

РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКАЯ РАБОТА

по теме “Расчет системы автоматического регулирования скорости двигателя постоянного тока

Дано: электрическая схема системы автоматического регулирования (САР) скорости двигателя постоянного тока.

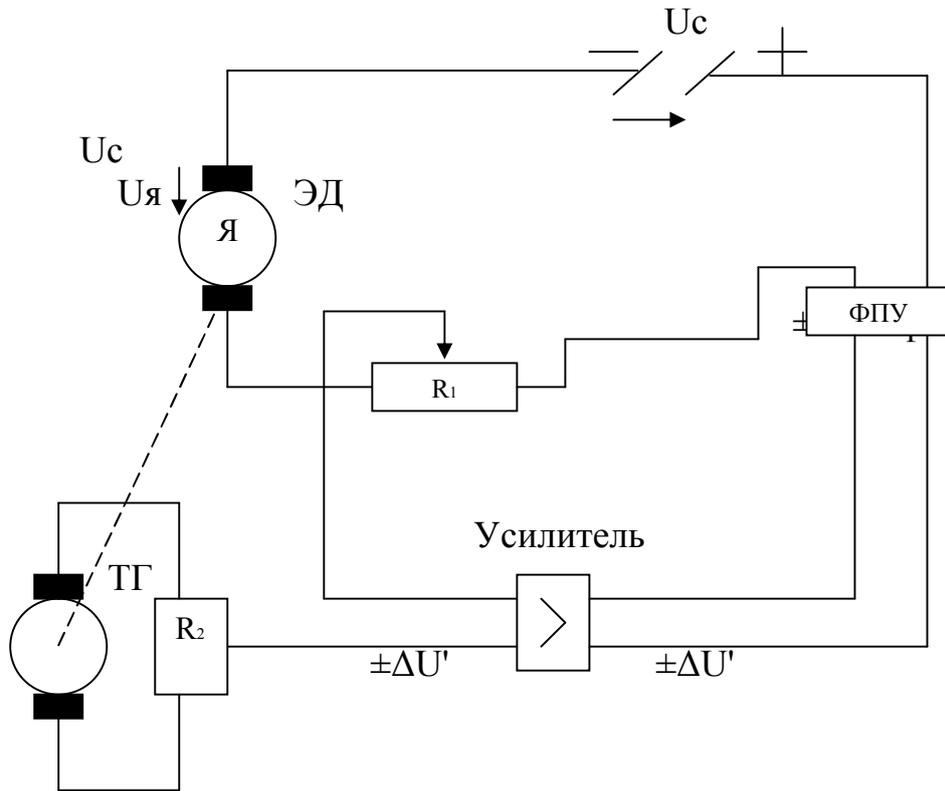


Рисунок 1 – Электрическая схема САР

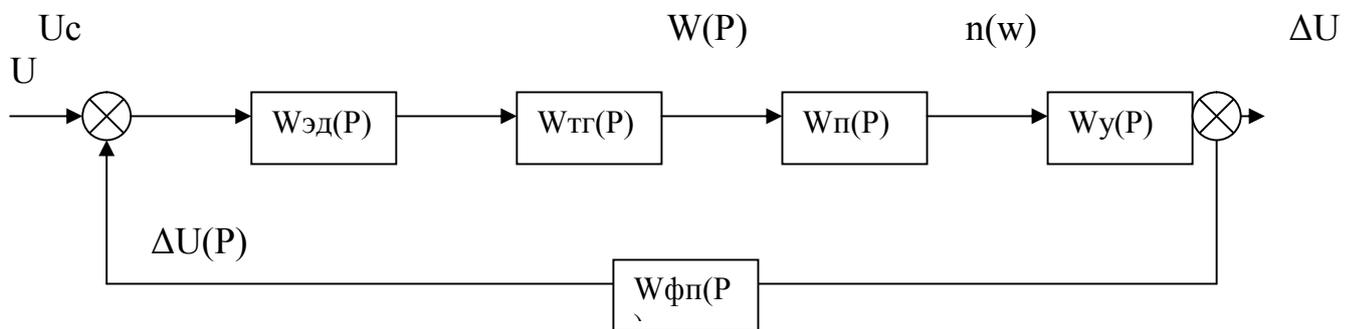


Рисунок 2 – Блок – схема САР

Таблица 1 – Характеристика звеньев САР

Название звена	Вход. величина		Вых. величина		Ур-ние звена	Передат. функция
	наи м.	ед. изм.	наи м.	ед. изм.		
Эл. двигатель	U	B	ω	об/мин	$T_{\delta} \frac{d\omega}{dt} t\omega - K_{\delta} \cdot U$	$W_{\delta}(P) = \frac{K_{\delta}}{T_{\delta} \cdot P + 1}$
Тахогенератор	ω	об/мин	U	B	$U = K_{\tau} \int_0^t \omega dt$	$W_{\tau}(P) = \frac{K_{\tau}}{P}$
Потенциометр	U	B	U	B	$U_{\Pi} = K_{\Pi} \cdot U_{\Pi}$	$W_{\Pi}(P) = K_{\Pi}$
Усилитель	U	B	U	B	$U_y = K_y (U_{\Pi} - U_{\Pi 2})$	$W_y(P) = K_y$
Фазопов. устр-во	U	B	U	B	$U_{\phi\Pi} = K_{\phi\Pi} \cdot \Delta U$	$W_{\phi\Pi}(P) = K_{\phi\Pi}$

Таблица 2 – Исходные данные

Название звена САР	Численные значения параметров звена САР	
	Коэффициент передачи	Постоянная времени
Эл. двигатель	$K_{\delta} = 1,6$	$T_{\delta} = 0,54$
Тахогенератор	$K_{\tau} = 1,14$	-
Потенциометр	$K_{\Pi} = 0,8$	-
Усилитель	$K_y = 8,12$	-
Фазоповоротное устр-во	$K_{\phi\Pi} = 0,92$	-

ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

1 ОПИСАНИЕ ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ САР

Вал якоря двигателя постоянного тока механически связан тахогенератором, который подключен к реостату R2. От средней точки реостата сигнал подводится к усилителю.

Принцип работы данной САР основан на уравнении:

$$U_{\text{я}} = U_{\text{с}} \pm K_{\phi\Pi} \cdot \Delta U' \quad (1)$$

