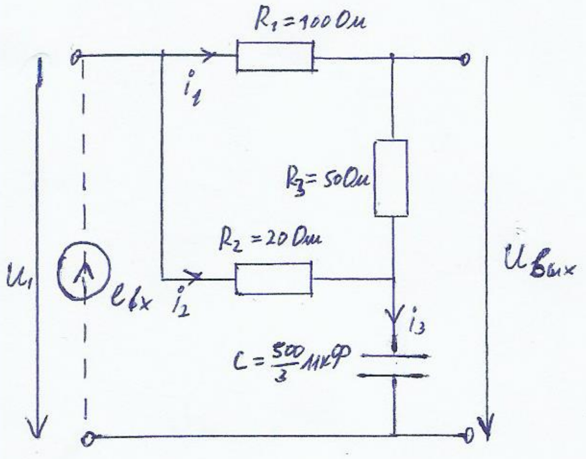


Дано:

$R_1 = 10\,Ом$

$R_2 = 20\,Ом$

$R_3 = 50\,Ом$

$C = \frac{500}{3}\,мкФ = \frac{500}{3}\cdot 10^{-6}\,Ф = \frac{5}{3}\cdot 10^{-4}\,Ф$

$w = 2000\ \frac{рад}{с}$

$e_{bx} = 16$

Закон коммутации для конденсатора:

$U_c(t_0-) = U_c(t_0+)$

e_{bx} – напряжение источника

$U_{вых}$ – напряжение на выходе

1) Воспользуемся методом ур-ний Кирхгофа и составим систему:

$$\begin{cases} R_1 i_1 + R_3 i_1 - R_2 i_2 = 0 \\ U_c + R_2 i_2 = e_{bx} \\ i_3 = i_1 + i_2 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} i_1(R_1+R_3) - R_2 i_2 = 0 \\ U_c + R_2 i_2 = e_{bx} \\ CU_c' = i_1 + i_2 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} i_1(R_1+R_3) - R_2(CU_c' - i_1) = 0 \\ U_c + R_2 i_2 = e_{bx} \\ i_2 = CU_c' - i_1 \end{cases} \Leftrightarrow$$

$q = CU_c;\ \int i_3\,dt = CU_c;\ i_3 = CU_c$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} i_1(R_1+R_2+R_3) - R_2 CU_c' = 0 \\ U_c + R_2 i_2 = e_{bx} \\ i_2 = CU_c' - i_1 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} i_1 = \frac{R_2}{R_1+R_2+R_3} CU_c' \\ U_c + R_2 i_2 = e_{bx} \\ i_2 = CU_c'\left(1 - \frac{R_2}{R_1+R_2+R_3}\right) \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} i_1 = \frac{R_2}{R_1+R_2+R_3} CU_c' \\ U_c + R_2 CU_c'\left(\frac{R_1+R_3}{R_1+R_2+R_3}\right) = e_{bx}\ (1) \\ i_2 = CU_c'\left(\frac{R_1+R_3}{R_1+R_2+R_3}\right) \end{cases}$$

Преобразуем ур-ние (1):

$$U_c + U_c' C\left(\frac{R_2(R_1+R_3)}{R_1+R_2+R_3}\right) = e_{bx} \Rightarrow \left| \begin{aligned} R &= \frac{R_2(R_1+R_3)}{R_1+R_2+R_3} = 15\,Ом \\ \tau &= RC = 0{,}0025\,с \end{aligned} \right| \Rightarrow U_c + \tau U_c' = e_1 \Rightarrow U_c' + \frac{1}{\tau}U_c = \frac{1}{\tau}e_{bx}$$

$U_c' + \frac{1}{\tau}U_c = \frac{1}{\tau}e_{bx}$ – неоднородное линейное дифференциальное ур-ние

• Найдем решение этого НЛДУ. Для этого сначала решим ОЛДУ $U_c' + \frac{1}{\tau}U_c = 0$:

$$U_c' + \frac{1}{\tau}U_c = 0;\ \frac{dU_c}{dt} = -\frac{1}{\tau}U_c;\ \frac{dU_c}{U_c} = -\frac{dt}{\tau};\ \int\frac{dU_c}{U_c} = -\int\frac{dt}{\tau};\ U_c = C_0 e^{-t/\tau},\ где\ C_0 = const$$

• Воспользуемся методом вариации произвольной постоянной, ~~зад~~ тогда C_0 – ф-ция от t:

