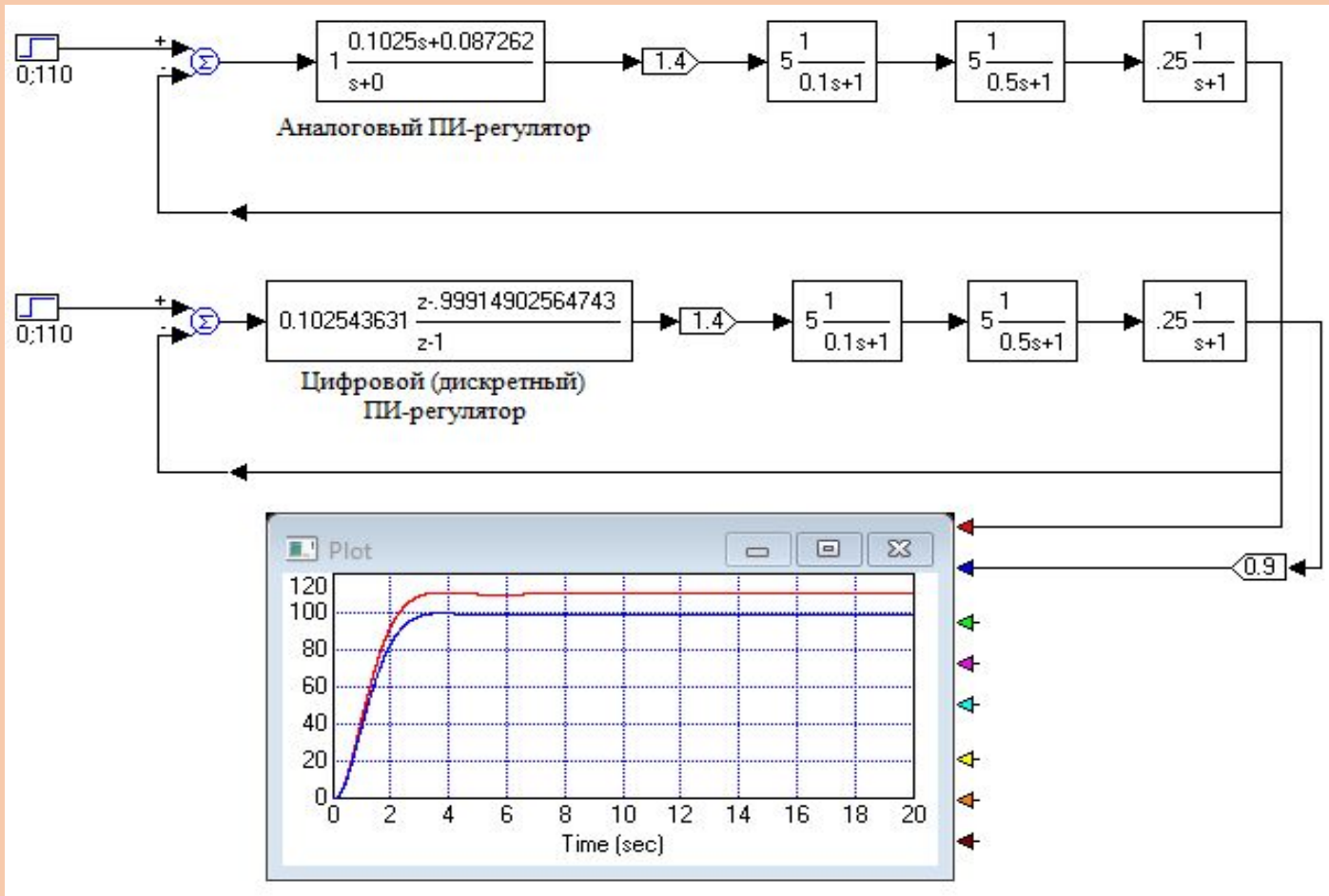
Исходная непрерывная оптимизированная САР в VisSim

Замена непрерывного регулятора дискретным в VisSim'e.