На вход усилителя подается напряжение $\pm\Delta U$ ($\Delta U = U_{R2} - U_{R1}$). Усиленное напряжение обозначили $\pm\Delta U'$. Фазоповоротное устройство изменяет не только величину напряжения, но и его полярность.

Рассмотрим 3 случая:

1) Число оборотов вала равно заданному ($w = w_3$), тогда

$$U_{R2} = U_{R1}$$

$$\pm\Delta U = 0$$

т.е. разница потенциалов равна нулю и никакой регулировки числа оборотов вала не происходит.

2) Число оборотов вала увеличилось. Тогда увеличивается напряжение на тахогенераторе и, следовательно, разница потенциалов становится отличной от нуля. В этом случае уравнение (1) принимает вид:

$$U_{я} = U_{с} - K_{фП} \cdot \Delta U',$$

т.е. напряжение на якоре уменьшается, что вызывает падение угловой скорости вала до заданного значения.

3) Число оборотов вала уменьшилось. В этом случае напряжение на тахогенераторе также уменьшается и, следовательно, разница потенциалов также становится отличной от нуля, а уравнение (1) принимает вид:

$$U_{я} = U_{с} + K_{фП} \cdot \Delta U',$$

т.е. напряжение на якоре увеличивается, что вызывает увеличение угловой скорости вала до заданного значения.

Как видим, этот процесс происходит автоматически.

2 АНАЛИЗ БЛОК-СХЕМЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТИПА ЗВЕНЬЕВ

1. У электродвигателя входной сигнал (напряжение) вызывает аperiodическое стремление выходного сигнала (угловой скорости вала) к новому установившемуся значению, поэтому электродвигатель является аperiodическим звеном. Переходная функция аperiodического звена имеет вид:

$$h(t) = K_{эд} \left(1 - e^{-\frac{t}{T_{эд}}}\right)$$

Воспользовавшись уравнением переходной функции построим график переходного процесса электродвигателя постоянного тока.