$U_c = C_0 e^{-t/\tau}$; $U_c' = C_0' e^{-t/\tau} + C_0\left(-\frac{1}{\tau}\right)e^{-t/\tau}$ – подставим в НЛДУ:

$$C_0' e^{-t/\tau} = \frac{1}{\tau}e_1;\ \frac{dC_0}{dt} = \frac{e_1}{\tau}e^{t/\tau};\ dC_0 = \frac{e_1}{\tau}e^{t/\tau}dt;\ \int dC_0 = \frac{e_1}{\tau}\cdot\tau\int\frac{1}{\tau}e^{t/\tau}dt;\ C_0 = e_1 e^{t/\tau} + A,\ где\ A = const$$

Тогда решение НЛДУ будет: $U_c(e_1 e^{t/\tau} + A)e^{-t/\tau} = e_1 e^{t/\tau}e^{-t/\tau} + Ae^{-t/\tau} = e_1 + Ae^{-t/\tau} \Rightarrow$

$\Rightarrow U_c = e_{bx} + Ae^{-t/\tau}$ – решение НЛДУ, где A – коэф., зависящий от начальных условий

Подставим числовые значения: $U_c = e_{bx} + Ae^{-400t}$

Выразим A: $A = (U_c - e_{bx})e^{400t}$

②

$$U_{вых} = R_3 i_1 + U_c = \frac{R_2 R_3}{R_1+R_2+R_3} C U_c' + U_c = 0{,}002\, U_c' + U_c = \left| \begin{matrix} U_c = e_{вх} + Ae^{-400t} \\ U_c' = -400 Ae^{-400t} \end{matrix} \right| =$$

$$= 0{,}002(-400)Ae^{-400t} + e_{вх} + Ae^{-400t} = e_{вх} + Ae^{-400t} - 0{,}8Ae^{-400t} = e_{вх} + 0{,}2Ae^{-400t}$$

$U_{вых} = e_{вх} + 0{,}2Ae^{-400t}$ – зависимость выходного напряжения от напряжения источника и коэф. A.

Для ~~каждой~~ i-ой коммутации определим коэф. A: $A_i = (U_i - e_i)e^{400t}$, где U_i – начальное напряжение на конденсаторе для i-ой коммутации, $e_i = \begin{cases} e_{вх}, & i = 1, 3, 5 \\ 0в, & i = 2, 4, 6 \end{cases}$; $U_c = e_i + A_i e^{-400t}$; $U_{вых} = e_i + 0{,}2A_i e^{-400t}$

- Тогда для 1 коммутации: $(0 \le t < \frac{T}{2})$

$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{\pi}{1000} = 0{,}00314$

$e_1 = 1в$

$U_1(t=0) = 0в$ (закон коммутации для конденсатора)