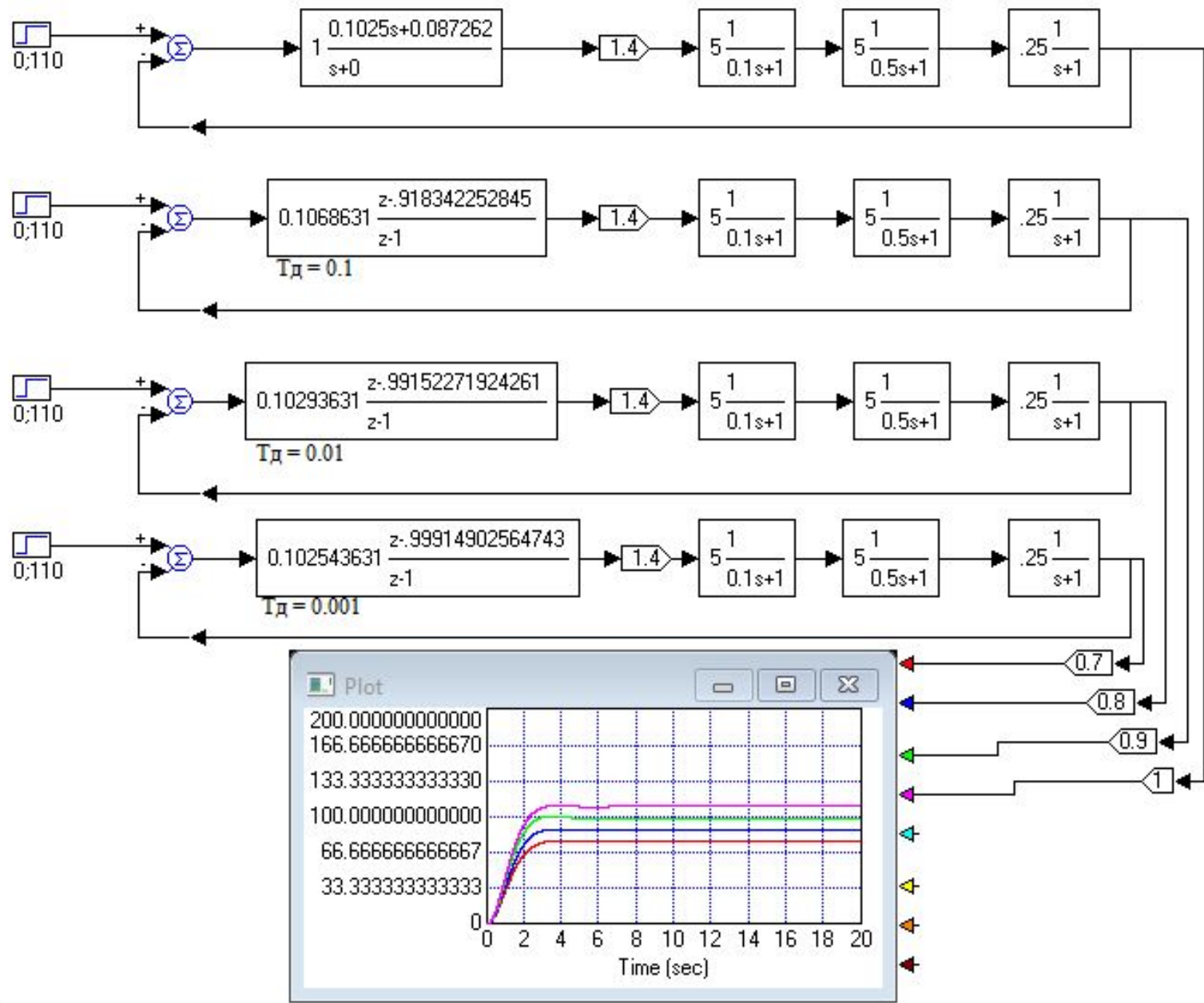
Дискретная модель ПИ-регулятора

Для выбора периода дискретизации нужно обратиться к постоянным времени объекта управления. Как видно на рисунке, наибольшая постоянная времени объекта равна 1 сек, следующая по величине равна $0.5/2 = 0.25$ сек, и последняя равна $0.1/(2 \cdot 0.5) = 0.1$ сек. Таким образом, период дискретизации следует выбрать меньшим, чем наименьшая постоянная времени, например, для начала, равным шагу моделирования 0.001 сек



