

Выполнено: Евдокимовой Дарьей, 21205
ПРАКТИЧЕСКАЯ по ОТУ №1

1. Работа с ПИ-регулятором

Для одноконтурной системы регулирования с ПИ-регулятором определить параметры К и ТИ следующими способами:

- покоординатной оптимизацией К и ТИ по интегральному критерию качества;
- по параметрам переходной характеристики объекта (формулы в приложении).

Сравнить полученные системы управления между собой по интегральному критерию качества.

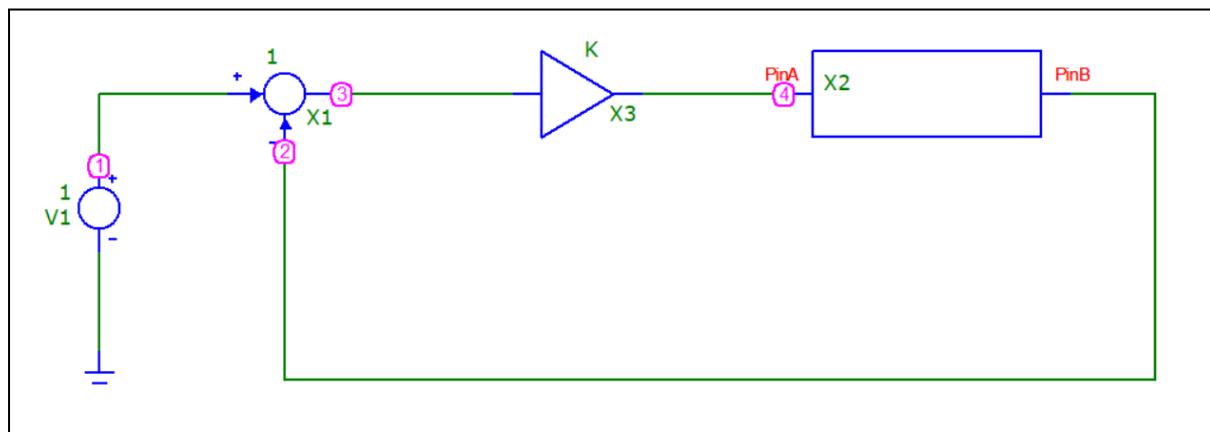
В моём варианте: **T0=0.91, n = 5**

Для того, чтобы настроить ПИ- и ПИД- регуляторы, нужно поработать с П-регулятором. Имея передаточную функцию объекта, значения T0 и n, нужно найти K_krit и T_i.

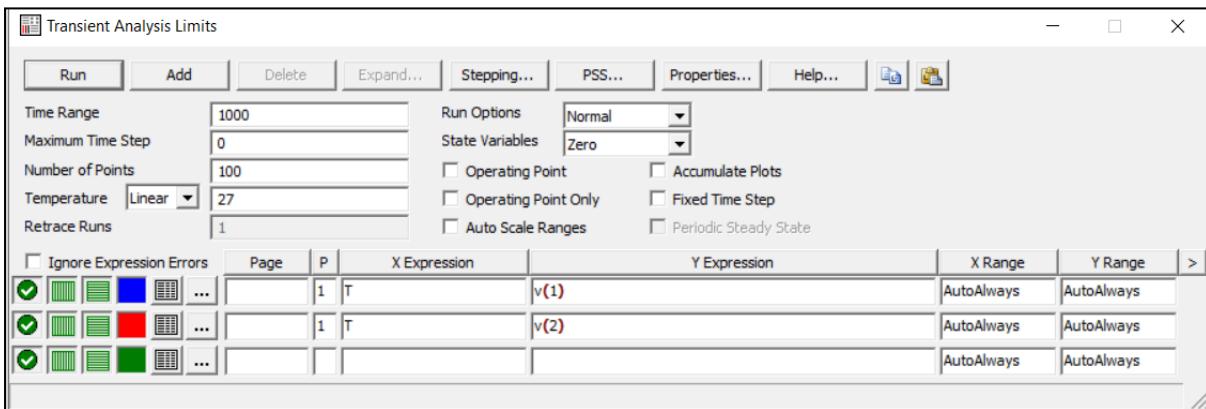
Настройка по П-регулятору

Собственно, начнём с П-регулятора.

Вот схема П-регулятора. Надо подбором определить коэффициент К. По методу Никольса-Циглера: $K = 0.5K_{crit}$.



Передаточная формула в блоке: $\exp(-s*T1) / ((1+s*T0)^n)$.



Измерять (мне) было проще на time range = 1000. Смотрим график в узлах - входном и выходном. На схеме это узлы 1 и 2 соответственно.

По таблице 1 будем менять T.

Перечень значений времени запаздывания T объекта управления представлен в табл. 1.

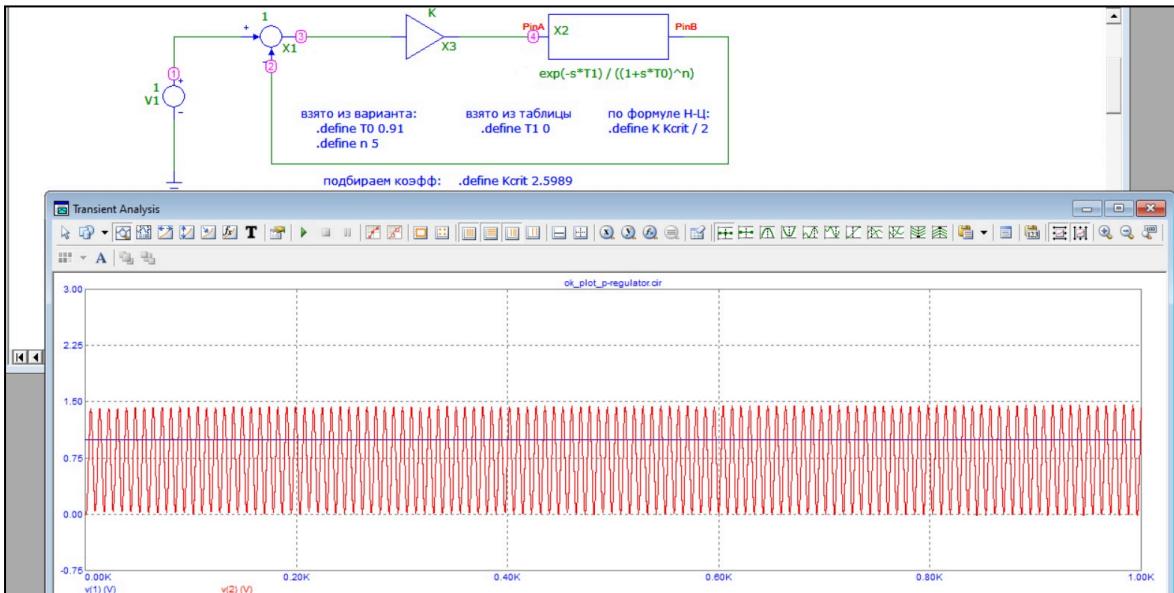
Таблица 1

№	1	2	3
T	0	1,5	3

Чтоб найти $T_{\text{и}}$ и $K_{\text{крит}}$, надо получить такой график, у которого амплитуда на всём временном промежутке будет +- одинаковая - так мы найдем $K_{\text{крит}}$. А $T_{\text{и}}$ - это разность между любыми ближайшими пиками.

Сначала $T_1 = 0$

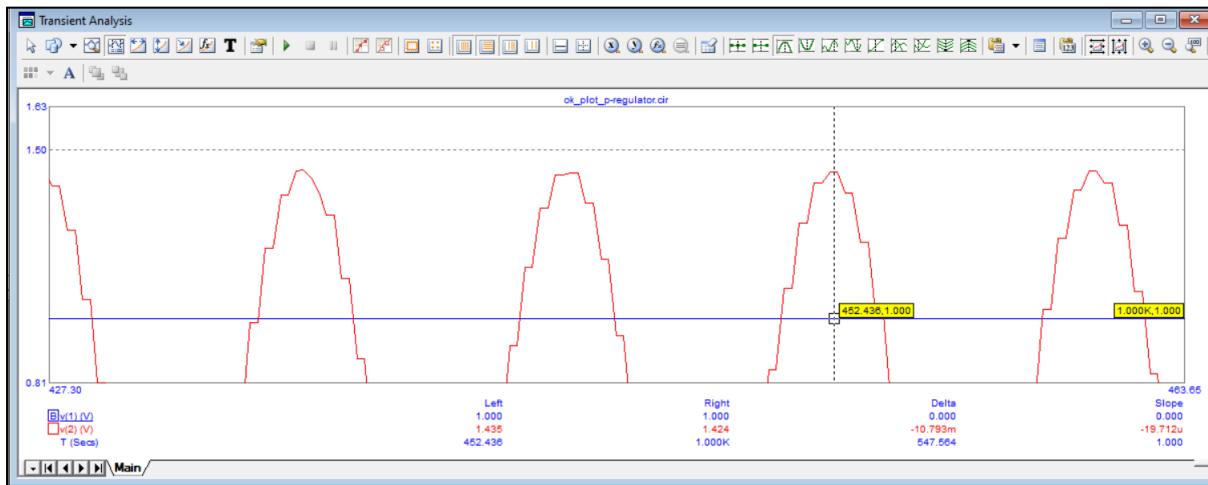
Самый стабильный график - при $K_{\text{crit}} = 2.5989$



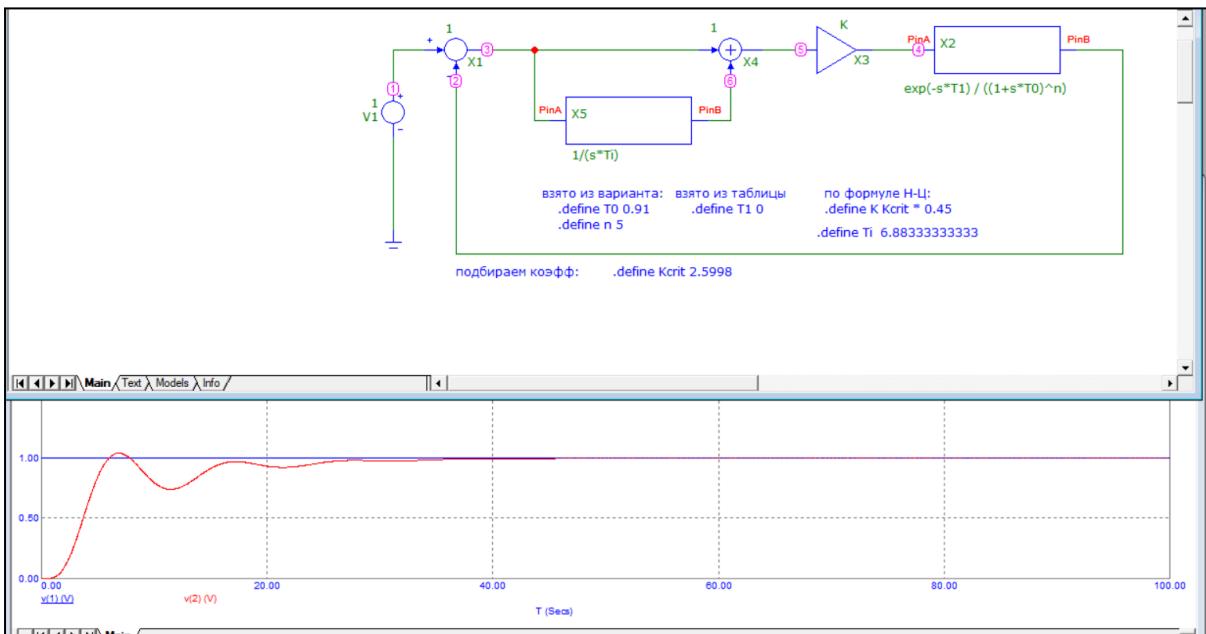
Определим Ткрит :

$$\text{Ткрит} = 460.696 - 452.436 = 8.26$$

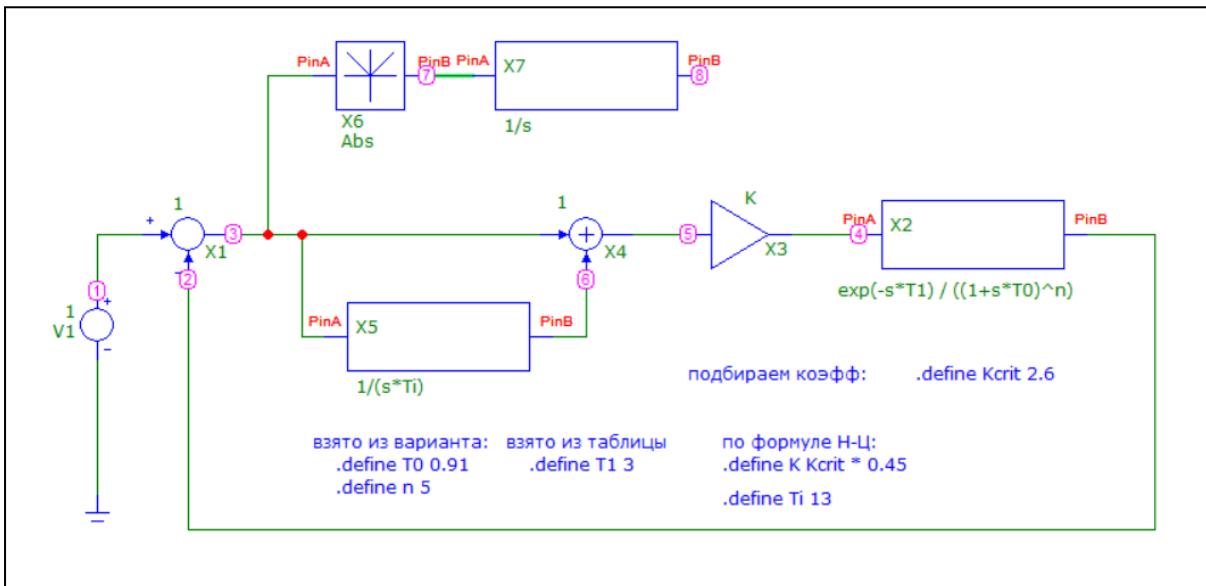
Для этого выделением области приблизим любые пики:



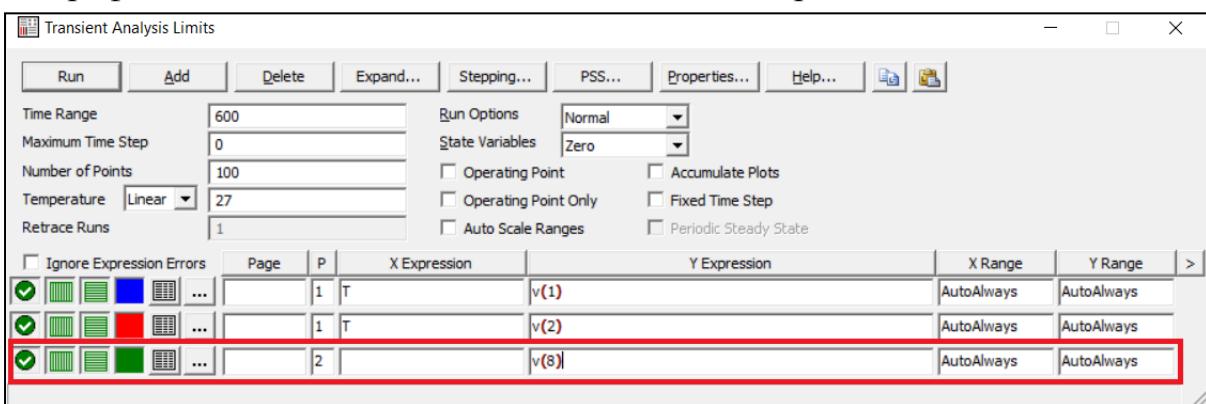
Настроенный регулятор:



Ещё надо рассчитать ошибку. Для этого добавим блок расчёта ошибки: это Abs и блок F с формулой $1/s$.



На график добавим еще один вывод, вот таким образом:

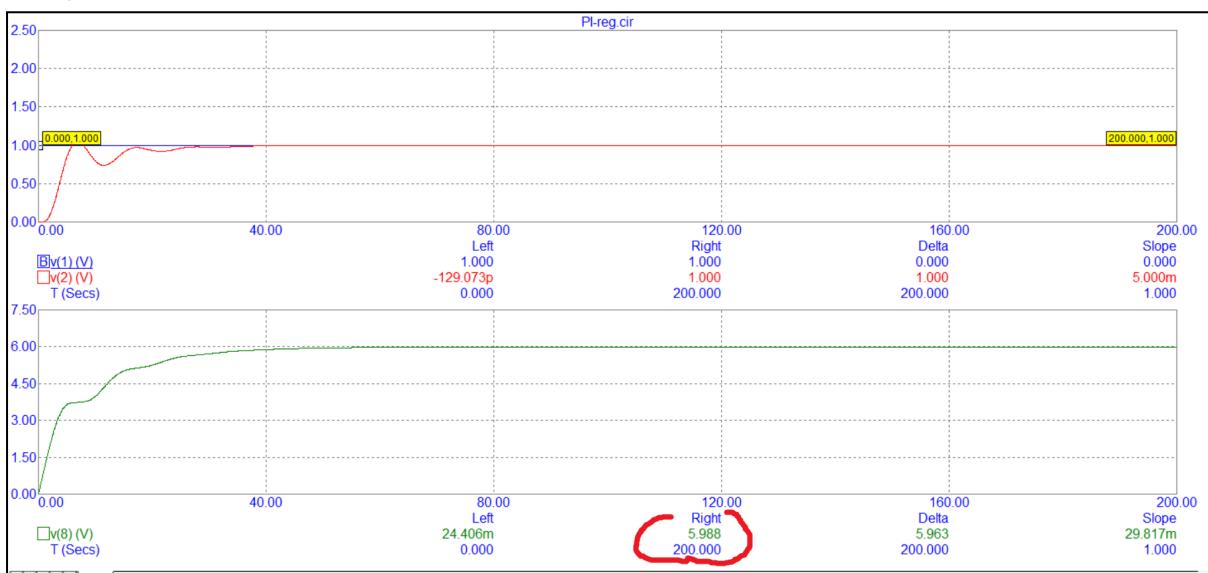


Time Range & Number of points - остаются такими же, как и при настройке регулятора (то есть как удобнее). Здесь важна выделенная красная часть снизу. Добавляем 3ю строчку в вывод, там где P ставим цифру “2” - p aka Plot, т.е. хотим вывод одновременно и графика настроенного регулятора и график ошибки. И ставим узел 8.