$A_1(t=0) = (0-1)e^{-400\cdot 0} = -1в$

$U_c = 1 + (-1)e^{-400t} = 1 - e^{-400t}$

$U_{вых} = 1 + 0{,}2(-1)e^{-400t} = 1 - 0{,}2e^{-400t}$

$400T = 1{,}256$

- для 2 коммутации: $(\frac{T}{2} \le t < T)$

$e_2 = 0в$

$U_2(t=\frac{T}{2}) = 1 - e^{-400\frac{T}{2}} = 0{,}4663$

$A_2(t=\frac{T}{2}) = (0{,}4663 - 0)e^{+400\cdot\frac{T}{2}} = 0{,}8737$

$U_c = 0 + 0{,}8737e^{-400t} = 0{,}8737e^{-400t}$

$U_{вых} = 0 + 0{,}2\cdot 0{,}8737e^{-400t} = 0{,}1747e^{-400t}$

- для 3 коммутации: $(T \le t \le \frac{3T}{2})$

$e_3 = 1в$

$U_3(t=T) = 0{,}8737e^{-400T} = 0{,}2488$

$A_3(t=T) = (0{,}2488 - 1)e^{400T} = -2{,}6377$

$U_c = 1 + (-2{,}6377)e^{-400t} = 1 - 2{,}6377e^{-400t}$

$U_{вых} = 1 + 0{,}2\cdot(-2{,}6377)e^{-400t} = 1 - 0{,}5275e^{-400t}$

- для 4 коммутации: $(\frac{3T}{2} \le t < 2T)$

$e_4 = 0в$

$U_4(t=\frac{3T}{2}) = 1 - 2{,}6377e^{-400\frac{3T}{2}} = 0{,}5991$

$A_4(t=\frac{3T}{2}) = (0{,}5991 - 0)e^{400\frac{3T}{2}} = 3{,}9419$

$U_c = 0 + 3{,}9419e^{-400t} = 3{,}9419e^{-400t}$

$U_{вых} = 0 + 0{,}2\cdot(3{,}9419)e^{-400t} = 0{,}7884e^{-400t}$

③

• для 5 комутации: $(2T \le t < \frac{5T}{2})$

$e_5 = 1$

$U_5(t=2T) = 3{,}9419 e^{-400 \cdot 2T} = 0{,}3197$

$A_5(t=2T) = (0{,}3197 - 1) e^{400 \cdot 2T} = -8{,}3878$

$U_C = 1 - 8{,}3878 e^{-400t}$

$U_{вых} = 1 - 0{,}2 \cdot 8{,}3878 e^{-400t} = 1 - 1{,}6775 e^{-400t}$

• для 6 комутации: $(\frac{5T}{2} \le t\ )$

$e_6 = 0$

$U_6(t = \frac{5T}{2}) = 1 - 8{,}3878 e^{-400 \cdot \frac{5T}{2}} = 0{,}6369$

$A_6(t = \frac{5T}{2}) = (0{,}6369 - 0) e^{400 \cdot \frac{5T}{2}} = 14{,}7148$

$U_C = 14{,}7148 e^{-400t}$

$U_{вых} = 0 + 0{,}2 \cdot 14{,}7148 e^{-400t} = 2{,}9429 e^{-400t}$

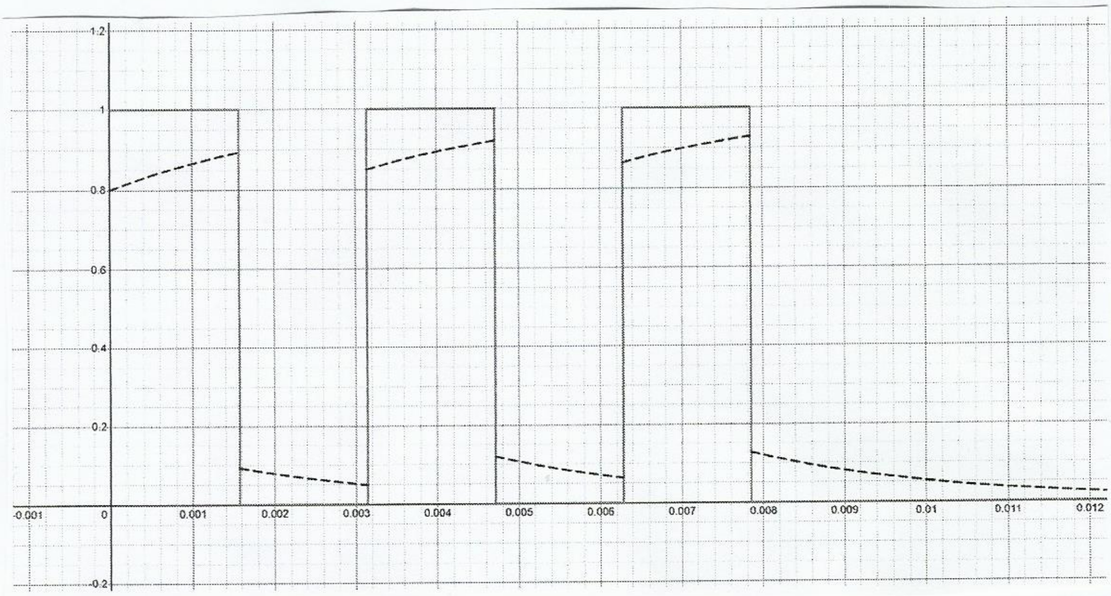


рис. 1 входное и выходное напряжение. Классический метод.
сплошная – входное напряжение
пунктирная – выходное напряжение

2) Найдем $U_{вых}(t)$ с помощью интеграла Дюамеля и импульсной характеристики

Для этого найдем значение A, удовлетворяющее н.у. $U_c(t=0)=0$

$0 = e_{вх} + Ae^0 \Rightarrow A = -e_{вх}$

Подставим в формулу $U_{вых}$: $U_{вых} = e_{вх} - 0{,}2e_{вх}e^{-400t} = e_{вх}(1-0{,}2e^{-400t})$

Найдем переходную характеристику: $g(t) = \frac{U_{вых}}{e_{вх}} \cdot \sigma(t) = (1-0{,}2e^{-400t})\sigma(t)$

Найдем импульсную характеристику: $h(t) = \frac{d}{dt}(g(t)) = \frac{d}{dt}((1-0{,}2e^{-400t})\sigma(t)) = (80e^{-400t}\sigma(t) + (1-0{,}2e^{-400t})\delta(t)) =$
$= 80e^{-400t}\sigma(t) + 0{,}8\delta(t)$; $h(t) = 80e^{-400t}\sigma(t) + 0{,}8\delta(t)$

Опишем $e_{вх}$ как знакоположительный меандр с 6 коммутациями:

$e_{вх} = \sigma(t) - \sigma(t-T/2) + \sigma(t-2T/2) - \sigma(t-3T/2) + \sigma(t-4T/2) - \sigma(t-\frac{5T}{2})$