Таблица 3 – Значения переходной функции в зависимости от значения времени

t	0	0,3	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8	2,1	2,4	2,7	3	3,3	3,6	3,9	4,2	4,5
h(t)	0	0,681995	1,073291	1,297799	1,426611	1,500518	1,542922	1,567251	1,58121	1,589219	1,593815	1,596451	1,597964	1,598832	1,59933	1,599615

Продолжение таблицы 3

4,8	5,1	5,4	5,7	6	6,3	6,6	6,9	7,2	7,5	7,8	8,1	8,4	8,7	9	9,3	9,6	9,9
1,599779	1,599873	1,599927	1,599958	1,599976	1,599986	1,599992	1,599995	1,599997	1,599999	1,599999	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6

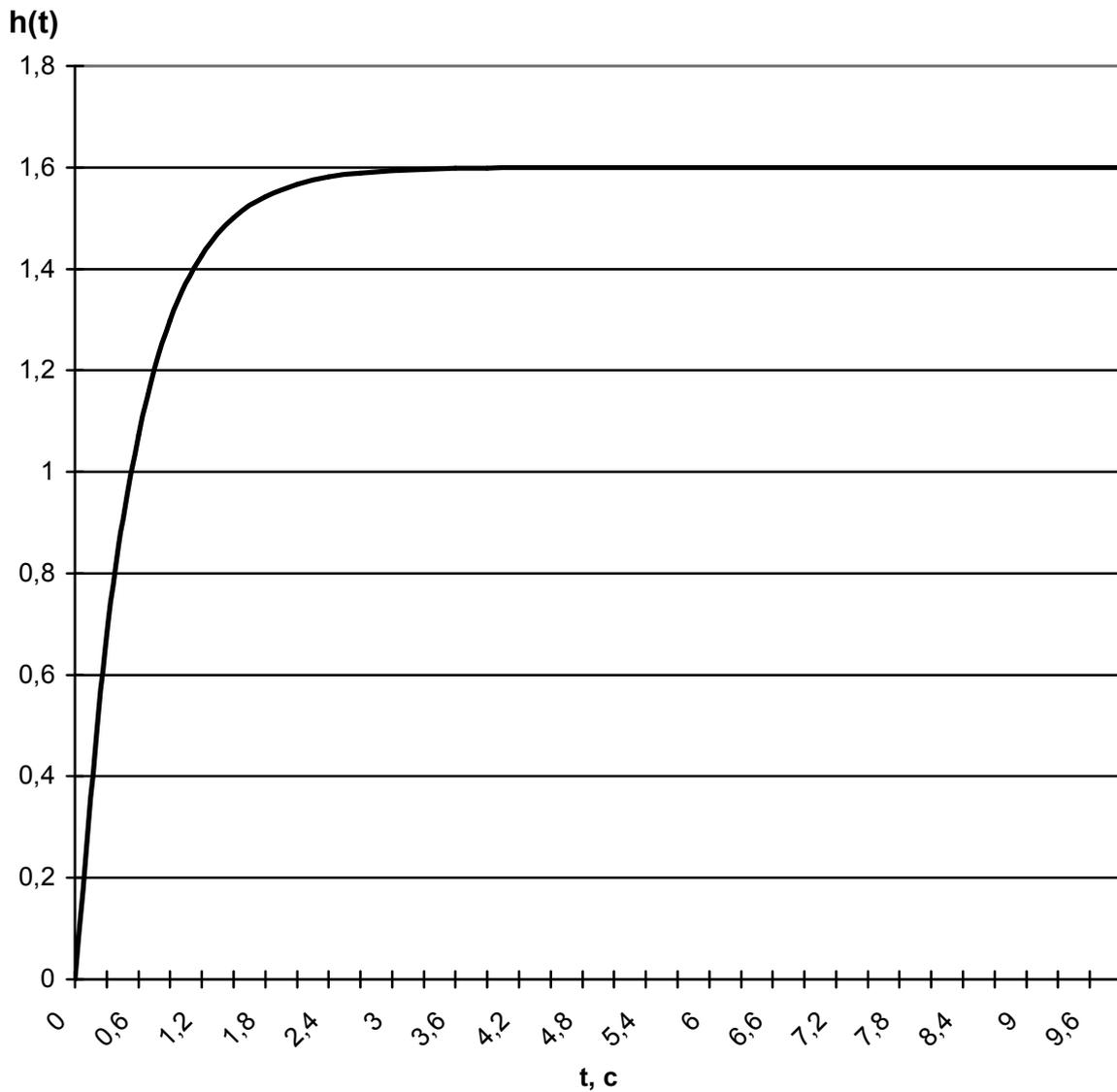


Рисунок 3 – График переходного процесса электродвигателя

2. Тахогенератор выполняет функции датчика скорости двигателя. Он является интегрирующим звеном. Значит переходная функция тахогенератора имеет вид:

$$h(t) = K_{TG} \cdot t$$

Построим график переходного процесса тахогенератора.