Выбранный период дискретизации, равный 0.001 сек обеспечивает полную эквивалентность САР с цифровым управлением непрерывной САР. Для удобства сравнения переходная функция дискретной САР опущена на 0.9 единицы

Аналоговая и дискретная модель ПИ-регулятора



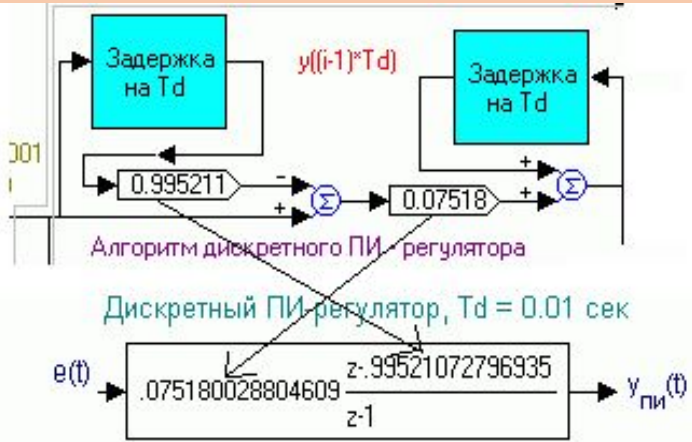
Тем не менее, полезно посмотреть на поведение САР и при больших значениях периода дискретизации, что позволит снизить вычислительную нагрузку на цифровой процессор компьютера, который будет осуществлять функции регулятора в производственных условиях. Уменьшим в 10, а затем и в 100 раз период дискретизации. Для удобства сравнения переходные функция дискретной САР опущена на 0.9, 0.8 и 0.7 единицы

Определение алгоритма работы цифрового регулятора

На цифровой регулятор подается непрерывный сигнал ошибки с устройства сравнения (сумматора). Поэтому сигнал ошибки необходимо предварительно дискретизировать и квантовать, т.е. преобразовать в последовательность числовых значений ошибки, следующих с периодом дискретизации, а затем уже подавать на цифровой процессор. Эту функцию в реальной системе выполняет специальное устройство АЦП (аналогово-цифровой преобразователь).

Собственно, алгоритм работы с дискретизированным сигналом определяется Z- передаточной функцией ПИ-регулятора, которая уже получена в VisSim'e, см. рис. 37. Построим цифровой алгоритм обработки для ПИ-регулятора с периодом дискретизации, равным 0.001 сек, рисунке выше.

Ниже приведен пример получение формулы вычисления значений решетчатой функции выходного сигнала дискретного регулятора



$T_d := 0.01$

$$W_{\text{пир}}(z) = 0.075180028804609 \cdot \frac{z - 0.99521072796935}{z - 1}$$

Исходное выражение Z - передаточной функции дискретного ПИ - регулятора

$$W_{\text{пир}}(z) = 0.07518 \cdot \frac{0.995211 \cdot z^{-1} - 1}{z^{-1} - 1}$$

Числитель и знаменатель разделены на старшую степень знаменателя, т.е. на z и умножены на -1

$$Y_{\text{пир}}(z) = W_{\text{пир}}(z) \cdot E(z) \quad \text{Z-изображение выходного сигнала ПИ - регулятора}$$

$$Y_{\text{пир}}(z) \cdot (z^{-1} - 1) := 0.07518 \cdot (0.995211 \cdot z^{-1} - 1) \cdot E(z)$$

$$Y_{\text{пир}}(z) := Y_{\text{пир}}(z) \cdot z^{-1} + 0.07518 \cdot (E(z) - 0.995211 \cdot z^{-1} \cdot E(z))$$

Переход к оригиналам, к решетчатым функциям, во временную область

$$y_{\text{пир}}(i \cdot T_d) := y_{\text{пир}}[(i - 1) \cdot T_d] + 0.07518 \cdot [e(i \cdot T_d) - 0.995211 \cdot e[(i - 1) \cdot T_d]]$$