Выполним несколько предварительных вычислений: Пусть a - некоторое число,

$$\int_a^t (80e^{-400(t-\tau)} + 0{,}8\delta(t-\tau))\,d\tau\,\sigma(t-a) = \left(\int_a^t 80e^{-400(t-\tau)}d\tau + \int_a^t 0{,}8\delta(t-\tau)d\tau\right)\sigma(t-a) =$$

$$= \left(\frac{80}{400}\int_a^t 400e^{-400(t-\tau)}d\tau + 0{,}8\int_a^t \delta(t-\tau)d\tau\right)\sigma(t-a) = \left(0{,}2e^{-400(t-\tau)}\Big|_a^t + 0{,}8\right)\sigma(t-a) =$$

$$= (0{,}2(e^{-400(t-t)} - e^{-400(t-a)}) + 0{,}8)\sigma(t-a) = (1-0{,}2e^{-400t}\cdot e^{400a})\sigma(t-a)$$

Наконец найдем ф-цию $U_{вых}(t)$ с помощью интеграл Дюамеля и импульсной характеристики:

$$U_{вых}(t) = (e_{вх}'\cdot g)(t) \equiv (e_{вх}\cdot g')(t) \equiv (e_{вх}\cdot h)(t) = \int_0^t e_{вх}(\tau)h(t-\tau)d\tau =$$

$$= \int_0^t (\sigma(\tau) - \sigma(\tau-T/2) + \sigma(\tau-2T/2) - \sigma(\tau-3T/2) + \sigma(\tau-4T/2) - \sigma(\tau-5T/2))(80e^{-400(t-\tau)}\overset{1,\ \forall\tau\in[0;t]}{\overset{\parallel}{\sigma(t-\tau)}} + 0{,}8\delta(t-\tau))d\tau =$$

$$= \int_0^t (80e^{-400(t-\tau)} + 0{,}8\delta(t-\tau))d\tau\,\sigma(\tau) - \int_{T/2}^t (80e^{-400(t-\tau)} + 0{,}8\delta(t-\tau))d\tau\,\sigma(\tau-T/2) +$$

$$+ \int_{2T/2}^t (80e^{-400(t-\tau)} + 0{,}8\delta(t-\tau))d\tau\,\sigma(t-2T/2) - \int_{3T/2}^t (80e^{-400(t-\tau)} + 0{,}8\delta(t-\tau))d\tau\,\sigma(t-\tfrac{3T}{2}) +$$

$$+ \int_{4T/2}^t (80e^{-400(t-\tau)} + 0{,}8\delta(t-\tau))d\tau\,\sigma(t-4T/2) - \int_{5T/2}^t (80e^{-400(t-\tau)} + 0{,}8\delta(t-\tau))d\tau\,\sigma(t-5T/2) = \left|\begin{matrix}\text{воспользуемся}\\ \text{предварительными}\\ \text{вычислениями}\end{matrix}\right| =$$

$$= (1-0{,}2e^{-400t})\sigma(t) - (1-0{,}2e^{400\cdot T/2}\cdot e^{-400(t)})\sigma(t-\tfrac{T}{2}) + (1-0{,}2e^{400\frac{2T}{2}}e^{-400t})\sigma(t-\tfrac{2T}{2}) -$$

$$- (1-0{,}2e^{+400\frac{3T}{2}}e^{-400t})\sigma(t-\tfrac{3T}{2}) + (1-0{,}2e^{400\frac{4T}{2}}e^{-400t})\sigma(t-\tfrac{4T}{2}) - (1-0{,}2e^{400\frac{5T}{2}}e^{-400t})\sigma(t-\tfrac{5T}{2})$$

Тогда получим:

$$U_{вых}(t) = (1-0{,}2e^{-400t})\sigma(t) - (1-0{,}3748e^{-400t})\sigma(t-\tfrac{T}{2}) + (1-0{,}7028e^{-400t})\sigma(t-\tfrac{2T}{2}) -$$

$$-(1-1{,}3159e^{-400t})\sigma(t-\tfrac{3T}{2}) + (1-2{,}4659e^{-400t})\sigma(t-\tfrac{4T}{2}) - (1-4{,}6207e^{-400t})\sigma(t-\tfrac{5T}{2})$$

Рисунок на странице 7.