Таблица 4 – Значение переходной функции в зависимости от значения времени

t	0	1	2
h(t)	0	1.14	2.28

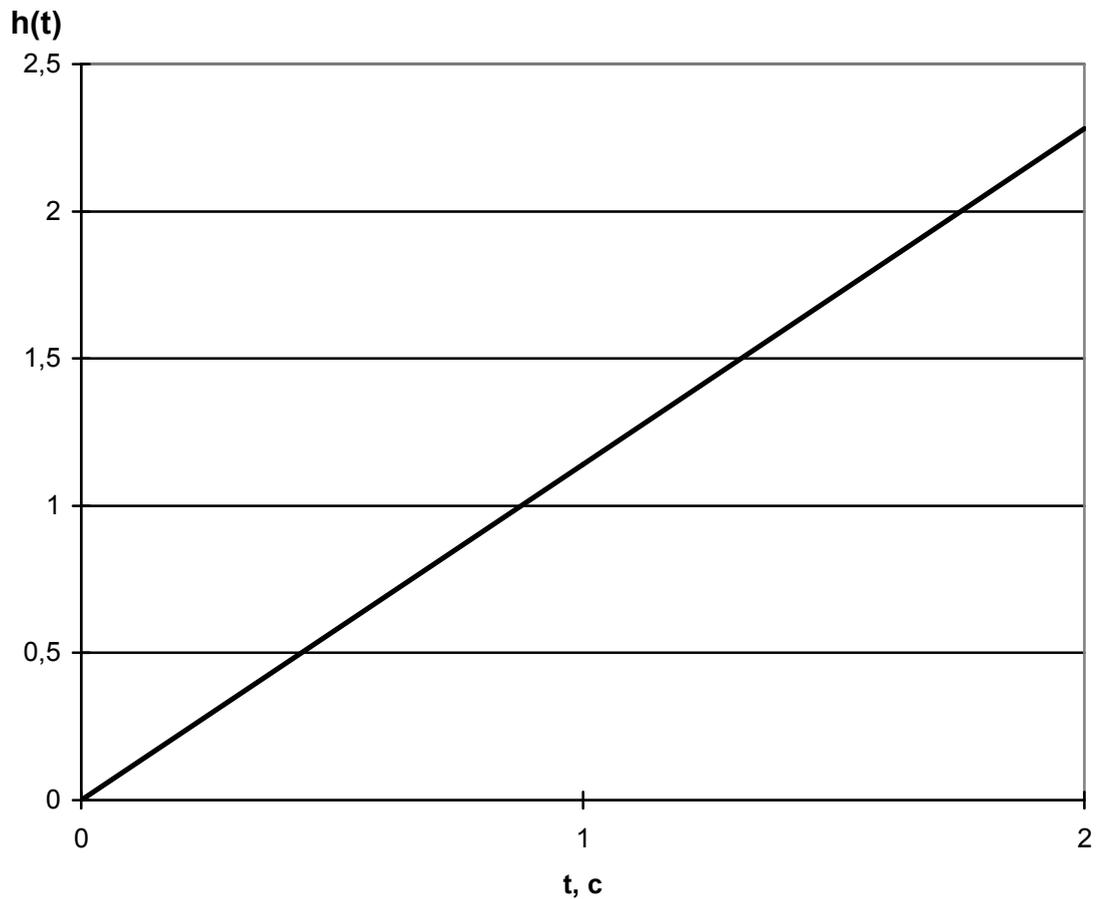


Рисунок 4 – График переходного процесса тахогенератора

3. Потенциометр следует отнести к усилительному звену, потому что в нем выходная величина (напряжение) без искажений и запаздываний воспроизводит входную величину (напряжение). Переходная функция у усилительного звена отсутствует.

4. Усилитель – это соответственно тоже усилительное звено и переходная функция также отсутствует.

5. Фазоповоротное устройство также можно отнести к усилительному звену. Переходной процесс в данном случае также отсутствует.

3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКВИВАЛЕНТНОЙ ПЕРЕДАТОЧНОЙ ФУНКЦИИ РАЗОМКНУТОЙ САР

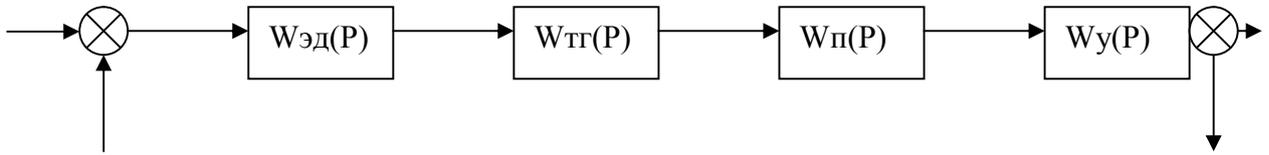


Рисунок 5 – Блок-схема разомкнутой САР

Для определения эквивалентной передаточной функции воспользуемся 1-ым правилом, которое гласит: эквивалентная передаточная функция последовательно включенных элементов равна произведению передаточных функций этих элементов:

$$W(P) = W_1(P) \cdot W_2(P) \cdot W_3(P)$$

В нашем случае эквивалентная передаточная функция примет вид:

$$W_0(P) = W_{эд}(P) \cdot W_{тг}(P) \cdot W_{п}(P) \cdot W_{у}(P)$$