На полученном графике тыкнем на кнопочку “Top”:



Получим:

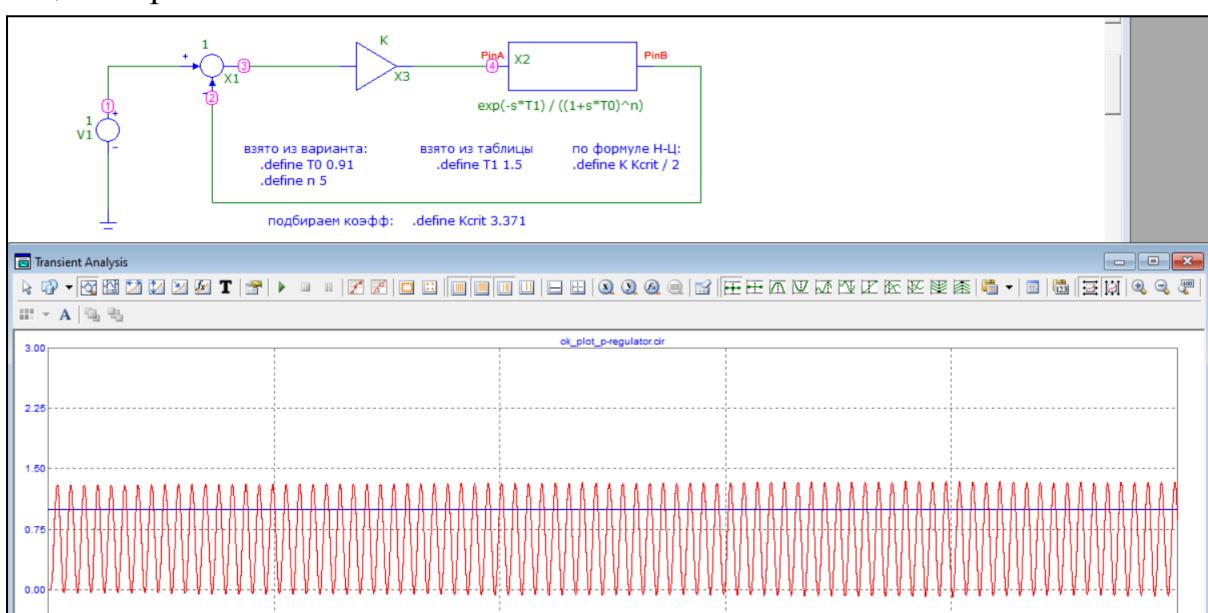


Смотрим на значение Right - то и есть полученная ошибка вычислений.

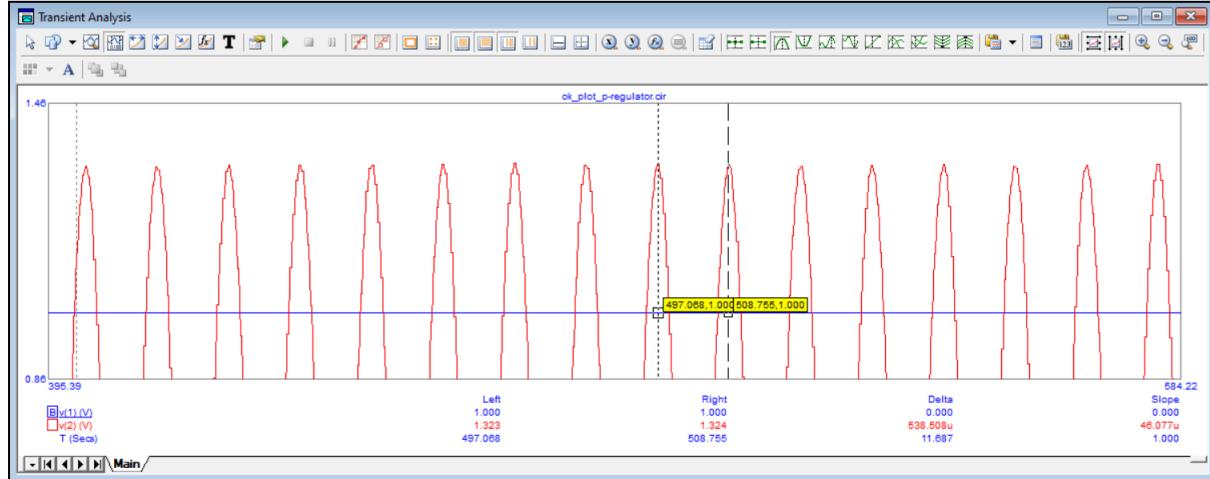
Теперь $T_1 = 1.5$

Поступаем аналогичным образом.

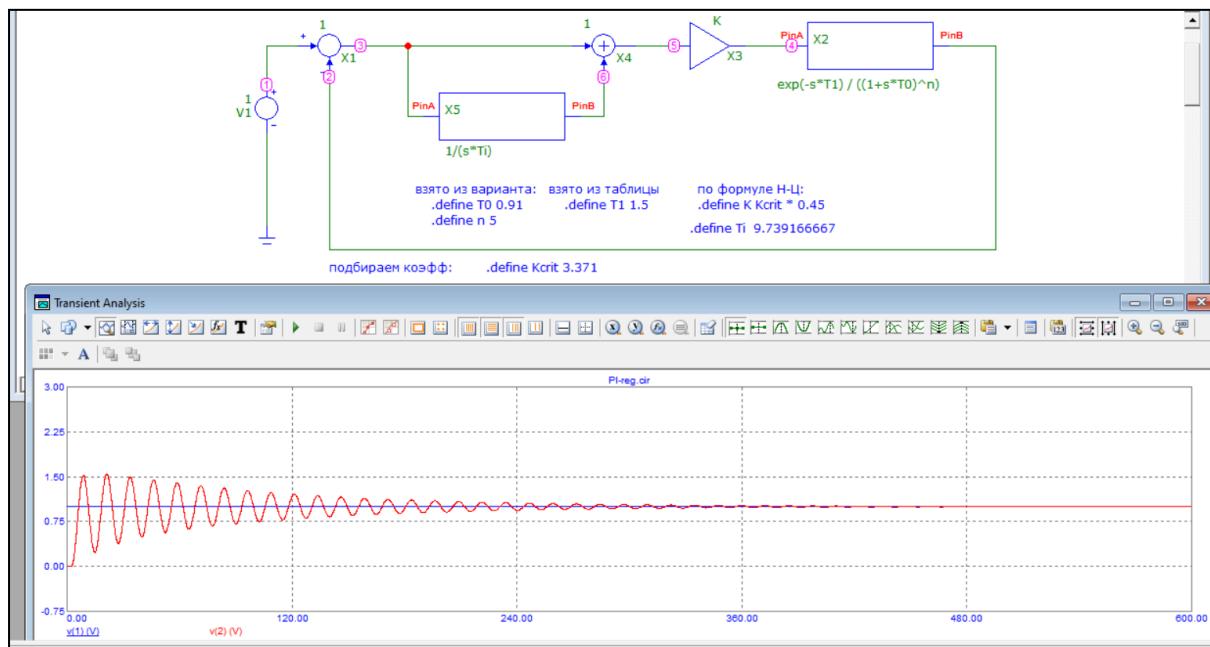
Ищем Ккрит



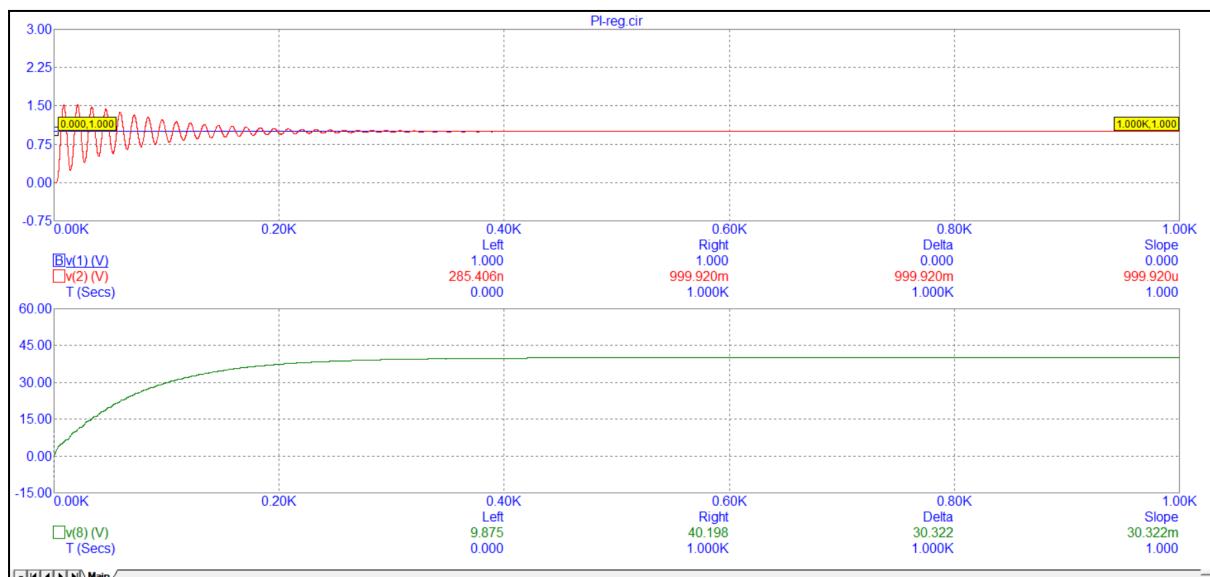
Ищем Ткрит



Настроенный регулятор:

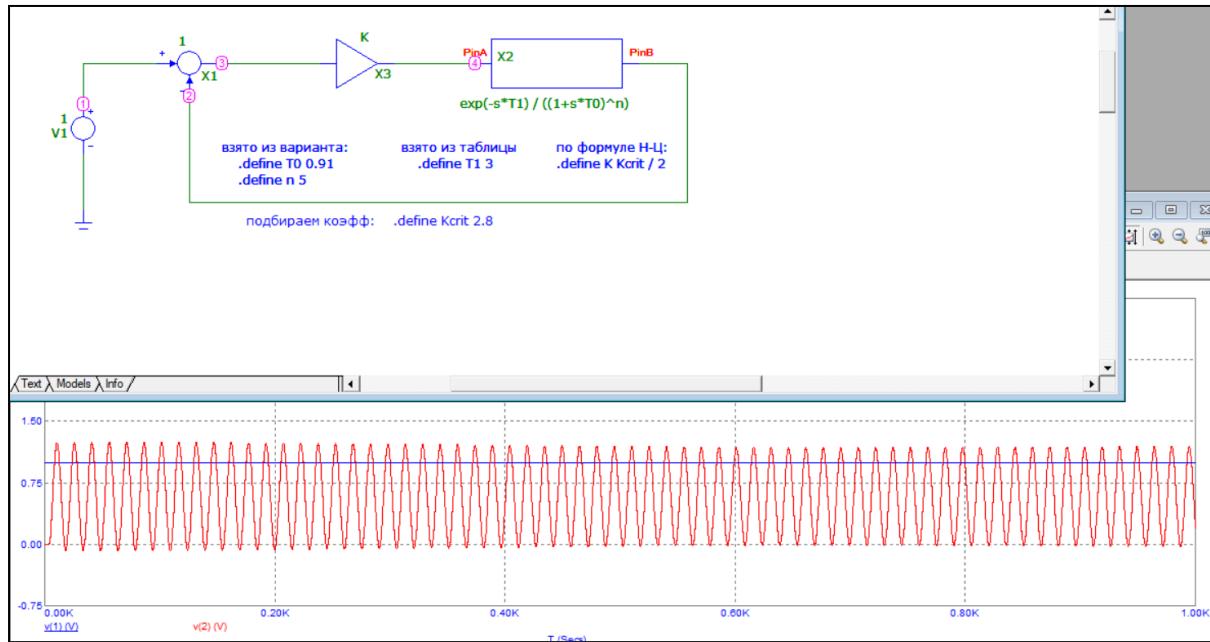


Ошибка:

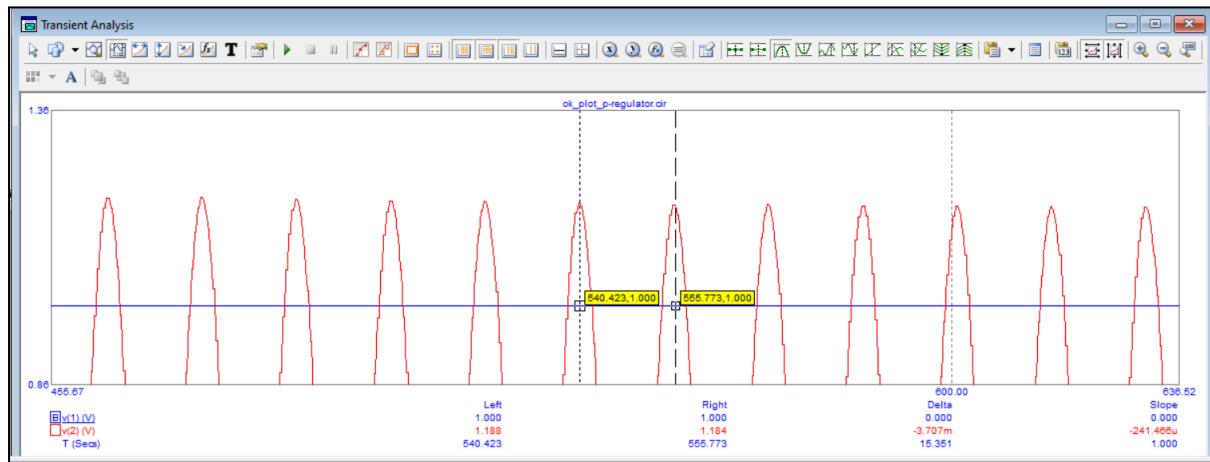


Теперь $T_1 = 3$

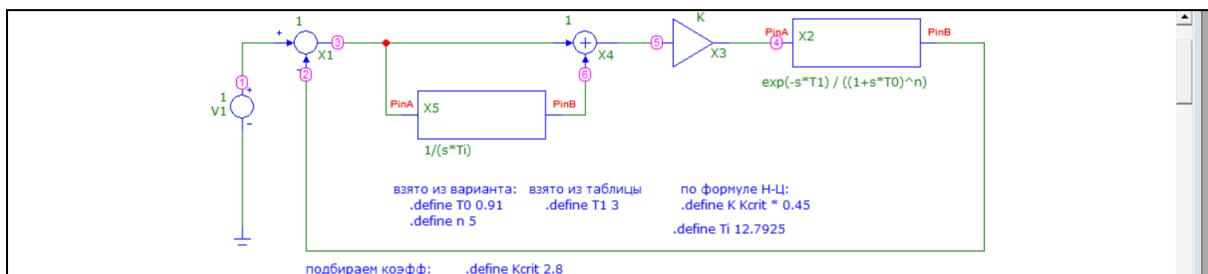
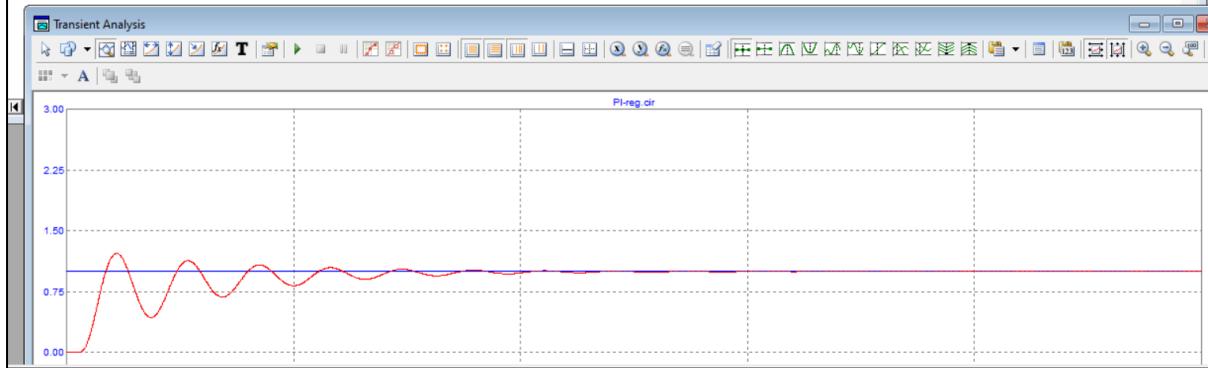
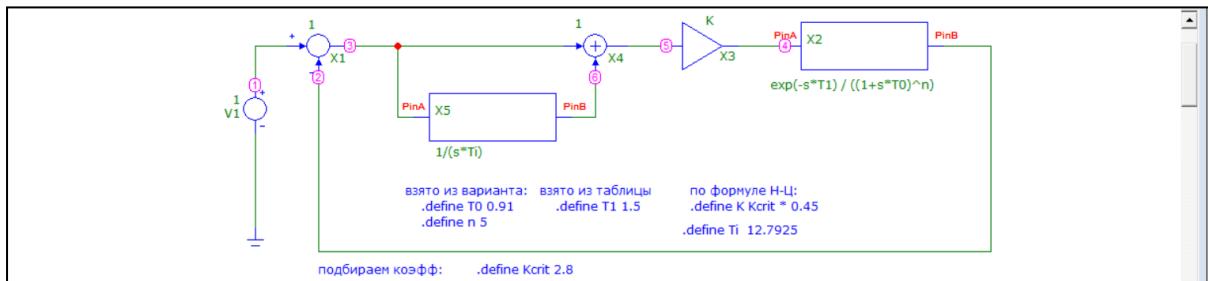
Kcrit:



Определим по графику Ткрит :



Настроенный регулятор:



Ошибка:

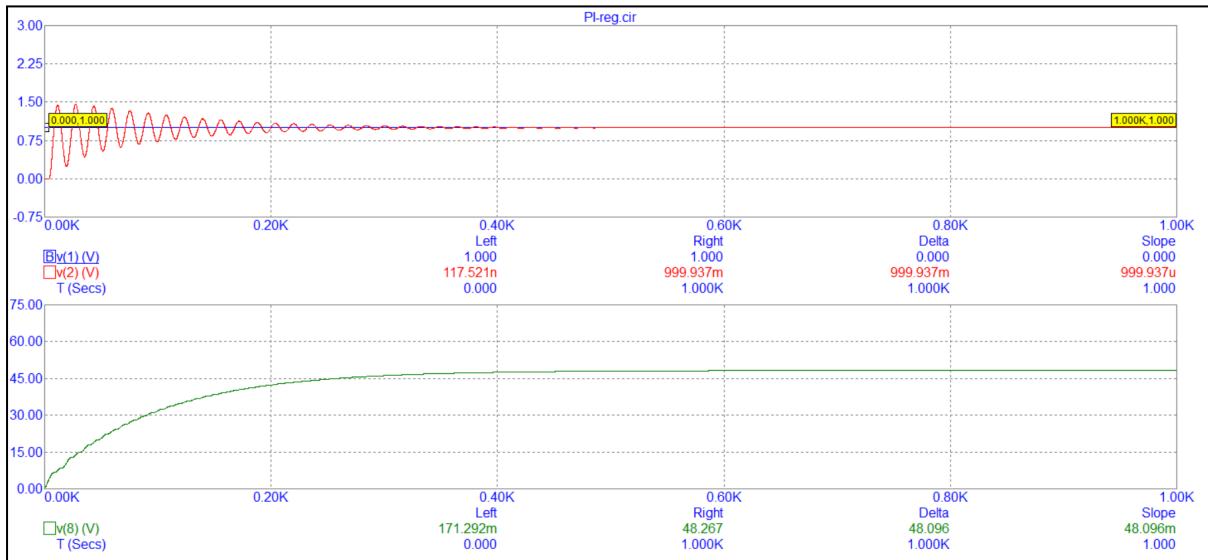


Таблица П-регулятора

отрезок $K \in (0, \frac{1}{\tau}) = (0, K_{\text{крит}})$. Таким образом, правило Никольса–Циглера $K \doteq K_H = 0.5K_{\text{крит}}$ обеспечивает попадание величины K_H в середину интервала устойчивости.