3) Найдем $U_{вых}(t)$ с помощью интеграла Дюамеля и переходной характеристики

$g(t) = (1-0{,}2e^{-400t})\sigma(t)$ – переходная характеристика

Выполним предварительные вычисления:

$$\int_0^t \delta(\tau-a)(1-0{,}2e^{-400(t-\tau)})d\tau = (1-0{,}2e^{-400(t-a)})\sigma(t-a) = (1-0{,}2e^{400a}e^{-400t})\sigma(t-a)$$

Найдем функцию $U_{вых}(t)$ с помощью интеграла Дюамеля и переходной характеристики.

$$U_{вых} = (U'_{вх} * g)(t) \equiv \int_0^t \left(\delta(\tau) - \delta(\tau-\tfrac{T}{2}) + \delta(\tau-\tfrac{2T}{2}) - \delta(\tau-\tfrac{3T}{2}) + \delta(\tau-\tfrac{4T}{2}) - \delta(\tau-\tfrac{5T}{2})\right)(1-0{,}2e^{-400(t-\tau)})\underbrace{\sigma(t-\tau)}_{1,\ \forall\tau\in[0;t]}d\tau =$$

$$= \int_0^t \delta(\tau)(1-0{,}2e^{-400(t-\tau)})d\tau - \int_0^t \delta(\tau-\tfrac{T}{2})(1-0{,}2e^{-400(t-\tau)})d\tau + \int_0^t \delta(t-\tfrac{2T}{2})(1-0{,}2e^{-400(t-\tau)})d\tau -$$

$$- \int_0^t \delta(t-\tfrac{3T}{2})(1-0{,}2e^{-400(t-\tau)})d\tau + \int_0^t \delta(t-\tfrac{4T}{2})(1-0{,}2e^{-400(t-\tau)})d\tau - \int_0^t \delta(t-\tfrac{5T}{2})(1-0{,}2e^{-400(t-\tau)})d\tau =$$

$$= (1-0{,}2e^{-400t})\sigma(t) - (1-\overset{0,2}{\vee}e^{400\frac{T}{2}}e^{-400t})\sigma(t-\tfrac{T}{2}) + (1-0{,}2e^{400\frac{2T}{2}}e^{-400t})\sigma(t-\tfrac{2T}{2}) -$$

$$-(1-0{,}2e^{400\frac{3T}{2}}e^{-400t})\sigma(t-\tfrac{3T}{2}) + (1-0{,}2e^{400\frac{4T}{2}}e^{-400t})\sigma(t-\tfrac{4T}{2}) - (1-0{,}2e^{400\frac{5T}{2}}e^{-400t})\sigma(t-\tfrac{5T}{2})$$

Тогда получим:

$$U_{вых} = (1-0{,}2e^{-400t})\sigma(t) - (1-0{,}3748e^{-400t})\sigma(t-\tfrac{T}{2}) + (1-0{,}7028e^{-400t})\sigma(t-\tfrac{2T}{2}) -$$

$$-(1-1{,}3159e^{-400t})\sigma(t-\tfrac{3T}{2}) + (1-2{,}4659e^{-400t})\sigma(t-\tfrac{4T}{2}) - (1-4{,}6207e^{-400t})\sigma(t-\tfrac{5T}{2})$$

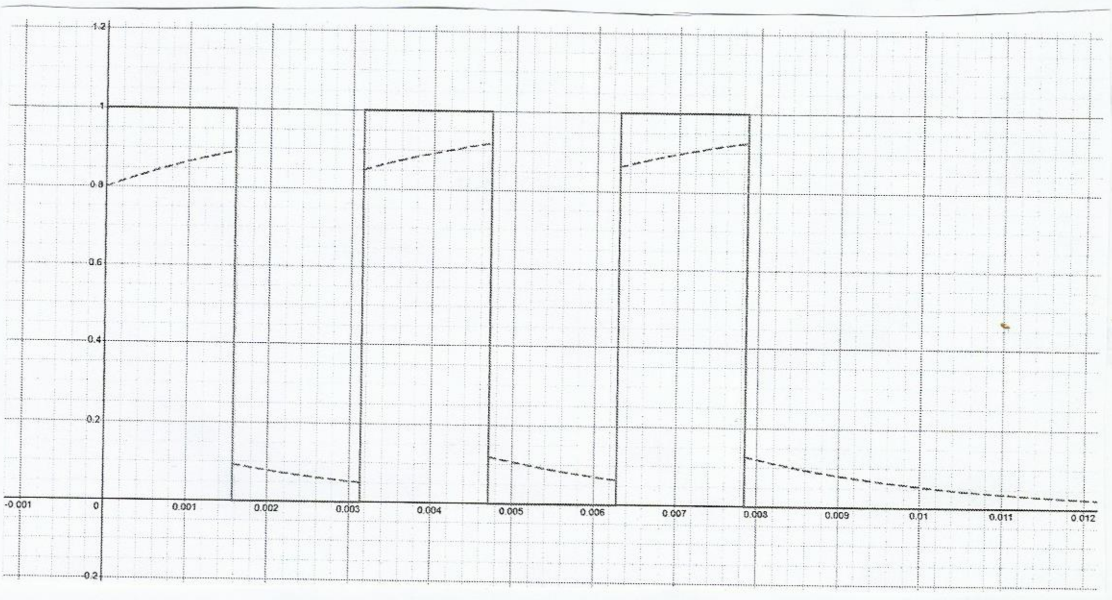
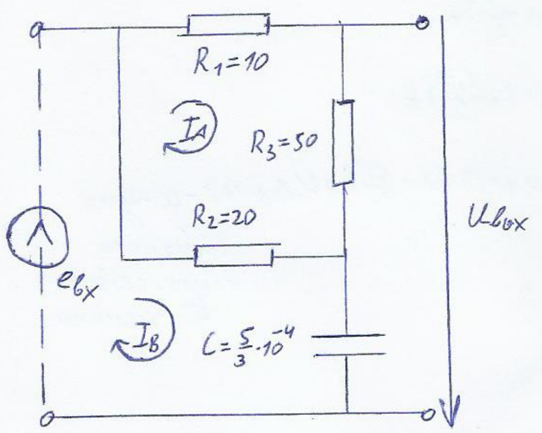