$$W_0(P) = \frac{1,6}{0,54P + 1} \cdot \frac{1,14}{P} \cdot 0,8 \cdot 8,12 = \frac{11,85}{P(0,54P + 1)}$$

4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРЕДАТОЧНОЙ ФУНКЦИИ ЗАМКНУТОЙ САР

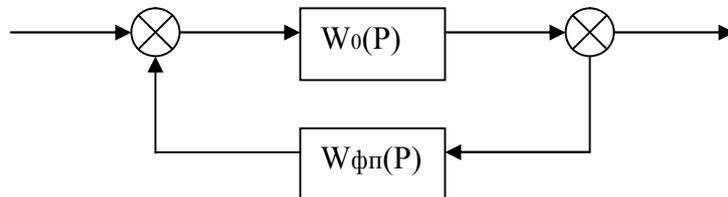


Рисунок 6 – Блок-схема замкнутой САР

Для определения эквивалентной передаточной функции воспользуемся 3-им правилом, которое гласит: эквивалентная передаточная функция элемента, охваченного обратной связью, определяется:

$$W(P) = \frac{W_1(P)}{1 + W_1(P) \cdot W_2(P)}$$

Значит передаточная функция замкнутой САР примет вид:

$$W_0(P) = \frac{\frac{11,85}{P(0,54P + 1)}}{1 + \frac{11,85}{P(0,54P + 1)} \cdot 0,92} = \frac{11,85}{0,54P^2 + P + 10,9} = \frac{1,09}{0,05P^2 + 0,09P + 1}$$

Знаменатель полученной функции называется характеристическим уравнением. Найдем корни этого уравнения, чтобы узнать, какая переходная функция у заданной САР.

$$P_{1,2} = \frac{-0,09 \pm \sqrt{0,09^2 - 4 \cdot 0,05 \cdot 1}}{2 \cdot 0,05} = -0,9 \pm j \cdot 1,92$$

$$j = \sqrt{-1}$$

Как видим, корнями этого уравнения являются комплексные числа, поэтому характер переходного процесса следует отнести к колебательному, а САР представляет собой колебательное звено:

$$W_{KЗ}(P) = \frac{K_{KЗ}}{T_{KЗ}^2 \cdot P^2 + 2\xi \cdot T_{KЗ} \cdot P + 1} = \frac{1,09}{0,05P^2 + 0,09P + 1},$$

где ξ - коэффициент затухания звена.