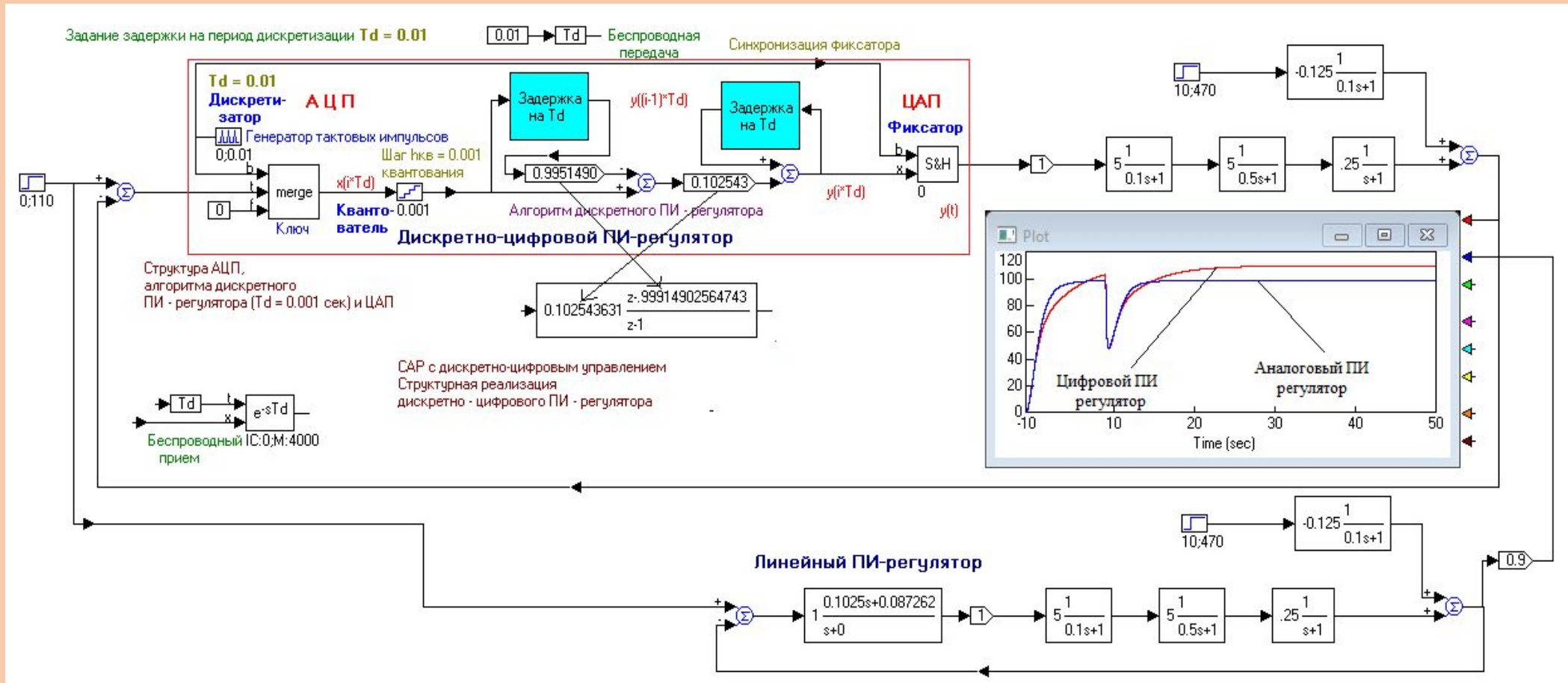
Полученная формула указывает алгоритм преобразования решетчатой функции, подаваемой с АЦП на цифровой ПИ-регулятор, параметры которого определены для периода дискретизации равного 0.01 сек. Алгоритм состоит в следующем.

Как видно из нижней формулы, очередное, на текущем такте, значение выходного сигнала ПИ-регулятора определяется как сумма предыдущего его выходного значения и взвешенной с коэффициентом 0.07518 разности текущего и предыдущего, умноженного на 0.995211, значения входного сигнала (ошибки регулирования).

Построение модели алгоритма цифрового регулятора в VisSim'e

В соответствии со сформулированным выше алгоритмом в VisSim'e может быть построена структурная схема, выполняющая его (рисунок ниже).

Отметим, что в этой схеме модель дискретизатора построена на управляемом ключе merge



Модели САР с дискретно-цифровым управлением при правильном подборе параметров дискретных ПИ-регуляторов эквивалентны модели непрерывной САР