Для П-регулятора			
T1	Kcrit	K = K_H = Kcrit/2	Tkrit
0	2.5989	1.2995	8.2600
2	3.3710	1.6855	11.6870
3	2.8000	1.4000	15.3510

Таблица ПИ-регулятора

Используем данные П-регулятора (а именно: Ткрит и Ккрит) и по формулам для ПИ-рег, считаем T_i и K .

$$K \doteq K_H = 0.45K_{\text{крит}},$$

$$T_i \doteq T_{i,H} = \frac{T_{\text{крит}}}{1.2}.$$

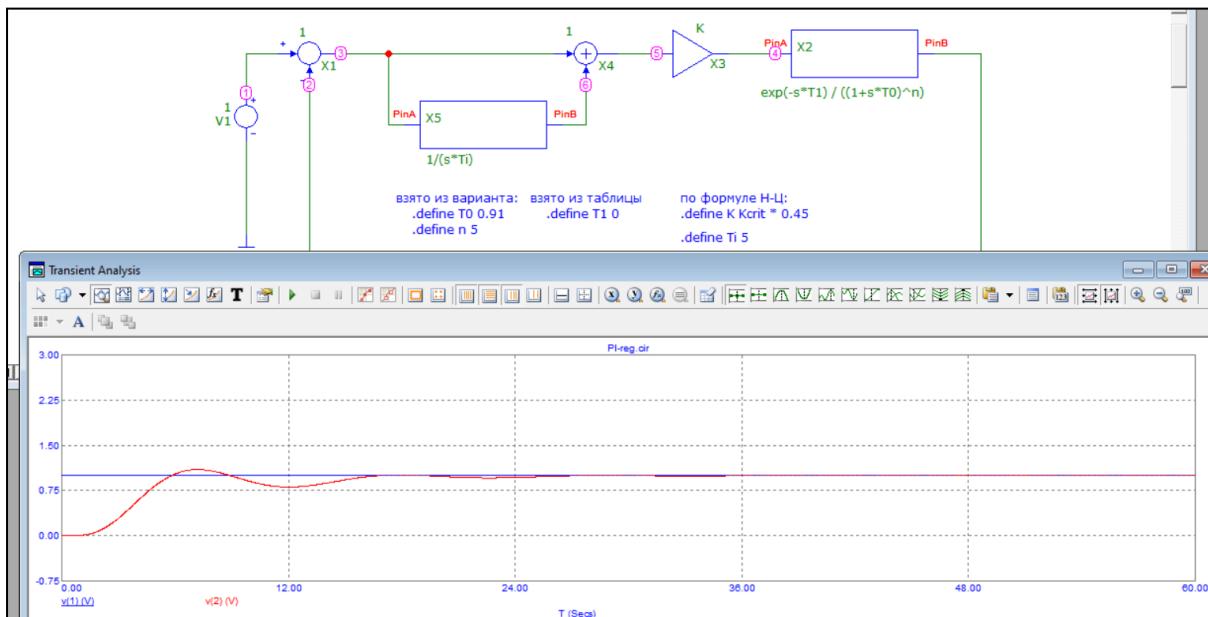
Используем формулы:

Для ПИ-регулятора					
T1	Kcrit	K = K_H = Kcrit * 0.45	Tkrit	Tи = T_и,H = Tkrit/1.2	Ошибка
0.00	2.5989	1.1695	8.2600	6.883333333	5.998
1.50	3.371	1.5170	11.6870	9.739166667	40.198
3.00	2.8	1.2600	15.3510	12.7925	54.25

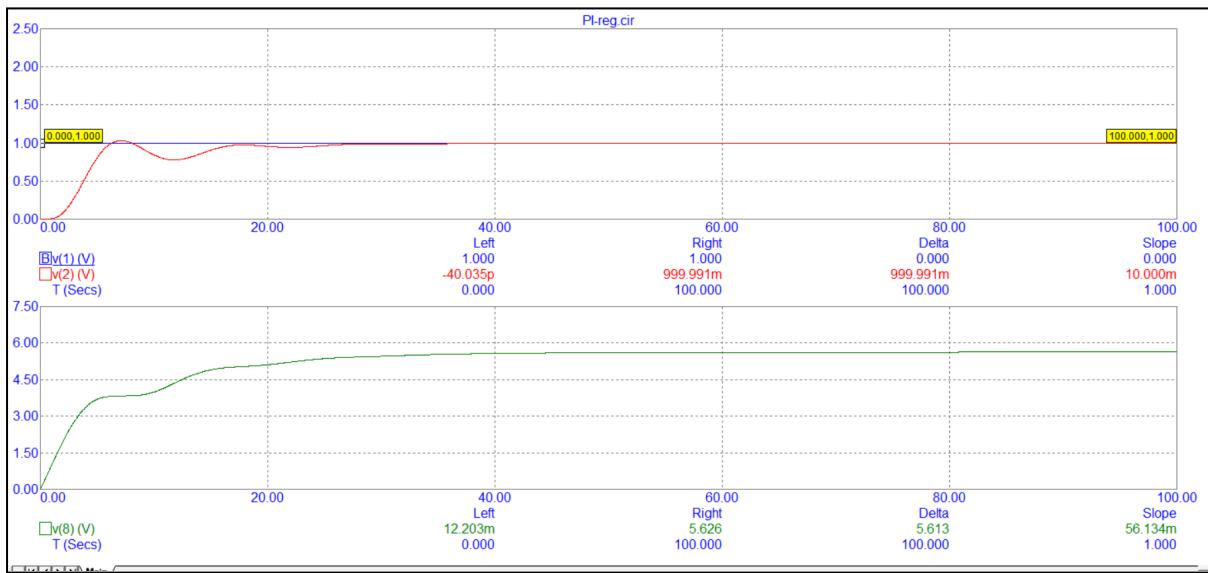
Настройка по координатной оптимизацией

Здесь идея в том, что ПОЧЕРЕДНО фиксируем какой-то из параметров - K и T_и, изменяя в этот момент другой. И так несколько раз. Смотрим, что быстрее сходится - то и лучше. Т.е. там, где значение ошибки меньше - та конфигурация параметров лучше.

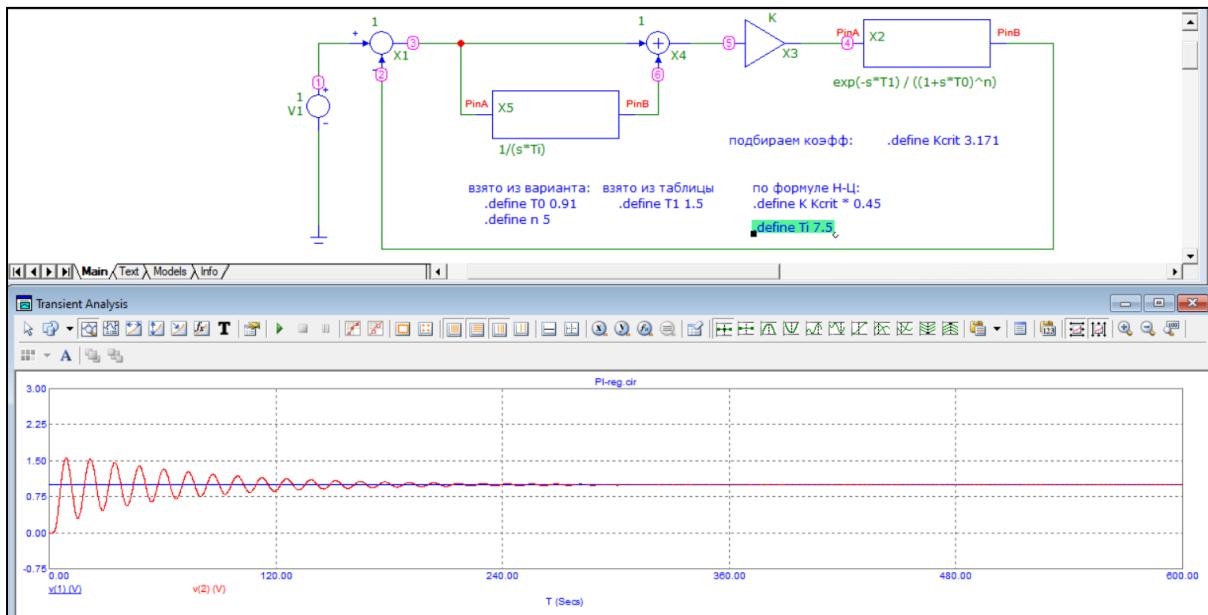
Для T1 = 0



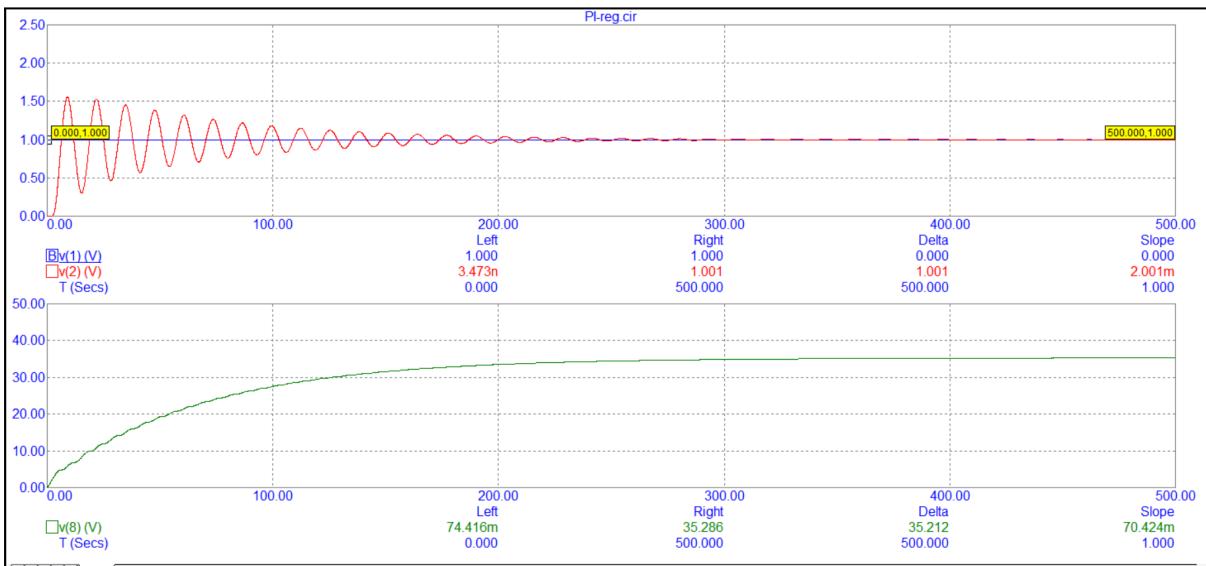
Ошибка:



Для $T_1 = 1.5$

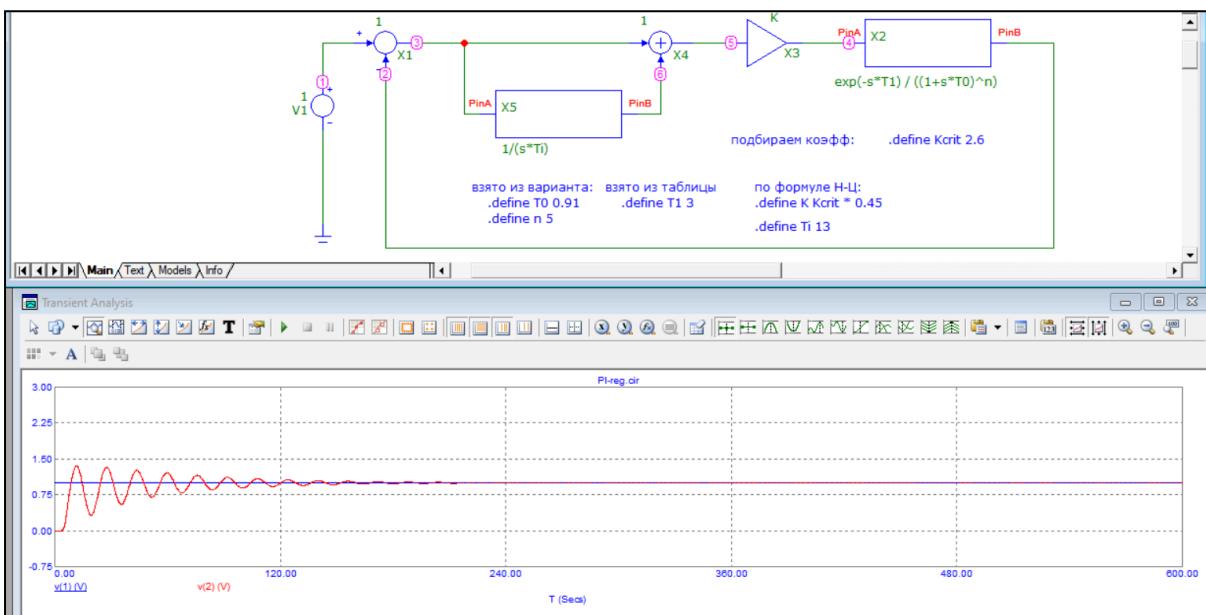


Ошибка:



Для $T_1 = 3$

Стало:



Ошибка:

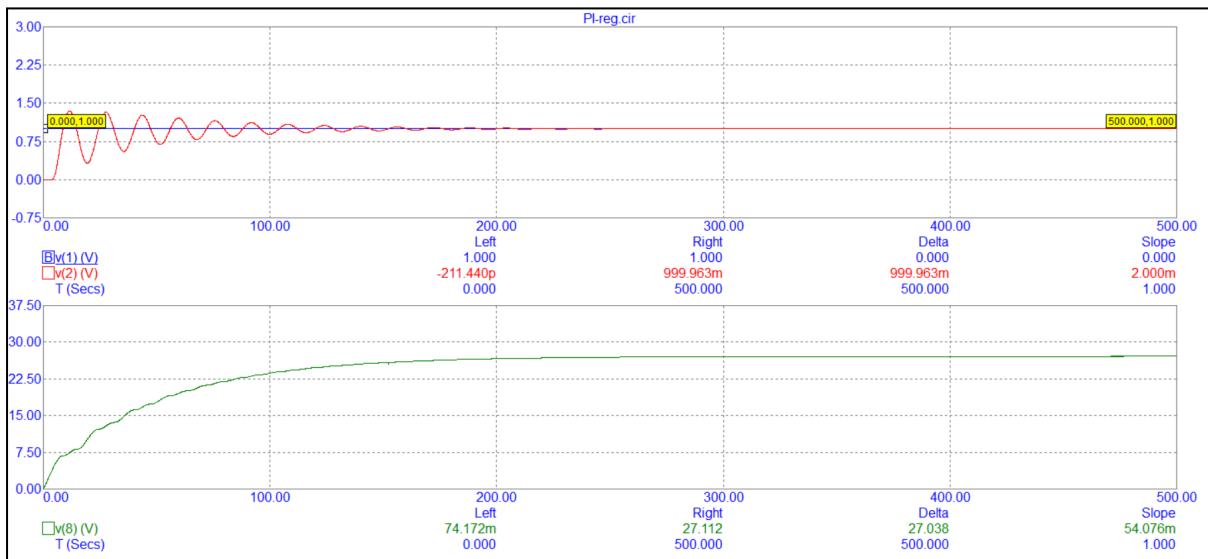


Таблица для покоординатной настройки

Для ПИ-регулятора (покоординатная настройка)					
T1	Kcrit	K = K_H = Kcrit * 0.45	Tкрит	Ти = Т_и,Н = Ткрит/1.2	Ошибка
0.00	2.4	1.0800	6.0000	5	5.626
1.50	3.171	1.4270	9.0000	7.5	35.286
3.00	2.6	1.1700	15.6000	13	27.112

Настройка по параметрам переходной характеристики объекта

Смотрим в таблицу из приложения

Параметры переходной характеристики объекта управления представлены в табл. 3.