рис. 2 Входное и выходное напряжение. Метод интеграла Дюамеля с переходной характеристикой.
сплошная – входной сигнал
пунктир – выходной

4) Найдем $U_{вых}(t)$ с помощью преобразования Лапласа.



Используя операторное сопротивление и метод контурных токов, ~~най~~ составим систему:

$$\begin{cases} i_A R_1 + i_A R_2 + i_A R_3 - i_B R_2 = 0 \\ i_B R_2 + i_B \frac{1}{Cp} - i_A R_2 = e_{вх} \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} i_A (R_1+R_2+R_3) = i_B R_2 \\ i_B (R_2 + \frac{1}{Cp}) - i_A R_2 = e_{вх} \end{cases} ; \begin{cases} i_A = i_B \frac{R_2}{R_1+R_2+R_3} = i_B \cdot 0{,}25 \quad (3) \\ i_B (20 + \frac{1}{Cp}) - i_B \cdot 0{,}25 = e_{вх} \quad ; (2) \end{cases}$$

Преобразуем (2):

$$i_B (20 + \frac{1}{Cp}) - i_B \cdot 0{,}25 = e_{вх} \Rightarrow i_B (20 - 0{,}25 + \frac{1}{Cp}) = e_{вх} \Rightarrow i_B = e_{вх} \left(\frac{1}{19{,}75 - 1/Cp} \right)$$

Подставим в (3) и получим систему:

$$\begin{cases} i_A = e_{вх} \frac{0{,}25}{19{,}75 - 1/Cp} \\ i_B = e_{вх} \frac{1}{19{,}75 - 1/Cp} \end{cases}$$

Вычислим $U_{вых}$: $U_{вых} = i_B \frac{1}{Cp} + i_A R_3 = e_{вх} \left(\frac{1}{Cp} \cdot \frac{0{,}25}{19{,}75 - 1/Cp} + \frac{50}{19{,}75 - 1/Cp} \right) = e_{вх} \left(\frac{0{,}8p + 400}{p + 400} \right) =$

$= e_{вх} \left(\frac{p+500}{p+400} \right) 0{,}8 = e_{вх} \left(\frac{80}{p+400} + 0{,}8 \right)$

По теореме о запаздывании оригинала ~~получим~~ опишем $e_{вх}$:

$$e_{вх} = \frac{1}{p} - \frac{1}{p} e^{-\frac{T}{2}p} + \frac{1}{p} e^{-\frac{2T}{2}p} - \frac{1}{p} e^{-\frac{3T}{2}p} + \frac{1}{p} e^{-\frac{4T}{2}p} - \frac{1}{p} e^{-\frac{5T}{2}p}$$

Для ~~удо~~ удобства выполним предварительные вычисления: a – число

$$\left(\frac{80}{p+400} + 0{,}8 \right) \frac{1}{p} (e^{-ap}) = \left(\frac{80}{p(p+400)} e^{-ap} + \frac{0{,}8}{p} e^{-ap} \right) \doteq \left(\frac{80}{400} (1 - e^{-400(t-a)}) \sigma(t-a) + 0{,}8 \sigma(t-a) \right)$$