Определим параметры переходной функции:

$$1) K_{KЗ} = 1,09$$

$$2) T_{KЗ}^2 = 0,05 \Rightarrow T_{KЗ} = \sqrt{0,05} = 0,224$$

$$3) 2\xi T_{KЗ} = 0,09 \Rightarrow \xi = \frac{0,09}{2 \cdot 0,224} = 0,2$$

Переходная функция колебательного звена имеет вид:

$$h(t) = K_{KЗ} \left[1 - e^{-\frac{\xi}{T_{KЗ}} t} \left(\cos \frac{\sqrt{1-\xi^2}}{T_{KЗ}} t + \frac{\xi}{\sqrt{1-\xi^2}} \cdot \sin \frac{\sqrt{1-\xi^2}}{T_{KЗ}} t \right) \right]$$

Подставим значения в формулу, получим

$$h(t) = 1,09 [1 - e^{-0,893t} (\cos 4,374t + 0,204 \sin 4,374t)]$$

Посчитаем ряд значений переходной функции и построим график переходного процесса САР, задавшись интервалов $\Delta t = \frac{T_{KЗ}}{3\xi} = \frac{0,224}{3 \cdot 0,2} = 0,373$

Таблица 5 – Значение переходной функции в зависимости от значения времени

t	0	0,37 3	0,74 6	1,11 9	1,49 2	1,86 5	2,23 8	2,61 1	2,98 4	3,35 7
h(t)	0	0,97 83	1,65 96	1,09 78	0,79 67	1,11 15	1,23 88	1,06 60	1,01 57	1,10 88
hуст(t)	1,09	1,09	1,09	1,09	1,09	1,09	1,09	1,09	1,09	1,09

hmax (t)	1,12 27									
hmin(t)	1,05 73									

3,73	4,10 3	4,47 6	4,84 9	5,22 2	5,59 5	5,96 8	6,34 1	6,71 4	7,08 7	7,46
1,126 6	1,07 72	1,07 23	1,09 81	1,09 84	1,08 51	1,08 61	1,09 29	1,09 17	1,08 84	1,08 92
1,09	1,09	1,09	1,09	1,09	1,09	1,09	1,09	1,09	1,09	1,09
1,122 7	1,12 27									
1,057 3	1,05 73									

7,833	8,20 6	8,57 9	8,95 2	9,32 5	9,69 8	10,0 71	10,4 44	10,8 17	11,1 9	11,5 63
1,090 9	1,09 03	1,08 95	1,08 99	1,09 03	1,09 00	1,08 99	1,09 00	1,09 01	1,09 00	1,09 00
1,09	1,09	1,09	1,09	1,09	1,09	1,09	1,09	1,09	1,09	1,09
1,122 7	1,12 27									
1,057 3	1,05 73									

11,93 6	12,3 09	12,6 82	13,0 55	13,4 28	13,8 01	14,1 74	14,5 47
1,090 0	1,09 00						
1,09	1,09	1,09	1,09	1,09	1,09	1,09	1,09
1,122 7	1,12 27						
1,057 3	1,05 73						