Таблица 3

n	3	4	5	6
T_{int}	$3T_0 + T$	$4T_0 + T$	$5T_0 + T$	$6T_0 + T$
$T_{емк}$	$0,805 T_0$	$1,43 T_0$	$2,10 T_0$	$2,81 T_0$
T_a	$3,69 T_0$	$4,46 T_0$	$5,12 T_0$	$5,70 T_0$

$$\tau^* := T_{емк} + T$$

(условное запаздывание)

Для моего варианта нужно при n = 5:

Таблица с рассчитанными данными для расчёта

Считаем по Табл. 3:			
T0	0.91		
T = T1	0	1.5	3
T_int	4.55	6.05	7.55
T_ёмк	1.911	1.911	1.911
T_a	4.6592	4.6592	4.6592
tau*	1.911	3.411	4.911

Для 1го варианта формул:

1-й вариант формул:

1) ПИ-регулятор:

$$T_I / T_a = 0.153 (\tau^* / T_a) + 0.362$$

$$1/K = 1.905 (\tau^* / T_a) + 0.826$$

2) ПИД-регулятор:

$$T_D = \alpha T_I, T_C = T_D / 8$$

$\alpha = 0.25$:

$$T_I / T_a = 0.186 (\tau^* / T_a) + 0.532$$

$$1/K = 1.552 (\tau^* / T_a) + 0.078$$

1й вар формул

1й вар формул			
T_i/T_a	0.42475	0.47401	0.52327
1/K	1.60735	2.22065	2.83395

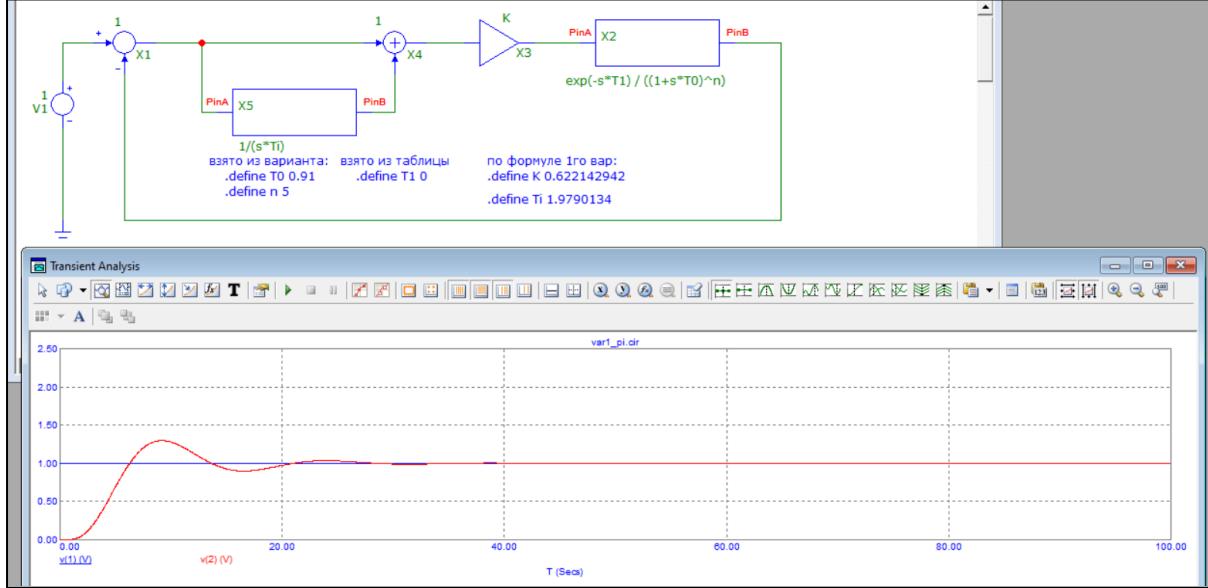
Считаем по Табл. 3:			
T0	0.91		
T = T1	0	1.5	3
T_int	4.55	6.05	7.55
T_ёмк	1.911	1.911	1.911
T_a	4.6592	4.6592	4.6592
tau*	1.911	3.411	4.911

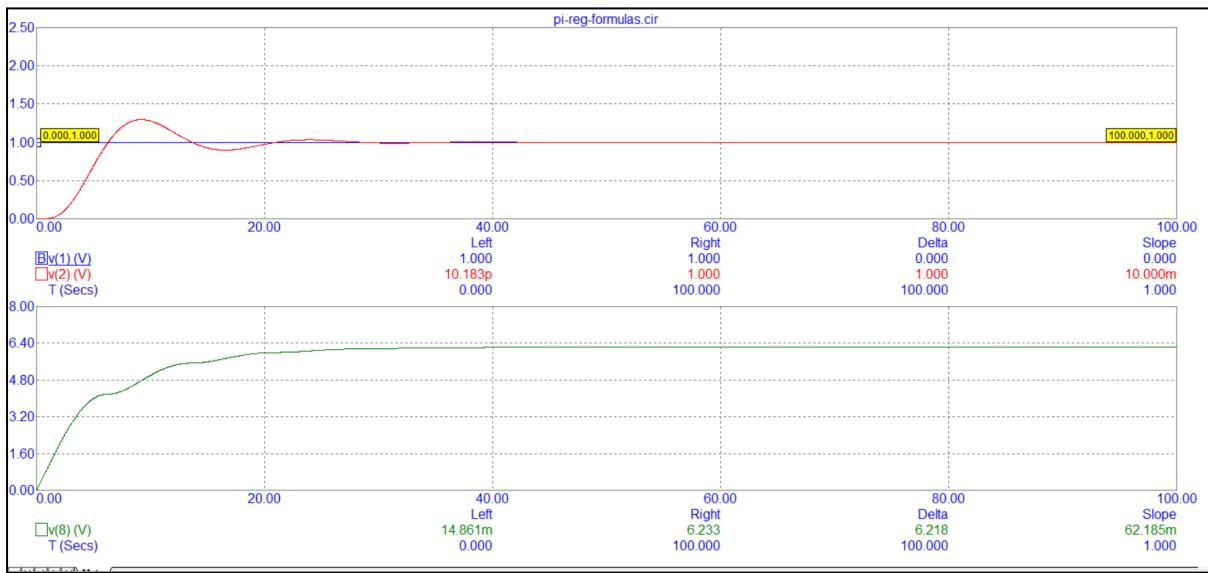
1й вар формул			
T_и/T_a	0.424754	0.474011	0.523269
1/K	1.607348	2.22065	2.833953

Ответ:

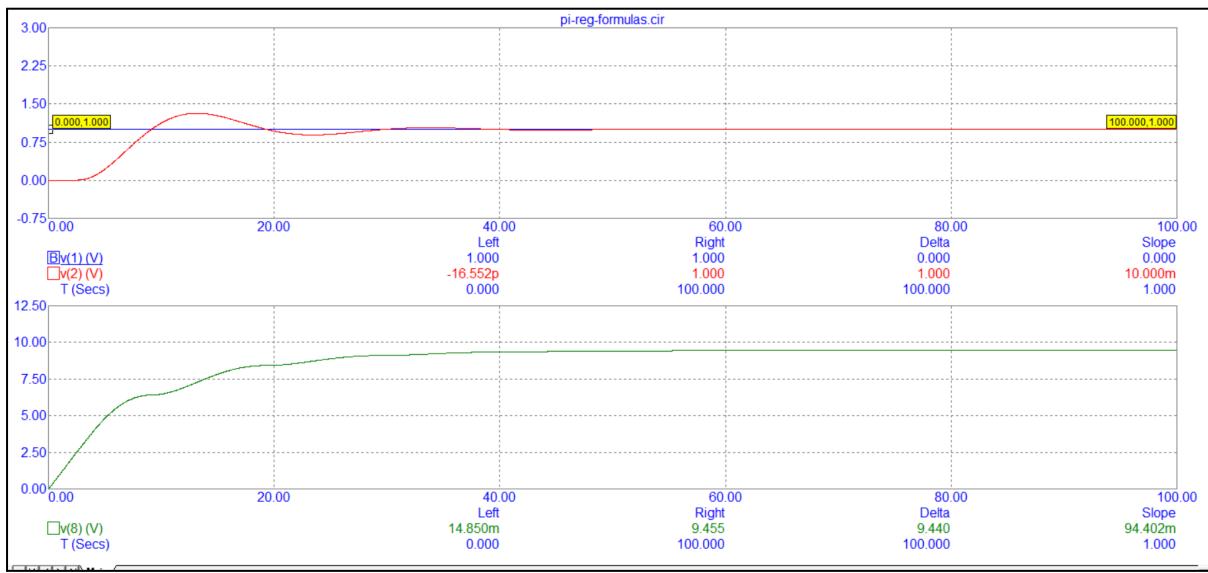
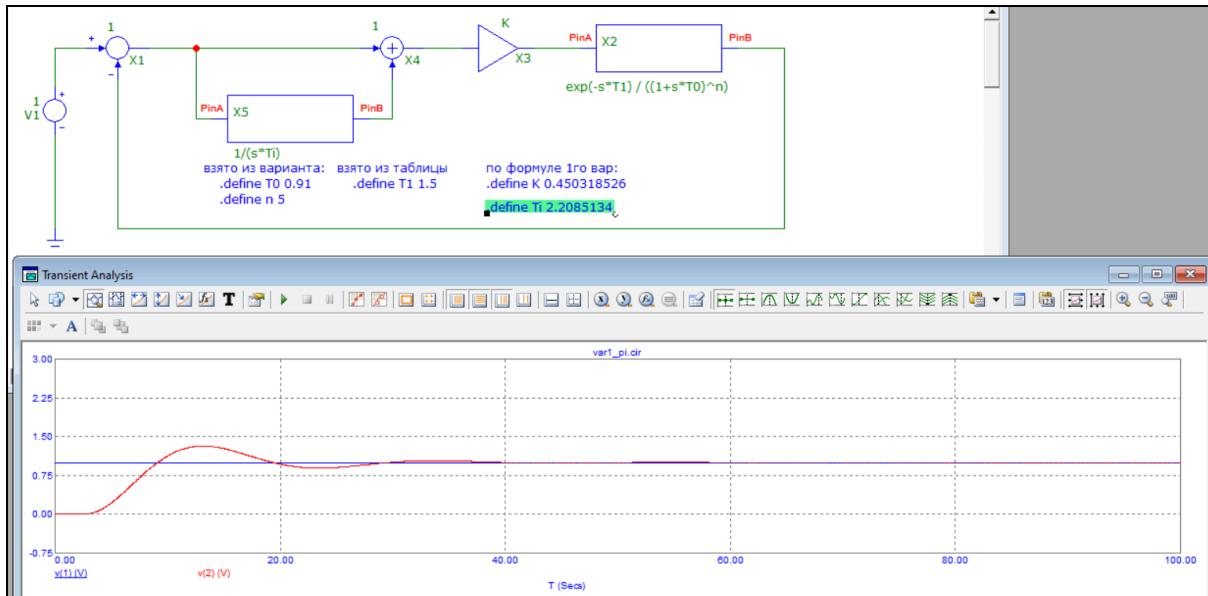
K	0.622143	0.450319	0.352864
T_и	1.979013	2.208513	2.438013
Ошибка	6.233	9.455	12.086
T = T1	0	1.5	3

При T1 = 0

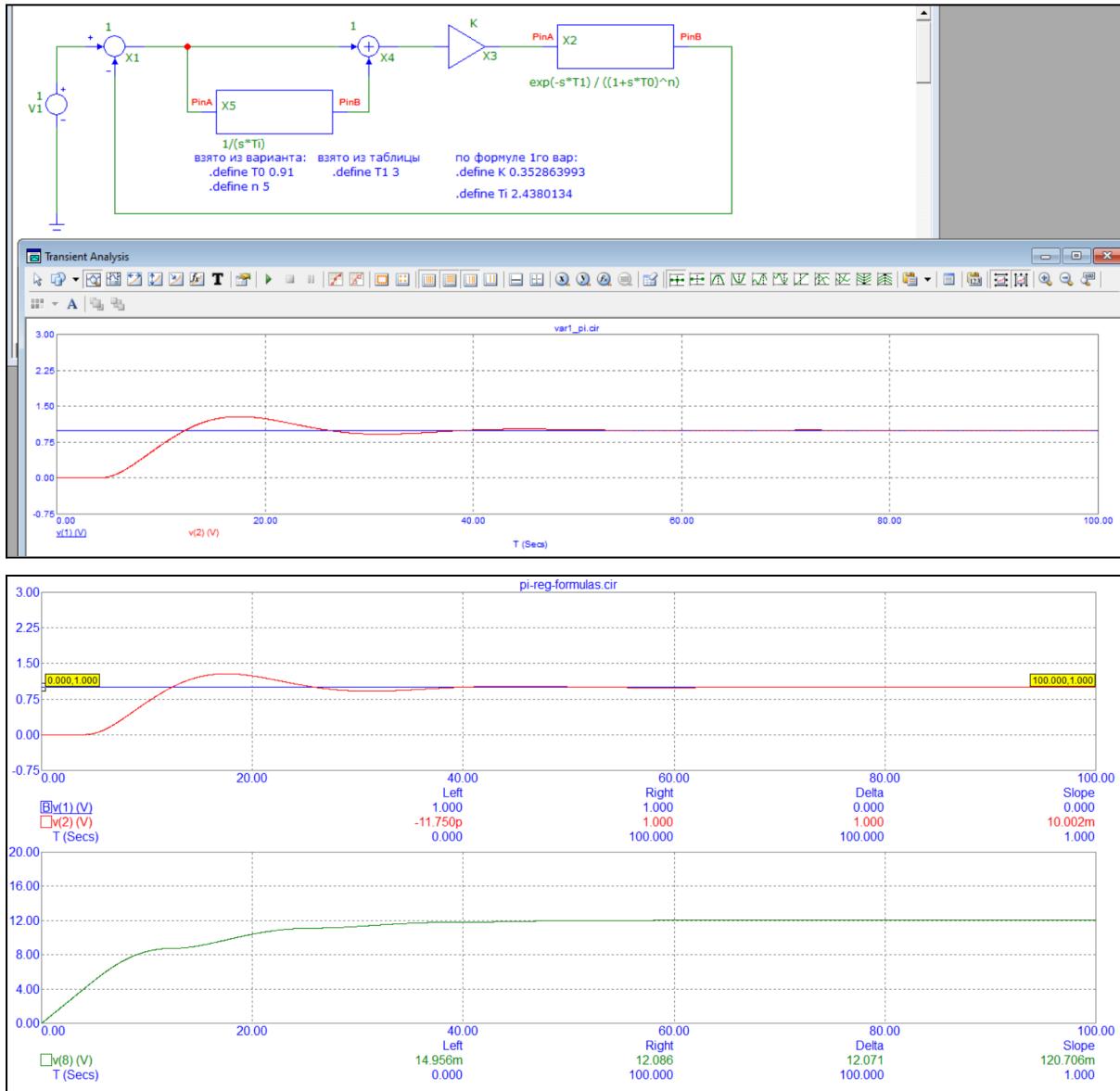




При $T_1 = 1.5$



При $T_1 = 3$



2-й вар формул

2-й вариант формул:

1) ПИ-регулятор:

$$T_I / T_{int} = -0.467 (\tau^* / T_{int}) + 0.624$$

$$1/K = 4.345 (\tau^* / T_{int}) - 0.151$$

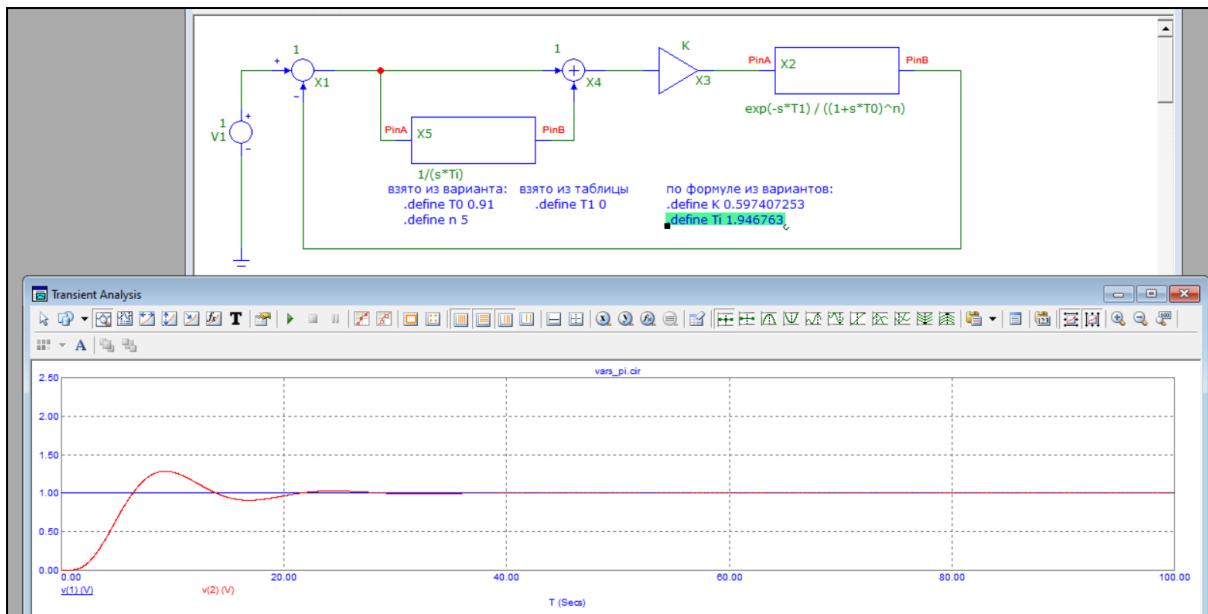
Считаем по Табл. 3:			
T0	0.91		
T = T1	0	1.5	3
T_int	4.55	6.05	7.55
T_ёмк	1.911	1.911	1.911
T_a	4.6592	4.6592	4.6592
tau*	1.911	3.411	4.911

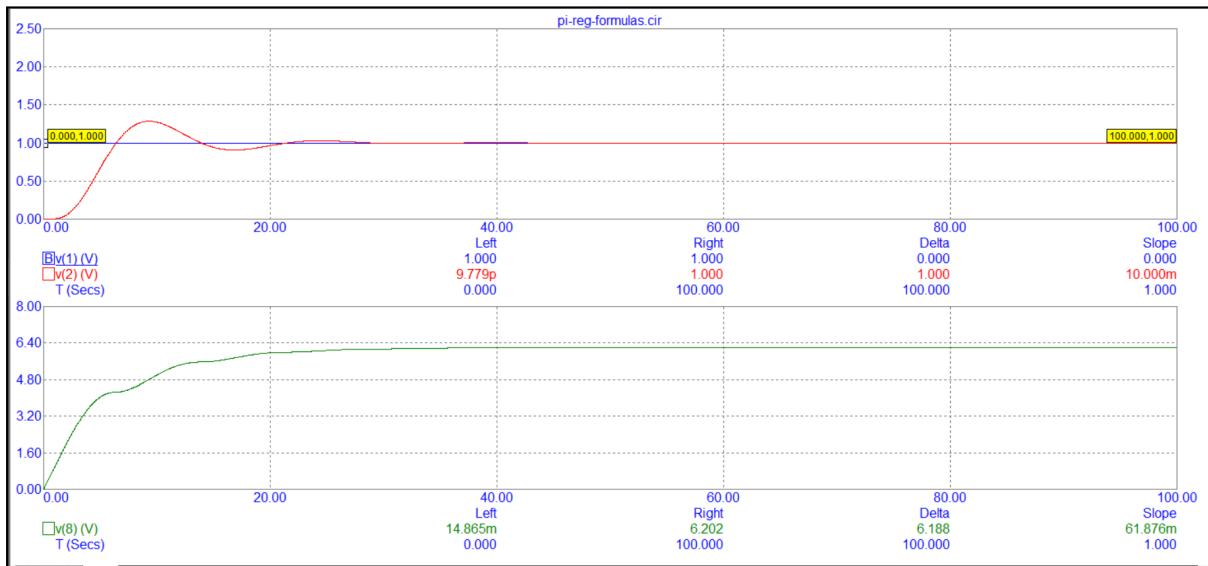
2й вар формул			
T_и/T_int	0.42786	0.360705	0.320234
1/K	1.6739	2.298718	2.675264