Наконец найдем $U_{вых}(p)$ и $U_{вых}(t)$:

$$U_{вых}(p) = e_{вх} \left(\frac{80}{p+400} + 0{,}8 \right) = \left(\frac{1}{p} - \frac{1}{p} e^{-\frac{T}{2}p} + \frac{1}{p} e^{-\frac{2T}{2}p} - \frac{1}{p} e^{-\frac{3T}{2}p} + \frac{1}{p} e^{-\frac{4T}{2}p} - \frac{1}{p} e^{-\frac{5T}{2}p} \right) \left(\frac{80}{p+400} + 0{,}8 \right) =$$

$$= \left(\frac{80}{p(p+400)} e^{-0p} + \frac{0{,}8}{p} e^{-0p} \right) - \left(\frac{80}{p(p+400)} e^{-\frac{T}{2}p} + \frac{0{,}8}{p} e^{-\frac{T}{2}p} \right) + \left(\frac{80}{p(p+400)} e^{-\frac{2T}{2}p} + \frac{0{,}8}{p} e^{-\frac{2T}{2}p} \right) - \left(\frac{80}{p(p+400)} e^{-\frac{3T}{2}p} + \frac{0{,}8}{p} e^{-\frac{3T}{2}p} \right) +$$

$$+ \left(\frac{80}{p(p+400)} e^{-\frac{4T}{2}p} + \frac{0{,}8}{p} e^{-\frac{4T}{2}p} \right) - \left(\frac{80}{p(p+400)} e^{-\frac{5T}{2}p} + \frac{0{,}8}{p} e^{-\frac{4T}{2}p} \right) \doteq$$

$$\doteqdot (0,2(1-e^{-400t})+0,8)\sigma(t)-(0,2(1-e^{-400(t-\frac{T}{2})})+0,8)\sigma(t-\tfrac{T}{2})+$$
$$+(0,2(1-e^{-400(t-\frac{2T}{2})})+0,8)\sigma(t-\tfrac{2T}{2})-(0,2(1-e^{-400(t-\frac{3T}{2})})+0,8)\sigma(t-\tfrac{3T}{2})+$$
$$+(0,2(1-e^{-400(t-\frac{4T}{2})})+0,8)\sigma(t-\tfrac{4T}{2})-(0,2(1-e^{-400(t-\frac{5T}{2})})+0,8)\sigma(t-\tfrac{5T}{2})=U_{вых}(t)$$

– ф-уия выходного напряжения от времени.

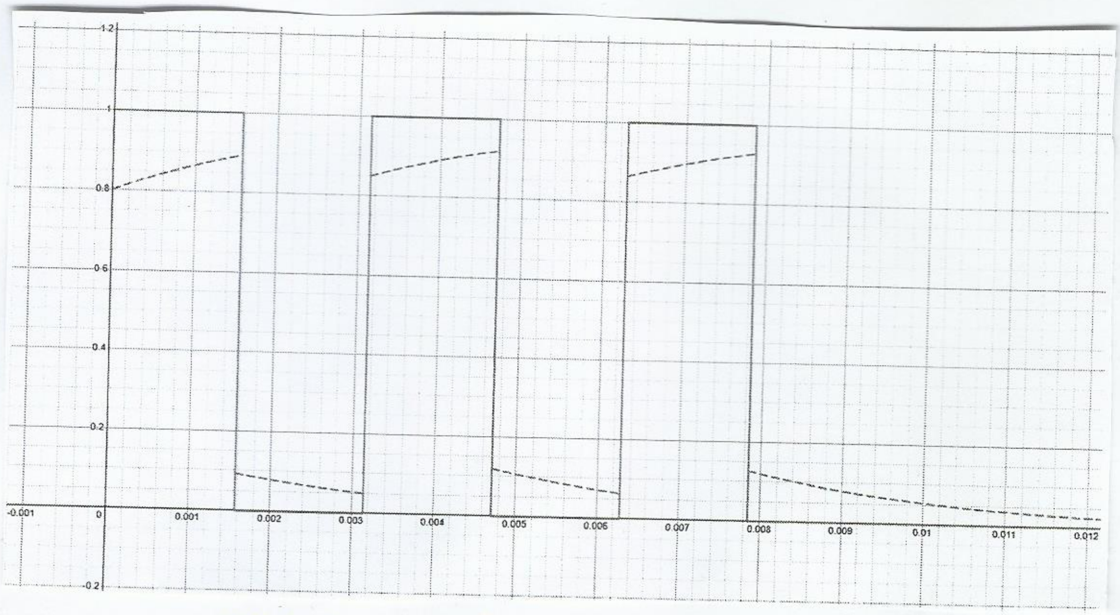


рис.3 Входное и выходное напряжение. Метод преобразований Лапласа
сплошная – входной сигнал, пунктирная – выходной