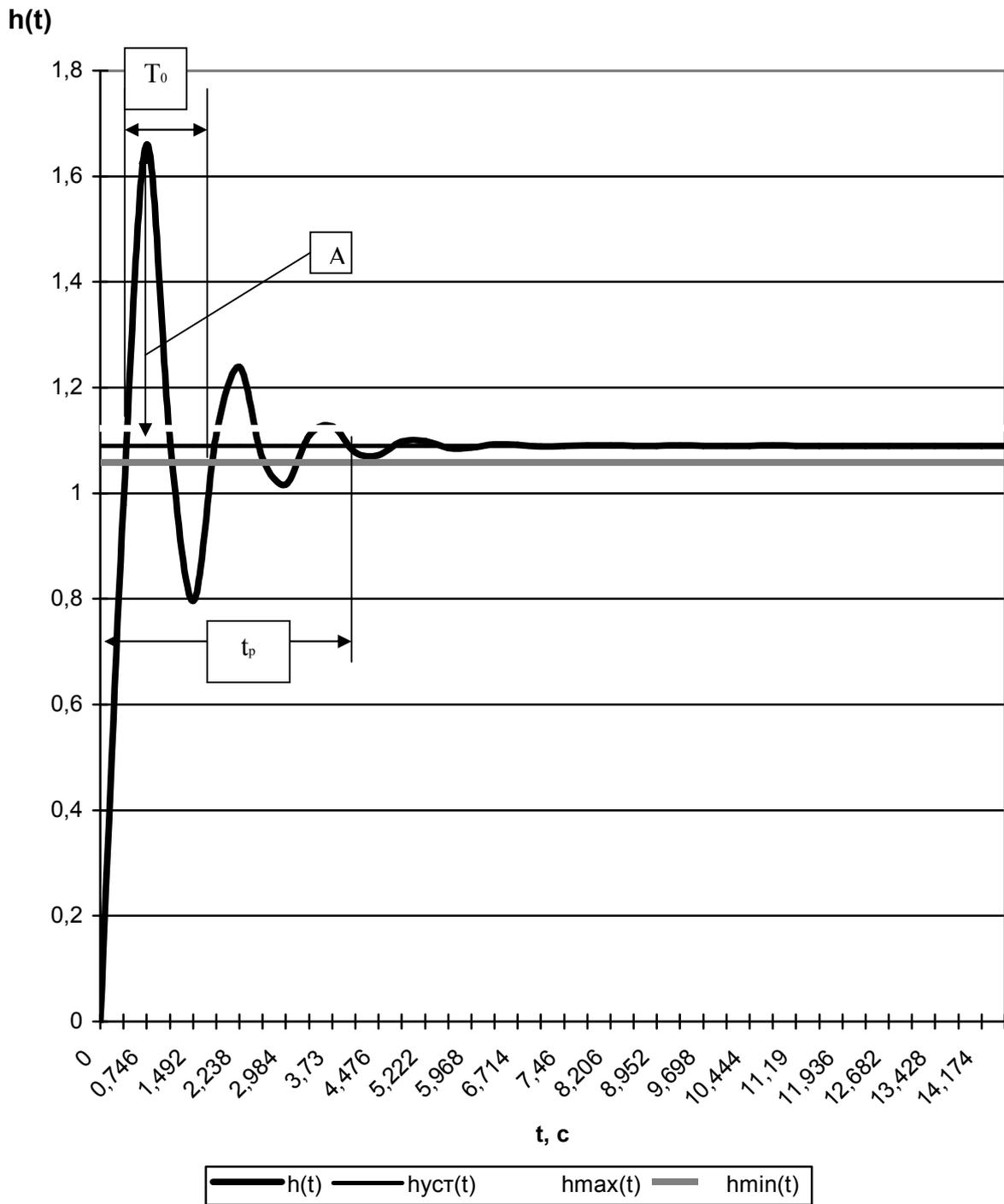


Рисунок 7 – График переходного процесса САР

Как видно из графика, время регулирования САР составляет:

$$t_p = 2,61 \text{ с}$$

период регулирования:

$$T_0 = 1,865 - 0,373 = 1,492 \text{ с}$$

число колебаний:

$$N = \frac{t_p}{T_0} = \frac{2,61}{1,492} = 1,75 \approx 2$$

максимальное отклонение регулируемой величины от установившегося значения:

$$A = 4,45 \text{ см}$$

Величина перерегулирования:

$$\sigma = \frac{A}{h_{уст}(t)} \cdot 100\% = \frac{4,45}{1,09} \cdot 100\% = 408,3\%$$