Ответ:

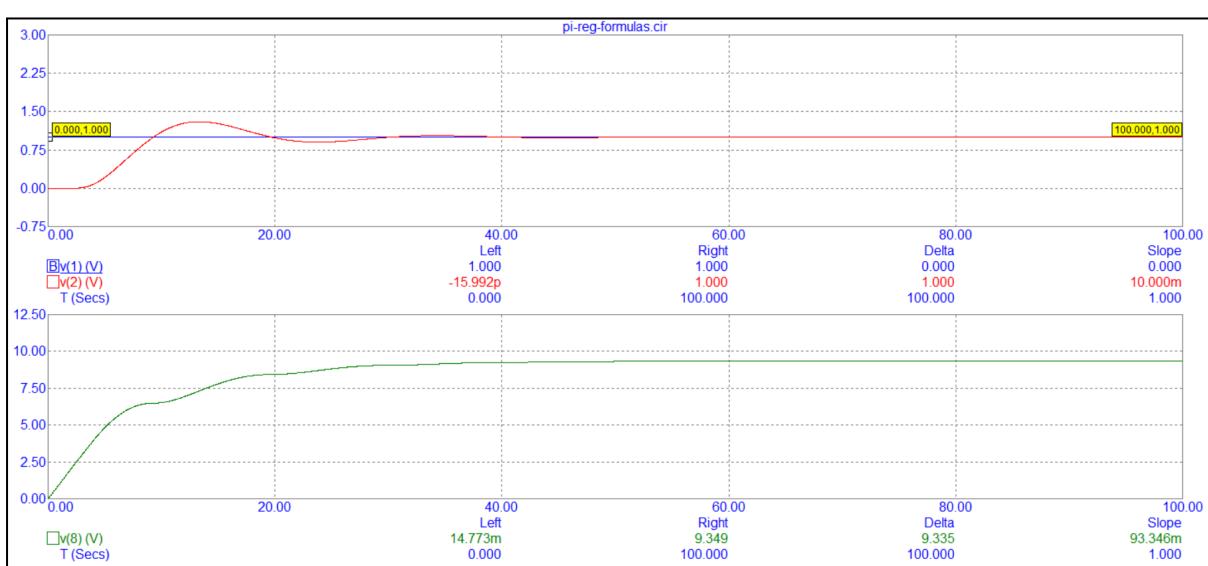
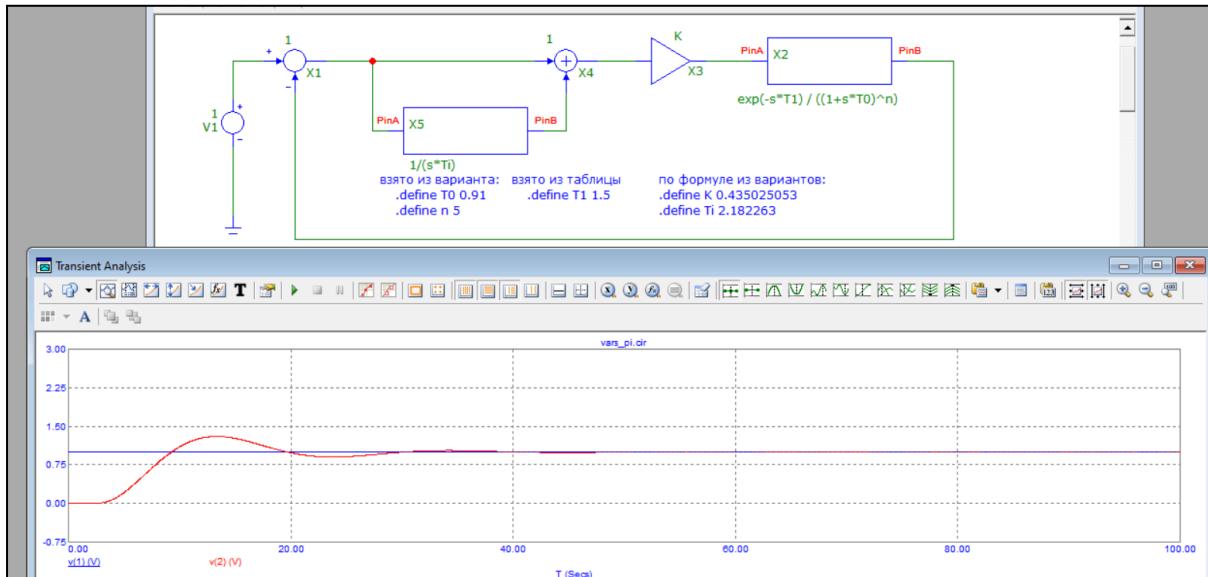
K	0.597407	0.435025	0.373795
T_и	1.946763	2.182263	2.417763
Ошибка	6.202	9.349	8.104
T = T1	0	1.5	3

При T1 = 0

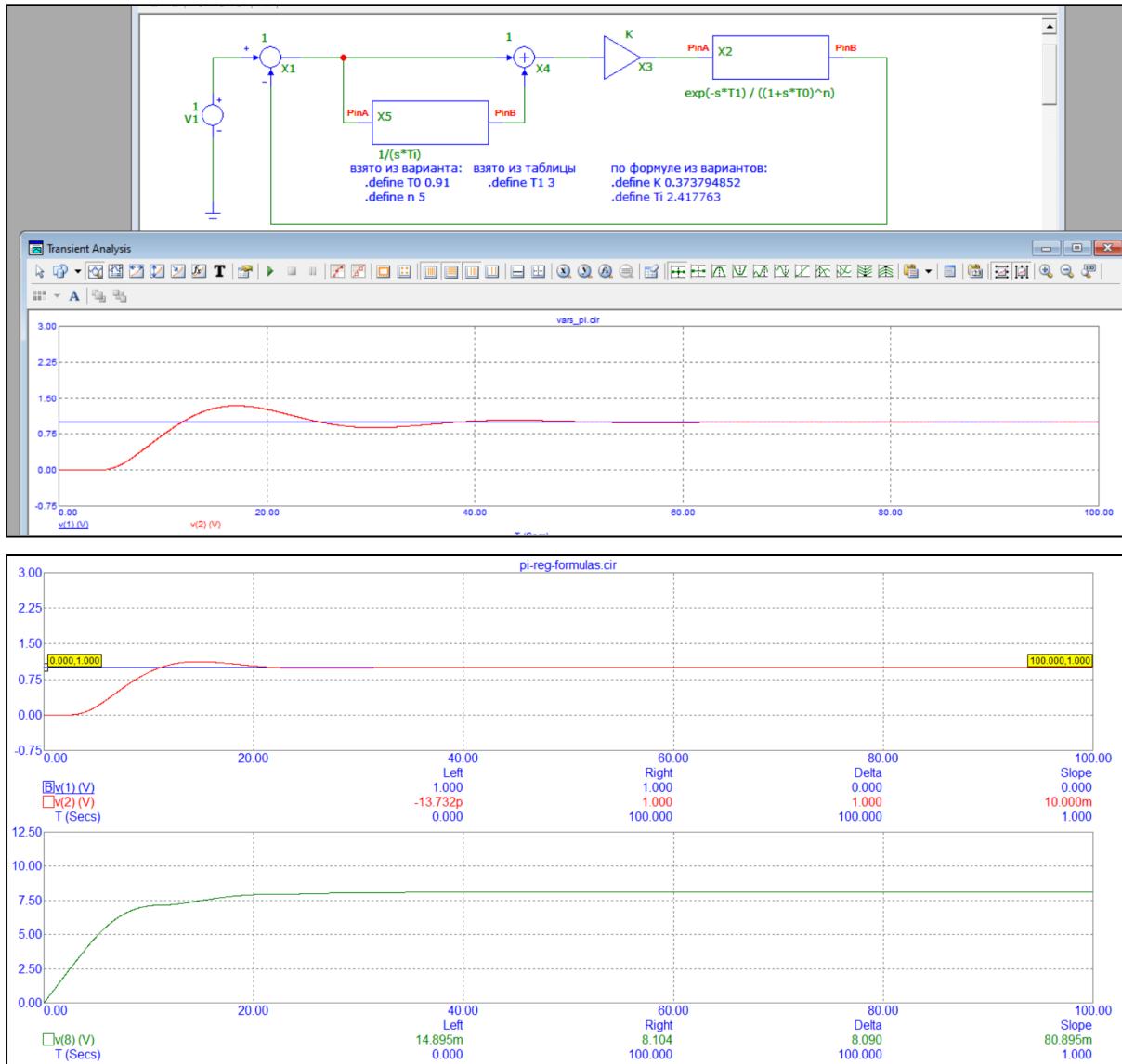




При $T_1 = 1.5$



При $T_1 = 3$



2. Работа с ПИД-регулятором

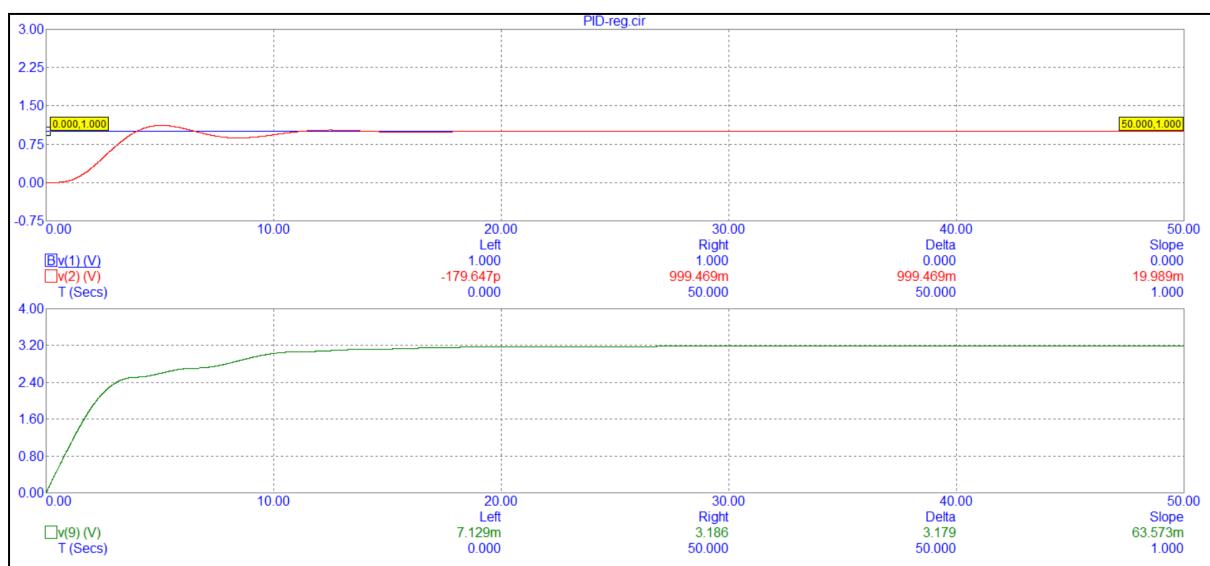
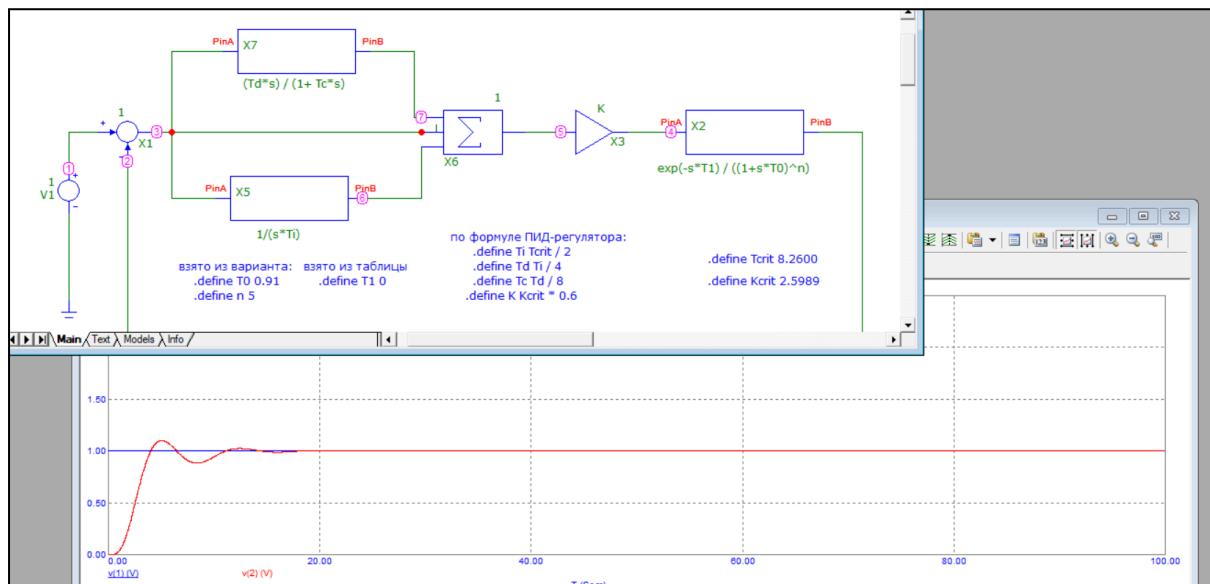
Для одноконтурной системы регулирования с ПИД-регулятором определить параметры К, ТИ , ТД , ТС следующими способами:

- по координатной оптимизацией К и ТИ по интегральному критерию качества (принять ТД = ТИ /4 и ТС = ТД /8).
- по параметрам переходной характеристики объекта (формулы в приложении).

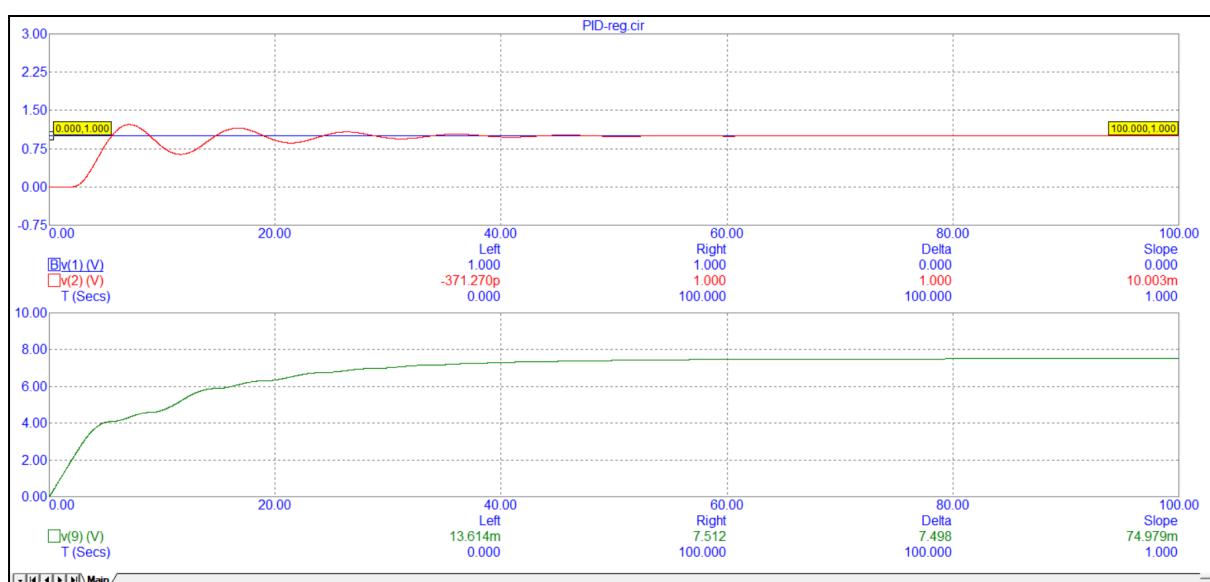
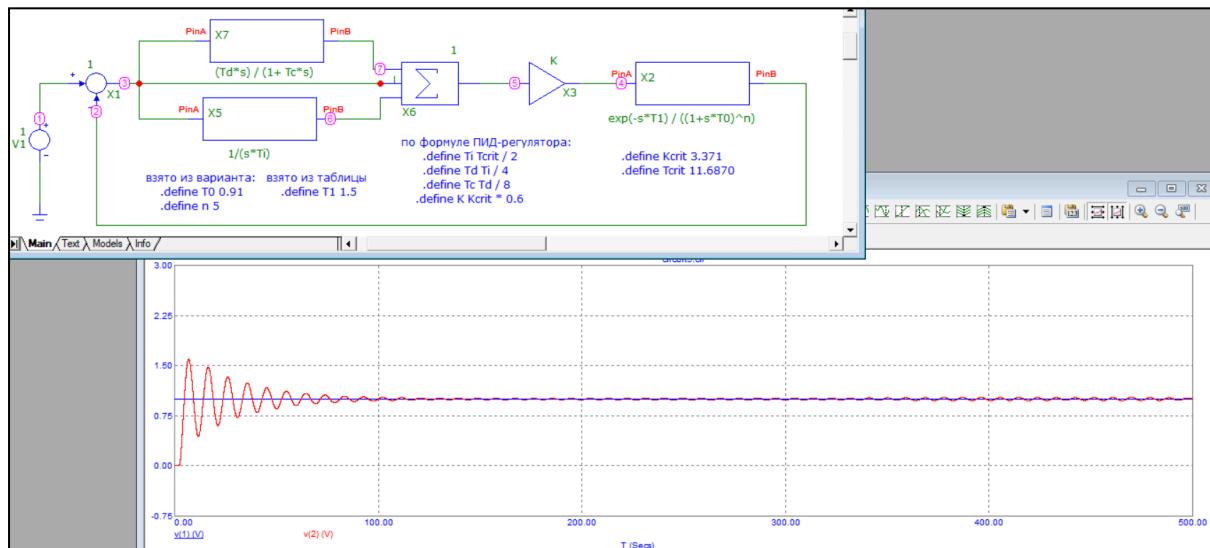
Сравнить полученные системы управления между собой по интегральному критерию качества. Сравнить ПИ- и ПИД-регуляторы между собой по интегральному критерию качества исходя из лучших значений К и ТИ .

По формулам

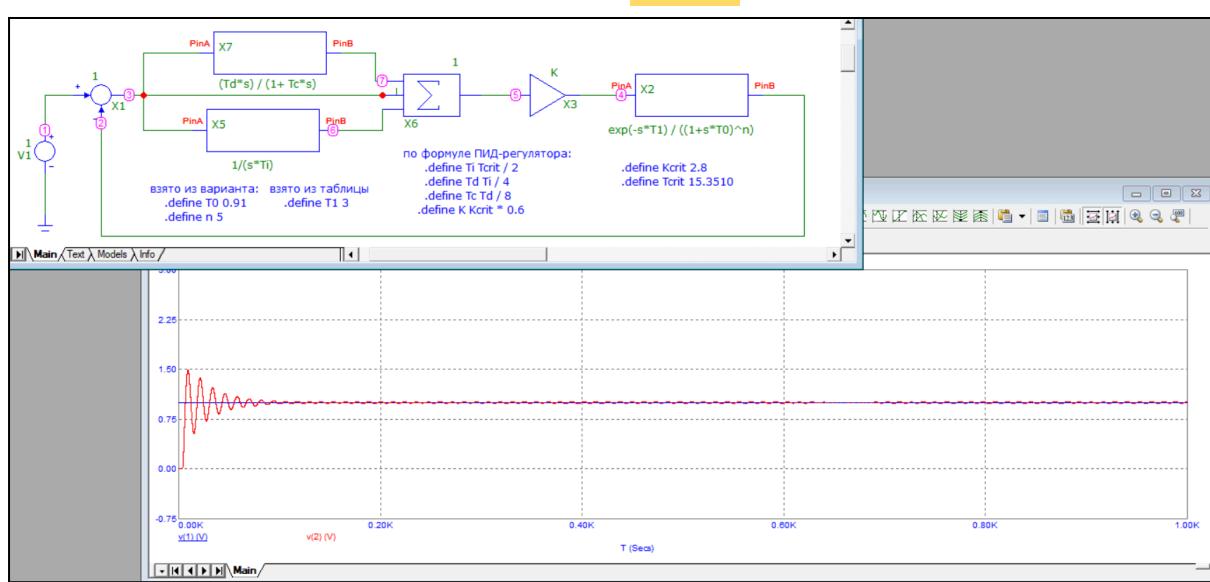
T1 = 0



T1 = 1.5



T1 = 3



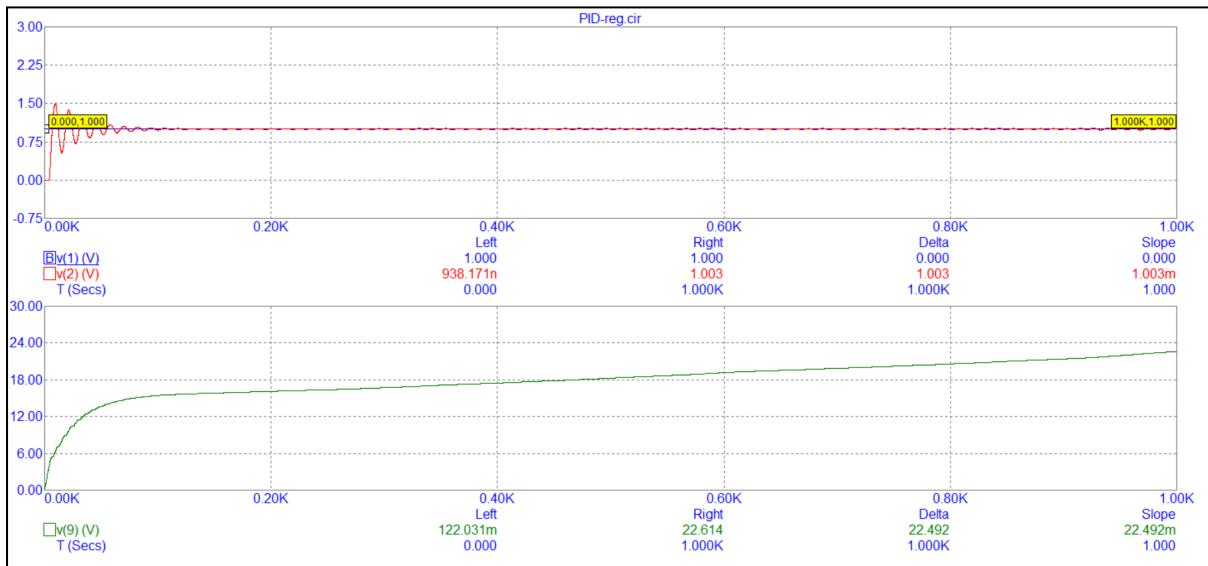


Таблица по формулам

Используя формулу

устойчивой работы ПИД-регулятора следует принять

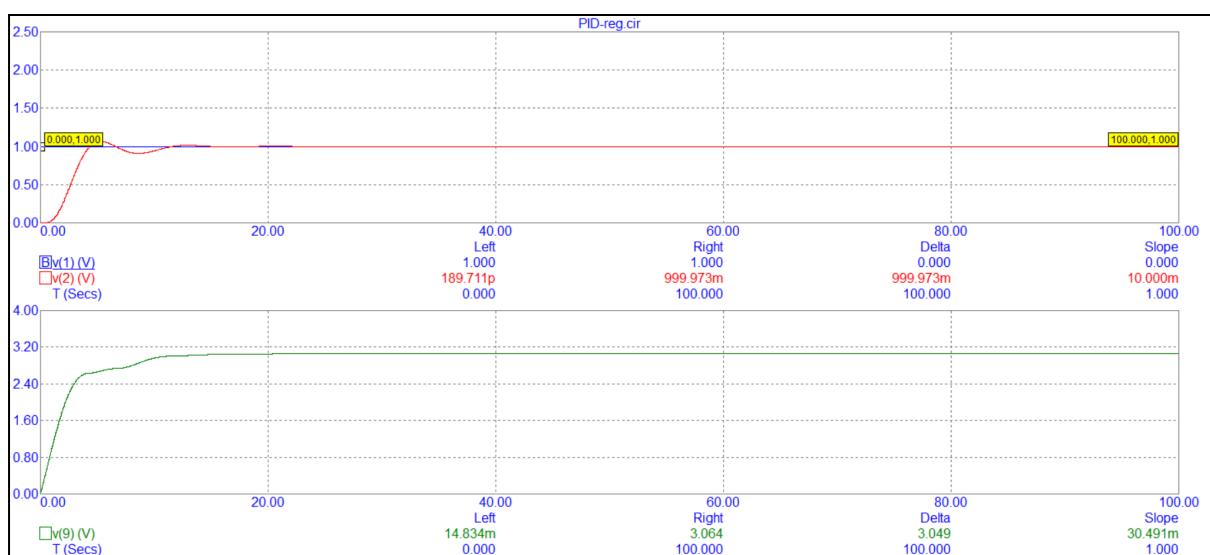
$$K = 0.6K_{\text{крит}}, \quad T_i = \frac{T_{\text{крит}}}{2}, \quad T_d = \frac{T_i}{4}, \quad T_c = \frac{T_d}{8}.$$

получаем

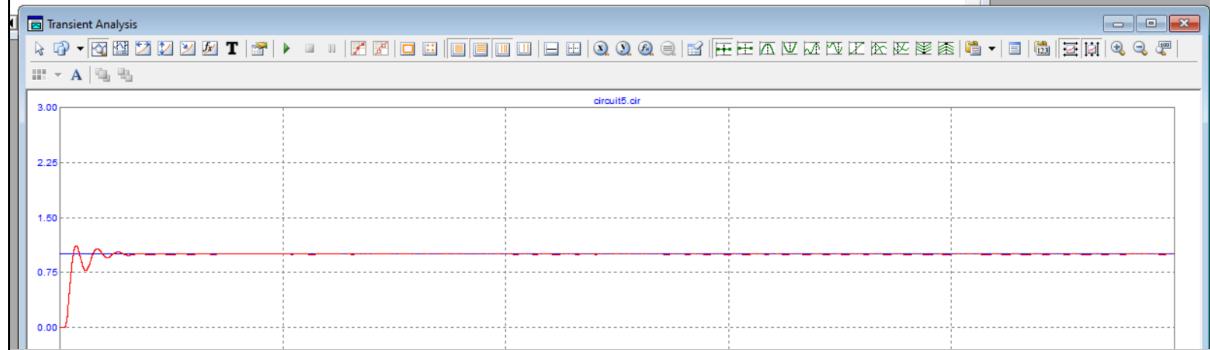
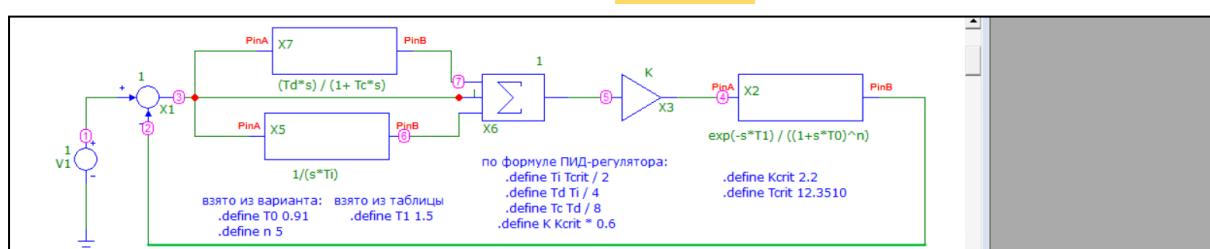
Для ПИД-регулятора							
T1	Kcrit	K = Kcrit * 0.6	Tкрит	Tи = Ткрит/2	Tд = Ти/4	Tс = Тд/8	Ошибка
0.00	2.5989	1.5593	8.2600	4.13	1.0325	0.129063	3.186
1.50	3.371	2.0226	11.6870	5.8435	1.460875	0.182609	7.512
3.00	2.8	1.6800	15.3510	7.6755	1.918875	0.239859	22.614

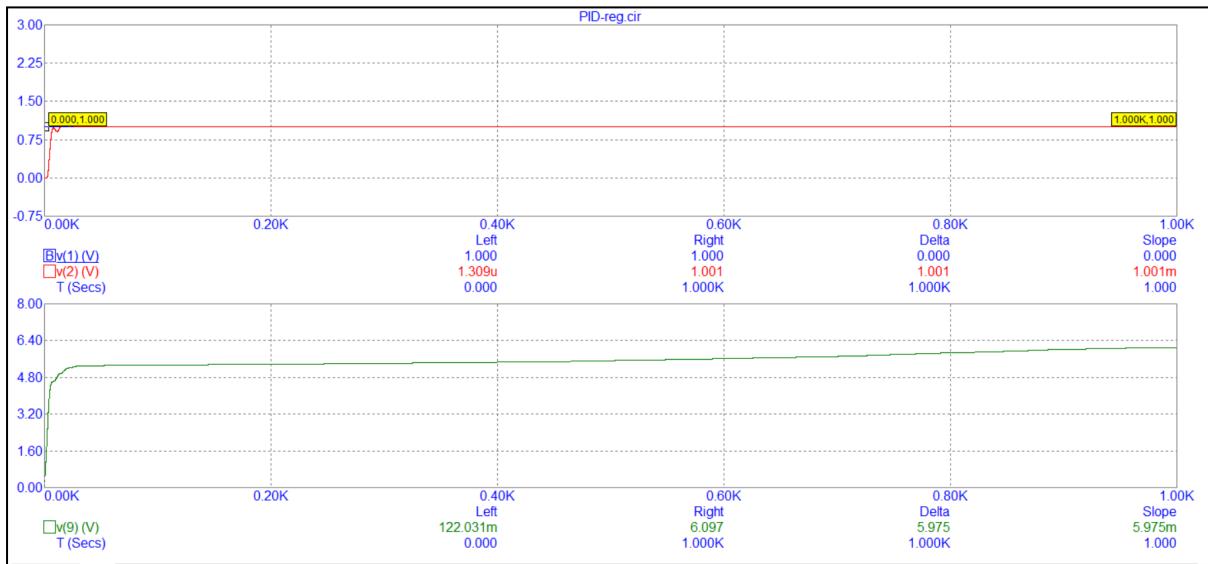
Покоординатная оптимизация

T1 = 0



T1 = 1.5





T1 = 3

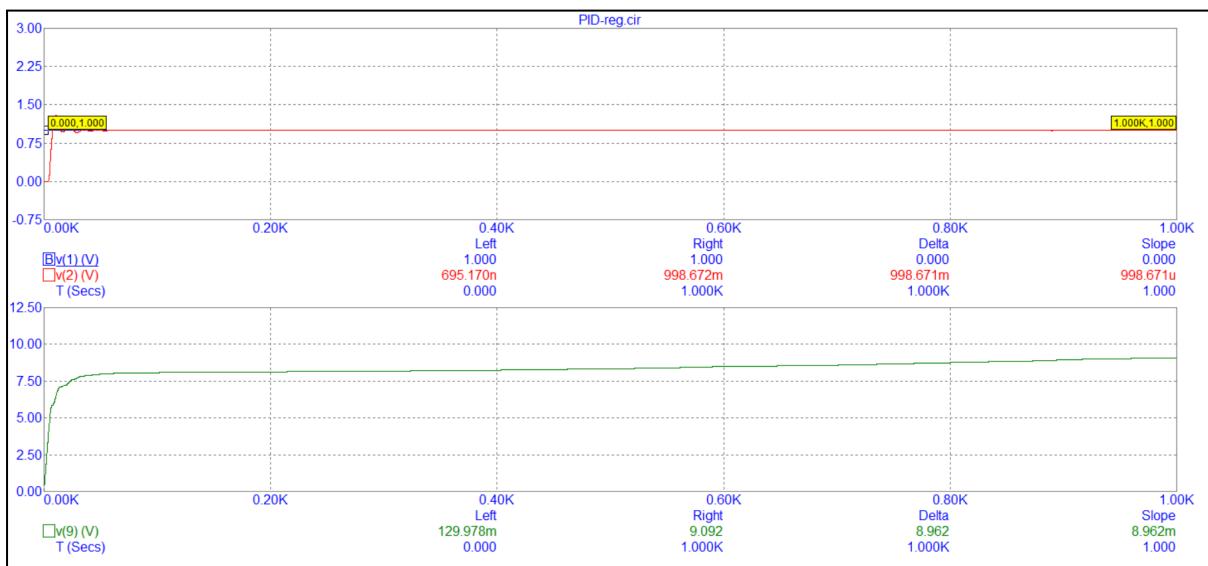
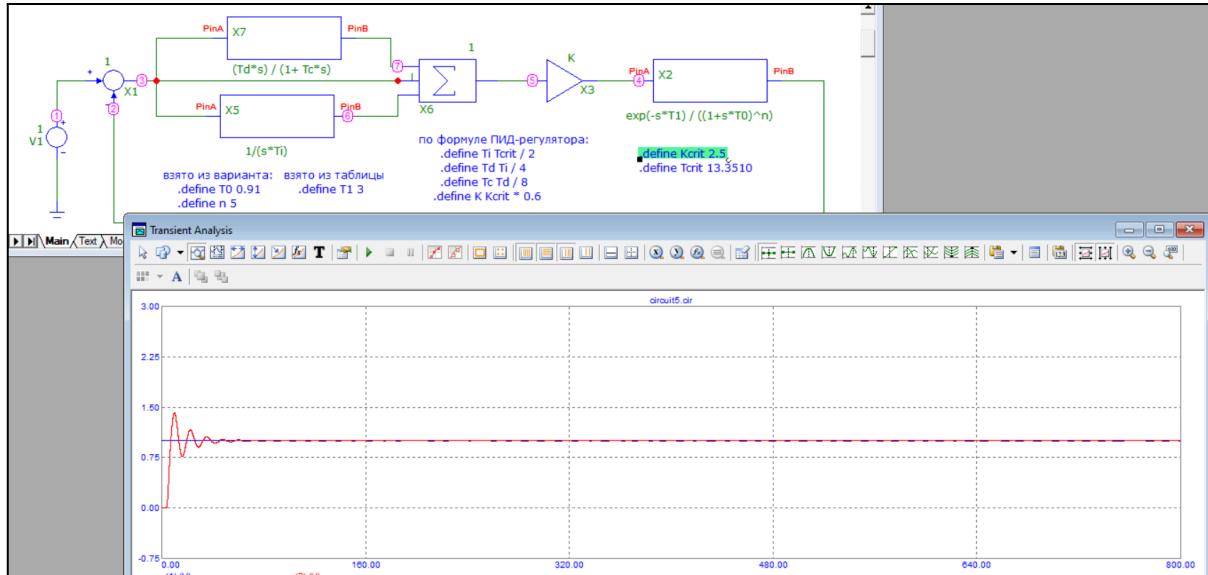


Таблица с покоординатной оптимизацией

Для ПИД-регулятора (покоординатная настройка)								
T1	Kcrit	K = Kcrit * 0.6	Tкрит	Tи = Tкрит/2	Tд = Tи/4	Tс = Tд/8	Ошибка	
0.00	2.3989	1.4393	8.0260	4.013	1.00325	0.12541	3.064	
1.50	2.2	1.3200	12.3510	6.1755	1.54388	0.19298	6.097	
3.00	2.5	1.5000	13.3510	6.6755	1.66888	0.20861	9.092	

Настройка по параметрам из формул 1й вар таблица

Используя формулы

2) ПИД-регулятор:

$$T_D = \alpha T_I, T_C = T_D / 8$$

$\alpha = 0.25$:

$$T_I / T_a = 0.186 (\tau^* / T_a) + 0.532$$

$$1/K = 1.552 (\tau^* / T_a) + 0.078$$

Считаем по Табл. 3:			
T0=	0.91	альфа=	0.25
T = T1	0	1.5	3
T_int	4.55	6.05	7.55
T_ёмк	1.911	1.911	1.911
T_a	4.6592	4.6592	4.6592
tau*	1.911	3.411	4.911

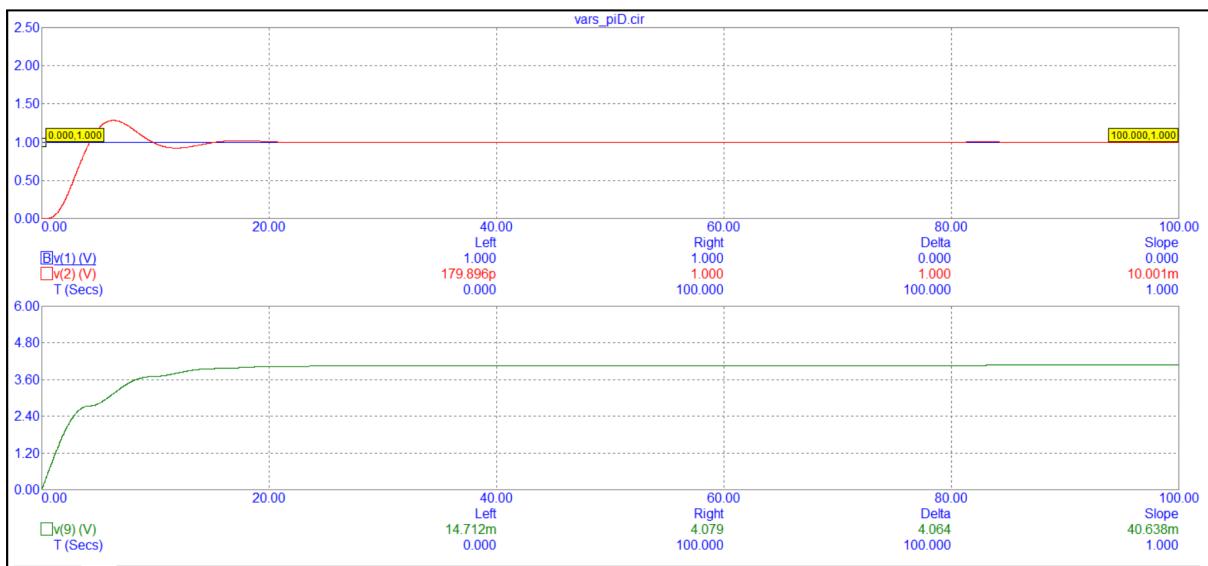
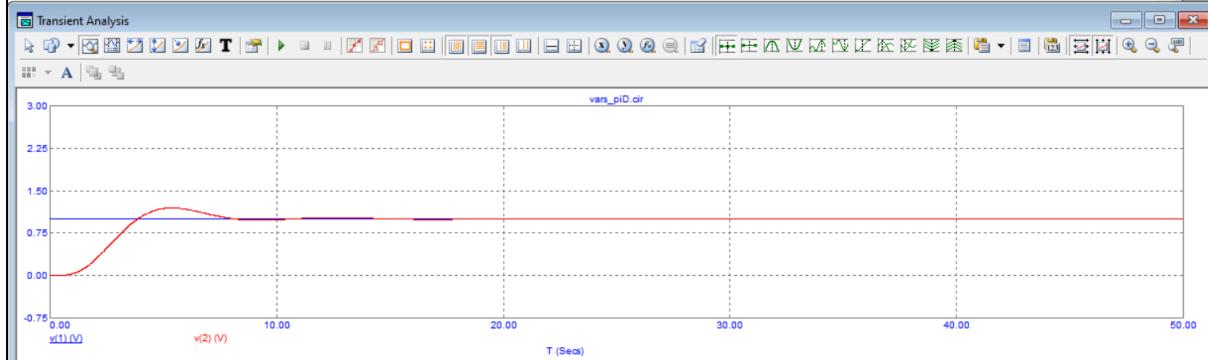
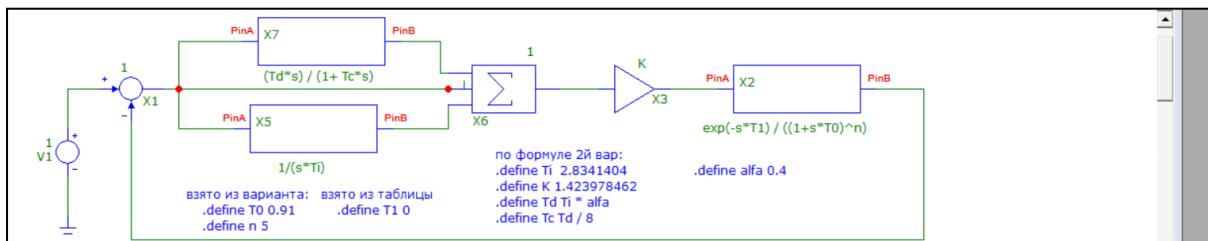
1й вар формул			
T_i/T_a	0.608289	0.668171	0.728052
1/K	0.702258	1.192256	1.682254

T_i	2.83414	3.11314	3.39214
T_d	0.708535	0.778285	0.848035
T_c	0.088567	0.097286	0.106004

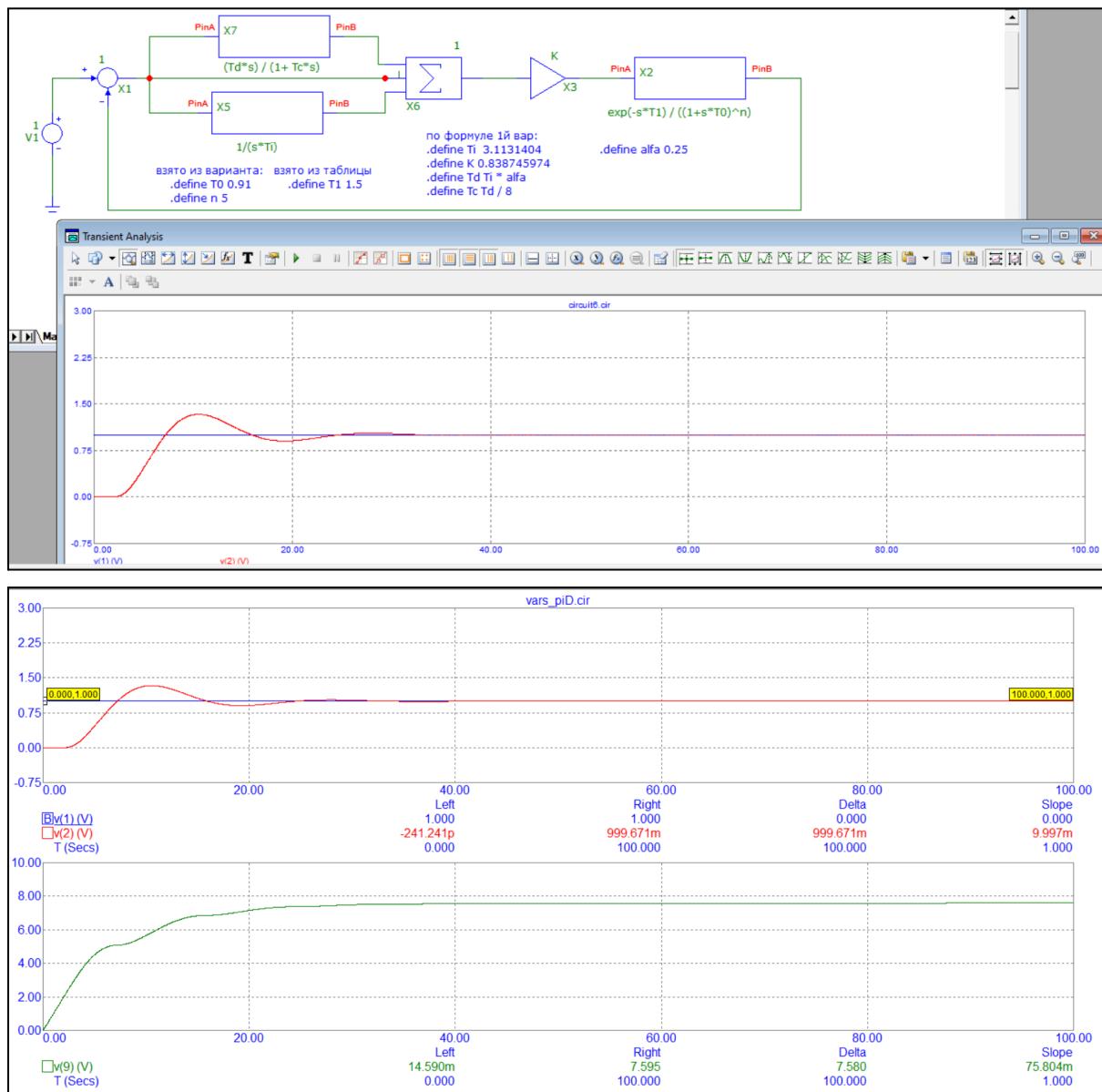
Ответ:

K	1.423978	0.838746	0.59444
T_i	2.83414	3.11314	3.39214
Ошибка	4.079	7.595	10.249
T = T1	0	1.5	3

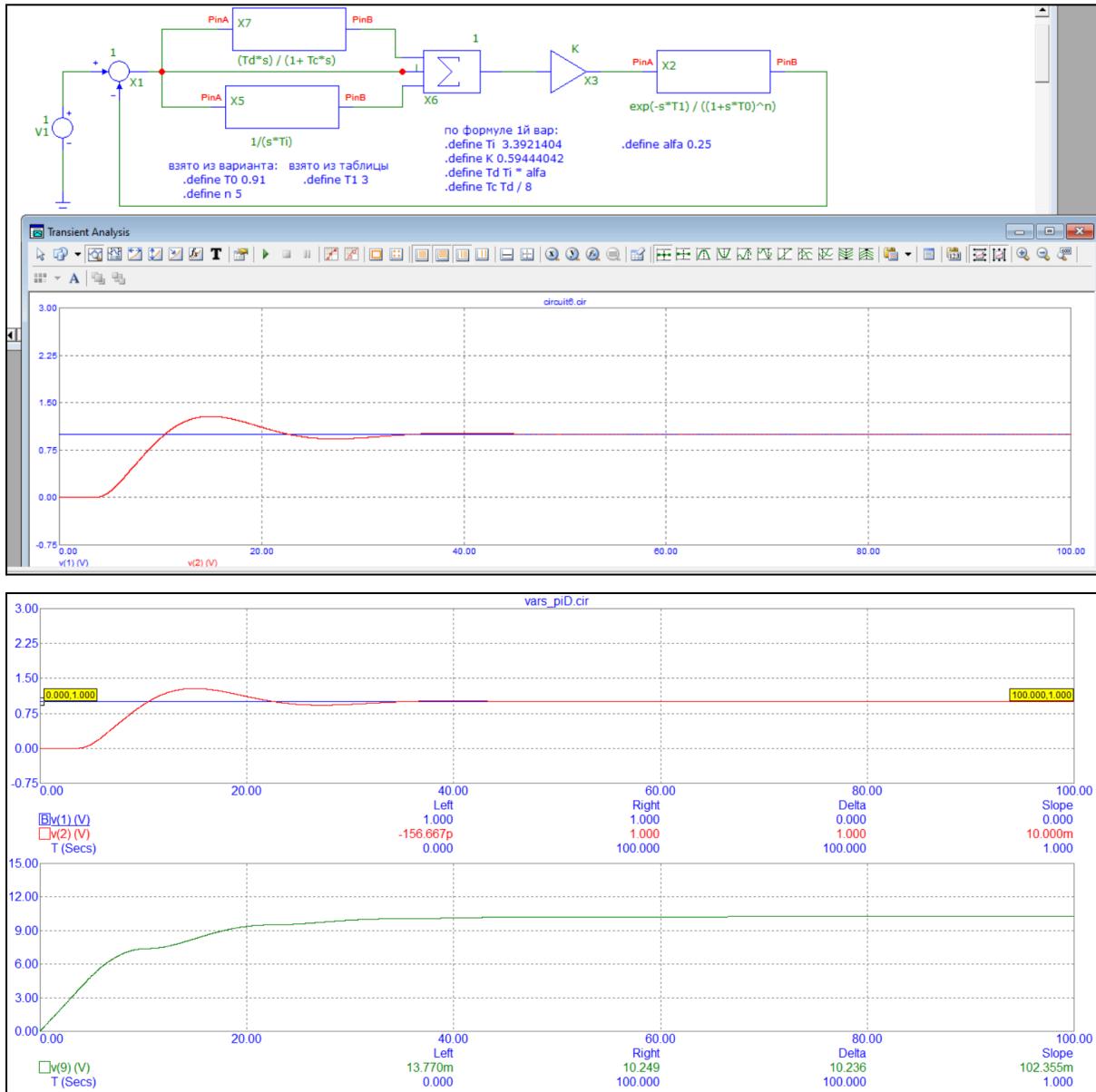
$$T_1 = 0$$



T1 = 1.5



T1 = 3



2й вар таблица

Используя формулы

2) ПИД-регулятор:

$$T_D = \alpha T_I, T_C = T_D / 8$$

$\alpha = 0.4 :$

$$T_I / T_{int} = -0.150 (\tau^* / T_{int}) + 0.552$$

$$1/K = 2.766 (\tau^* / T_{int}) - 0.521$$

Считаем по Табл. 3:			
T0=	0.91	альфа=	0.4
T = T1	0	1.5	3
T_int	4.55	6.05	7.55
T_ёмк	1.911	1.911	1.911
T_a	4.6592	4.6592	4.6592
tau*	1.911	3.411	4.911

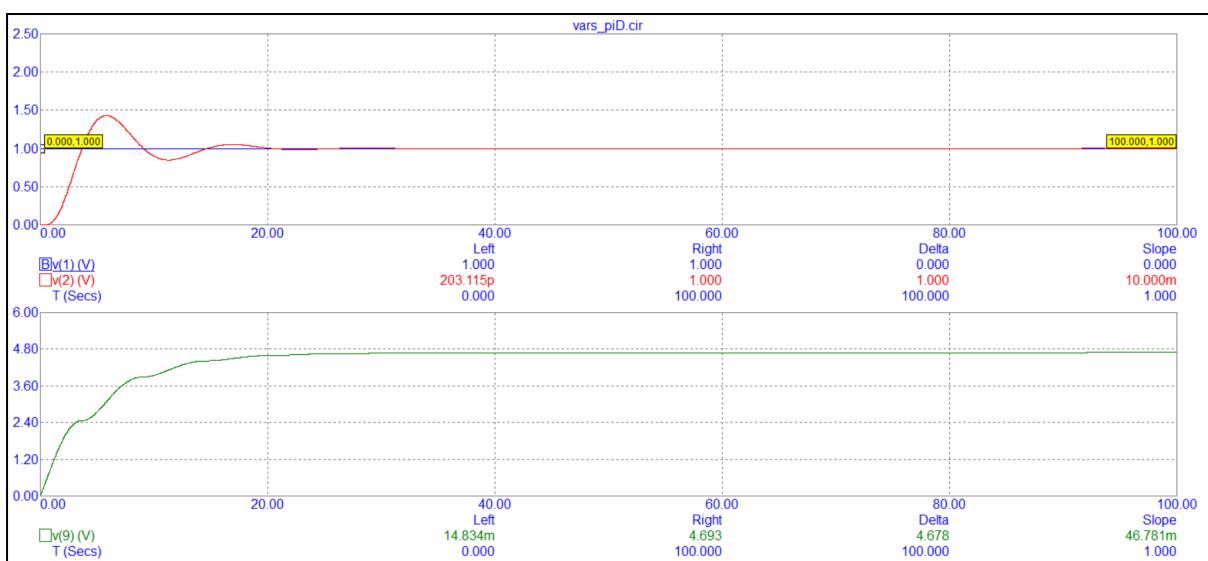
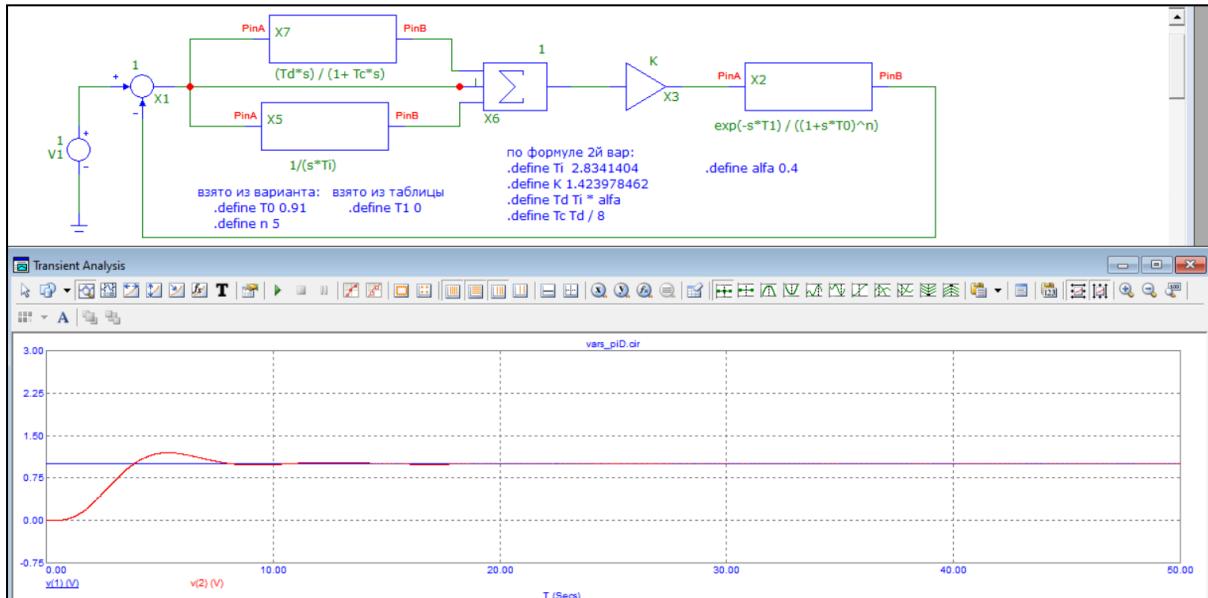
2й вар формул			
T_и/T_a	0.489	0.46743	0.45443
1/K	0.64072	1.038475	1.278182

T_и	2.22495	2.82795	3.43095
T_д	0.88998	1.13118	1.37238
T_c	0.111248	0.141398	0.171548

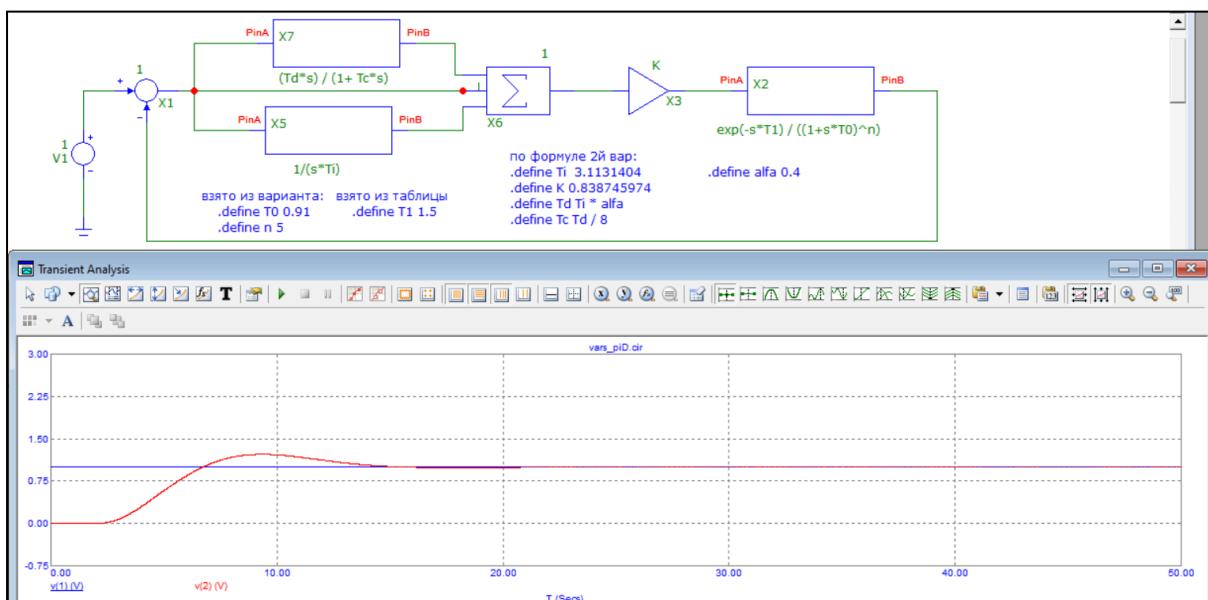
Ответ:

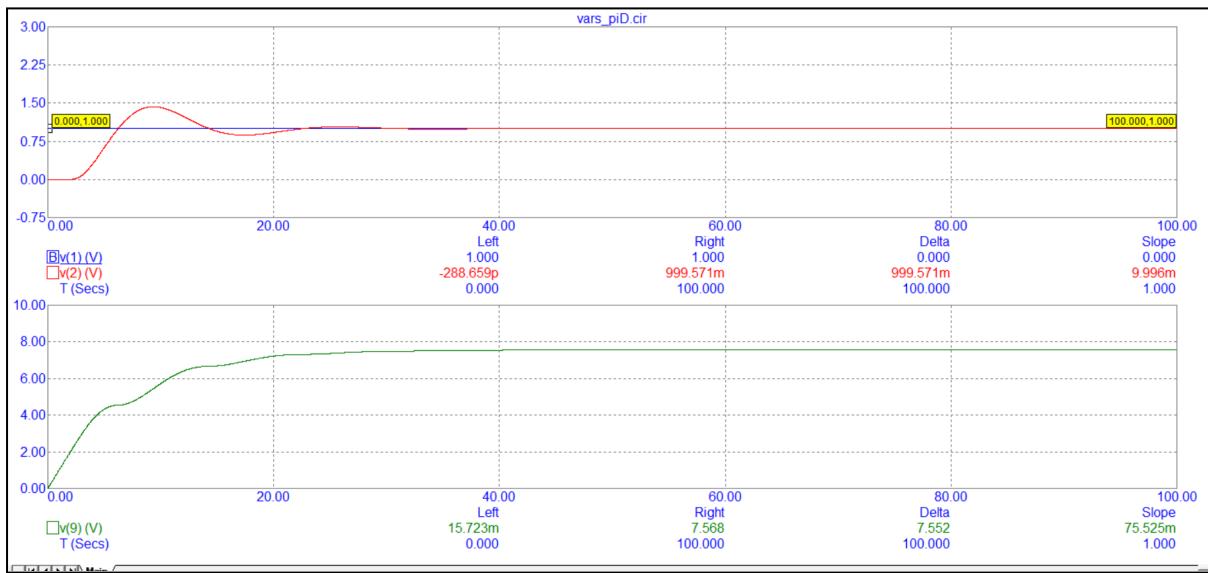
K	1.560744	0.96295	0.782361
T_и	2.22495	2.82795	3.43095
Ошибка	4.693	7.568	5.477
T = T1	0	1.5	3

T1 = 0

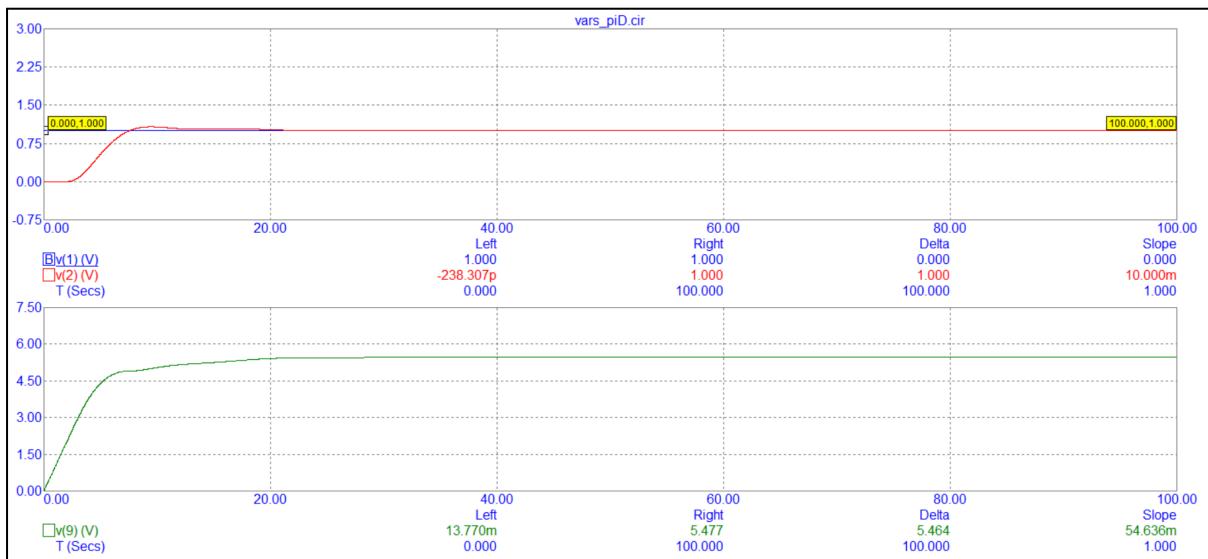
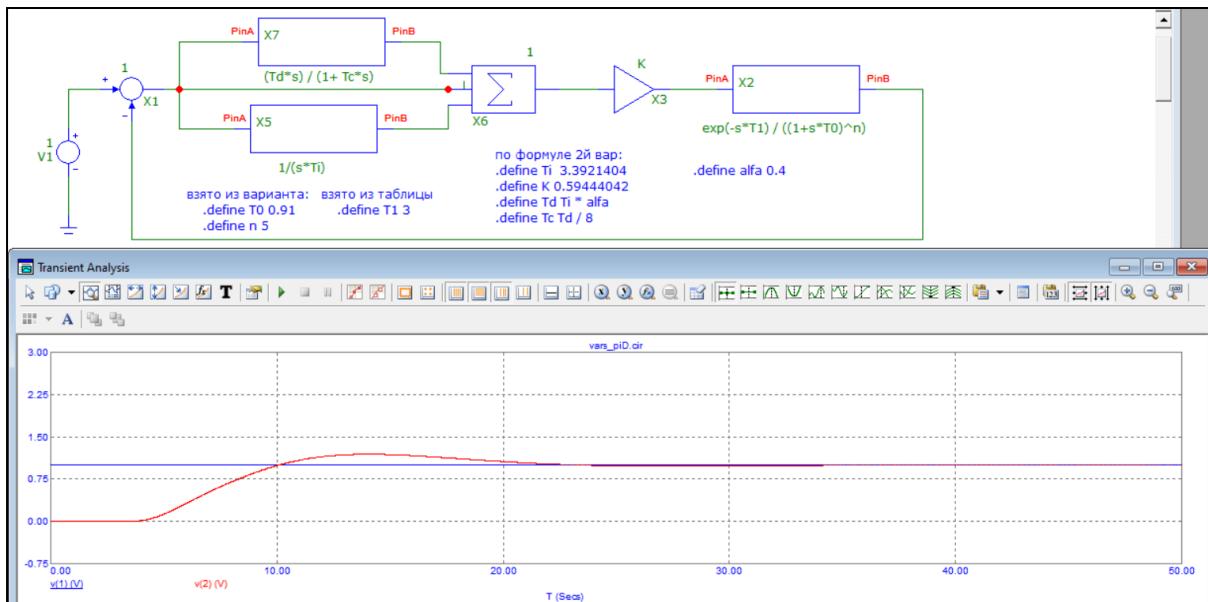


T1 = 1.5





T1 = 3



Итоговые таблицы

Метод Никольса-Циглера						
	ПИ-рег			ПИД-рег		
T1	K	T_и	Ошибка	Ошибка	K	T_и
0	1.169505	6.883333	5.998	3.186	1.55934	4.13
1.5	1.51695	9.739167	40.198	7.512	2.0226	5.8435
3	1.26	12.7925	54.25	22.614	1.68	7.6755

Метод покоординатной настройки						
	ПИ-рег			ПИД-рег		
T1	K	T_и	Ошибка	Ошибка	K	T_и
0	1.08	5	5.626	3.064	1.62	4.55
1.5	1.42695	7.5	35.286	6.097	1.32	6.1755
3	1.17	13	27.112	9.092	1.5	6.6755

1й вариант формул						
	ПИ-рег			ПИД-рег		
T1	K	T_и	Ошибка	Ошибка	K	T_и
0	0.622143	1.979013	6.233	4.079	1.423978	2.83414
1.5	0.450319	2.208513	9.455	7.595	0.838746	3.11314
3	0.352864	2.438013	12.086	10.249	0.59444	3.39214

2й вариант формул						
	ПИ-рег			ПИД-рег		
T1	K	T_и	Ошибка	Ошибка	K	T_и
0	2.416043	1.946763	6.202	4.693	1.560744	2.22495
1.5	1.646597	2.182263	9.349	7.568	0.96295	2.82795
3	1.381457	2.417763	8.104	5.477	0.782361	3.43095

3. Свои формулы

Предложить свои формулы настройки параметров ПИД-регулятора исходя из наилучших табличных значений K и ТИ . Сравнить по интегральному критерию

качества регулятор, настроенный по вашим формулам, с регулятором, настроенным по формулам из приложения, для значений параметра задержки объекта $T = 1; 2; 10$.

Выполнение

Если сравнить самые минимальные ошибки по ПИД-регуляторам, то они во 2м варианте формул.

T1	K	T_и	Ошибка
0	1.560744	2.22495	4.693
1.5	0.96295	2.82795	7.568
3	0.782361	3.43095	5.477

Вот:

Далее я решила сделать интерполяцию (хотя и данные, возможно, нелинейные, надо было попробовать) по K и T_и на [0, 1.5] & [1.5, 3]. Получился не очень хороший результат, он у меня и не сохранился.

Я решила учитывать еще и ошибку, и тогда у меня получилось вот что:

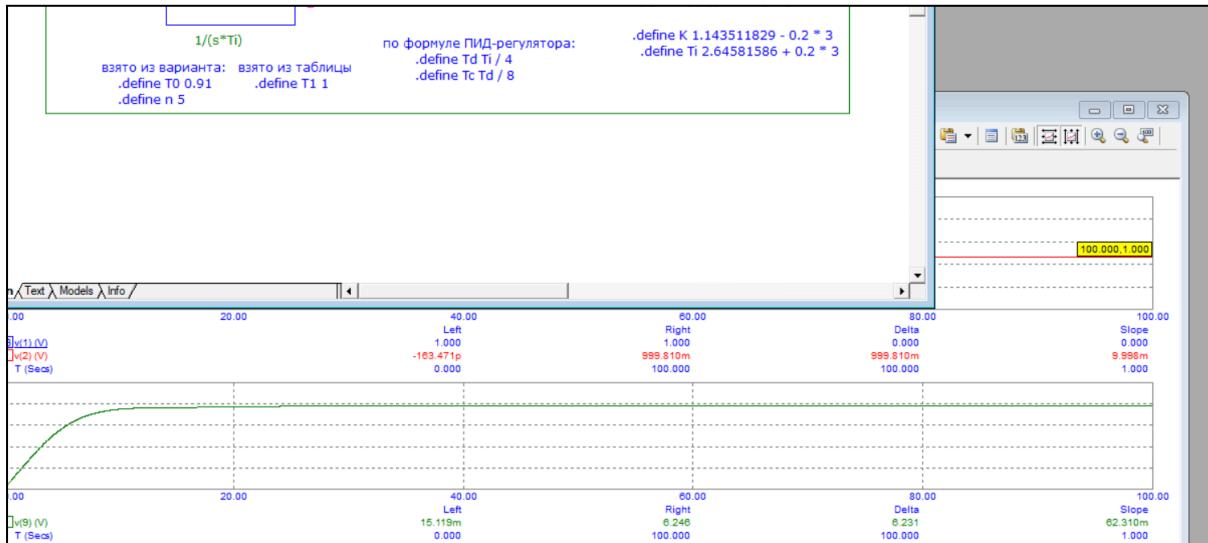
Интерполяция с учётом ошибки		
T1	K	T_и
0	1.560744	2.22495
1	1.143512	2.645816
1.5	0.934896	2.856249
2	0.899457	1.712009
3	0.77247	2.136026
10	-0.13783	5.104149

Интересует $T1 = 2, 3$ и 10 (но 10 - это очень большое значение для $T1$, тк при таких значениях K становится отрицательным, чего быть не должно. Так что 10 рассматривать не будем).

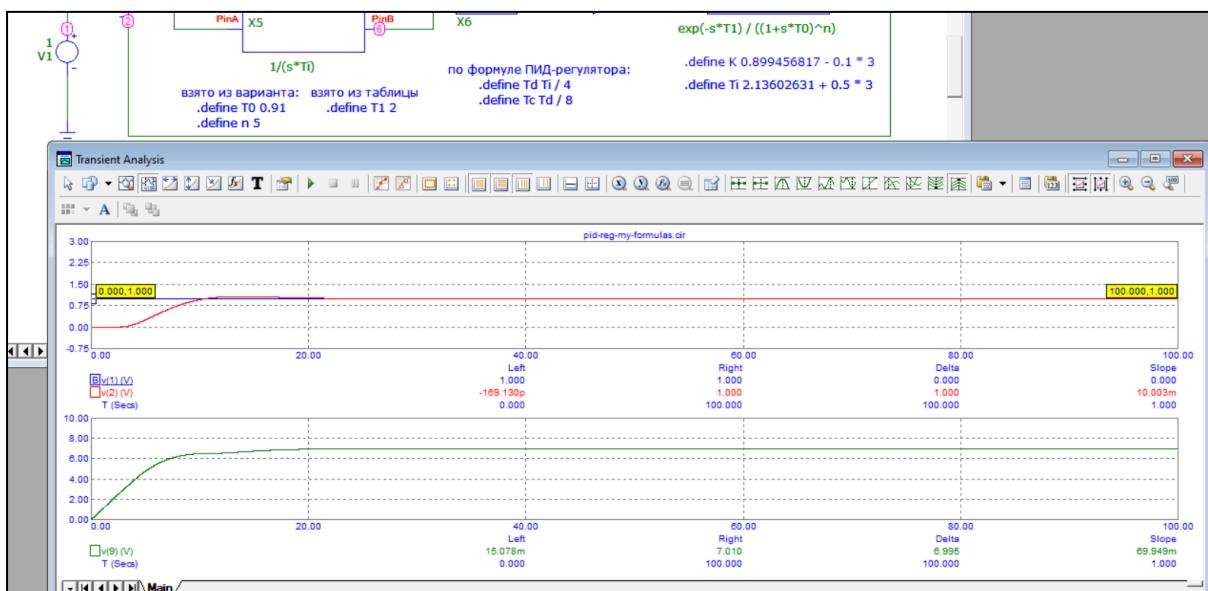
И графики с вышеприведенными данными на $T1 = 1$ и 2 - были не очень хорошиими. Поэтому стала подгонять экспериментально параметры так, чтобы ошибка была как можно меньше.

Вот что у меня получилось:

Для $T_1 = 1$



Для $T_1 = 2$



Формула для T1 = 1:

К:

A	B	C	D	E	F	G	H	I
T1	K	T_и	Ошибка					
0	1.560744	2.22495	4.693					
1.5	0.96295	2.82795	7.568					
3	0.782361	3.43095	5.477					

Интерполяция с учётом ошибки

T1	K	T_и
0	1.560744	2.22495
1	1.143512	2.645816
1.5	0.934896	2.856249
2	0.899457	1.712009
3	0.77247	2.136026
10	-0.13783	5.104149

T1	K	T_и	Ошибка
0	1.560744	2.22495	
1	- 0.2 * 3	3.245816	6.246
1.5	0.934896	2.856249	
2	0.599457	3.212009	7.01
3	0.77247	2.136026	
10	-0.13783	5.104149	

T_и:

<input type="button" value="▼"/>	<input type="button" value="X"/>	<input type="button" value="✓"/>	<input type="button" value="fx"/>	=D\$38+(\$D\$39-\$D\$38)/1.5*B54*(1+E\$38*0.01) + 0.2*3
B	C	D	E	F

T1	K	T_и	Ошибка
0	1.560744	2.22495	4.693
1.5	0.96295	2.82795	7.568
3	0.782361	3.43095	5.477

Интерполяция с учётом ошибки

T1	K	T_и
0	1.560744	2.22495
1	1.143512	2.645816
1.5	0.934896	2.856249
2	0.899457	1.712009
3	0.77247	2.136026
10	-0.13783	5.104149

T1	K	T_и	Ошибка
0	1.560744	2.22495	
1	0.543512	+ 0.2*3	6.246
1.5	0.321626	0.255319	

Формула для T1 = 2:

K:

	:	X	✓	fx	=C\$39+(\$C\$40-\$C\$39)/1.5*(B56-1.5)*(1+\$E\$40*0.01) - 0.1*3
B	C	D	E	F	G

T1	K	T_и	Ошибка
0	1.560744	2.22495	4.693
1.5	0.96295	2.82795	7.568
3	0.782361	3.43095	5.477

Интерполяция с учётом ошибки

T1	K	T_и
0	1.560744	2.22495
1	1.143512	2.645816
1.5	0.934896	2.856249
2	0.899457	1.712009
3	0.77247	2.136026
10	-0.13783	5.104149

T1	K	T_и	Ошибка
0	1.560744	2.22495	
1	0.543512	3.245816	6.246
1.5	0.934896	2.856249	
2	-0.1*3	3.212009	7.01
3	0.77247	2.136026	
10	-0.13783	5.104149	

T_и:

			fx	=\\$B\$39+(\$D\$40-\$D\$39)/1.5*(B56-1.5)*(1+\$E\$40*0.01)+0.5'			
B	C	D	E	F	G	H	I
Интерполяция с учётом ошибки							
T1	K	T_и					
0	1.560744	2.22495					
1	1.143512	2.645816					
1.5	0.934896	2.856249					
2	0.899457	1.712009					
3	0.77247	2.136026					
10	-0.13783	5.104149					
T1	K	T_и	Ошибка				
0	1.560744	2.22495					
1	0.543512	3.245816	6.246				
1.5	0.934896	2.856249					
2	0.599457) + 0.5 * 3	7.01				
3	0.77247	2.136026					
10	-0.13783	5.104149					

Таблица по моим формулам

Если растянуть соответствующие формулы на корректные промежутки, то получим:

если растянуть полученные формулы

T1	K	T_и	Ошибка
0	1.560744	2.22495	
1	0.543512	3.245816	6.246
1.5	0.334896	3.456249	
2	0.599457	3.212009	7.01
3	0.47247	3.636026	
10	-0.41644	6.604149	