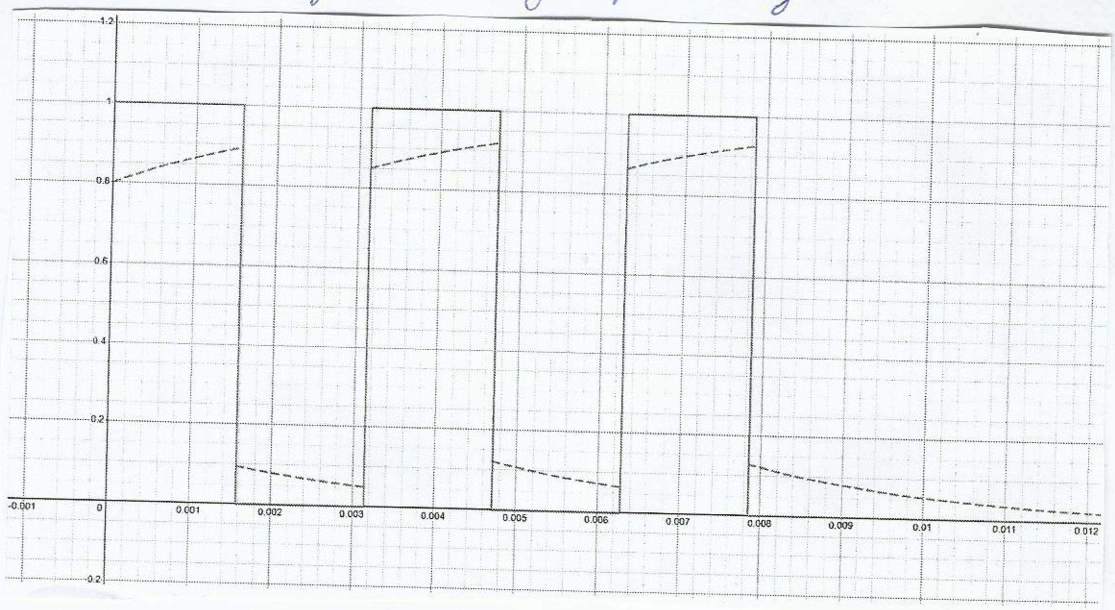


рис. 4 – Входное и выходное напряжение. Метод интеграла Дюамеля с импульсной характеристикой. сплошная – входной сигнал, пунктирная – выходная

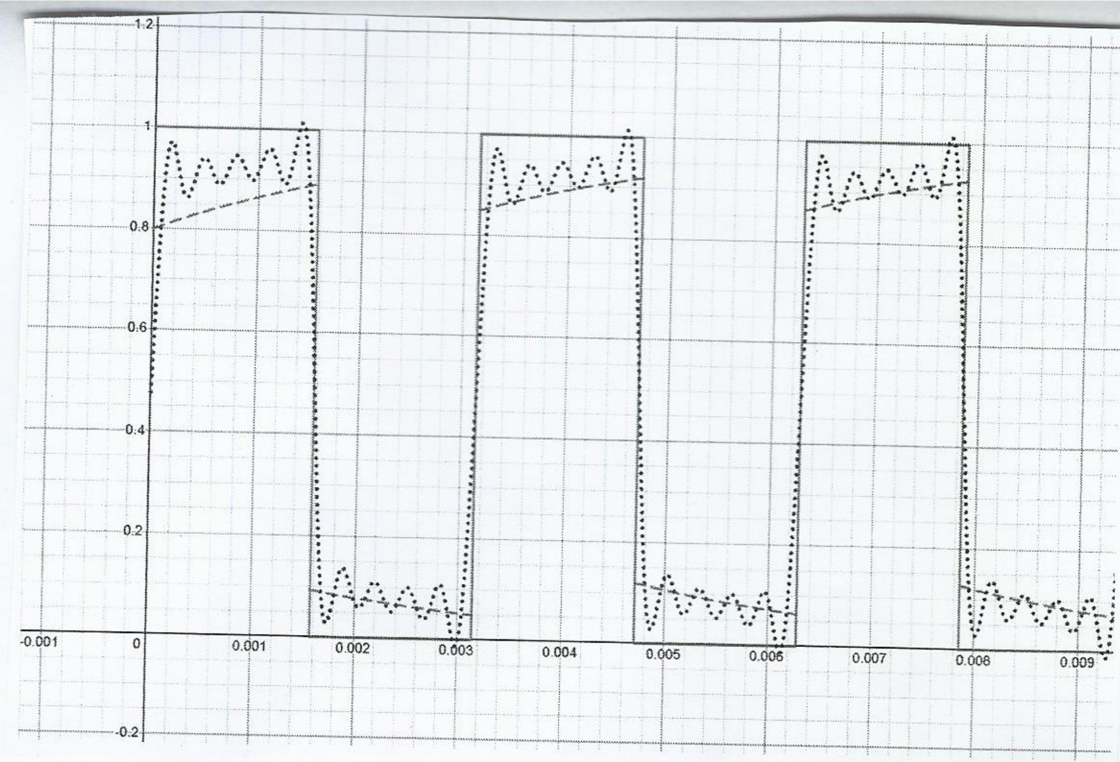


рис.5 Входное напряжение (сплошная), выходное переходное напряжение (пунктирная), выходное установившееся напряжение (точками).

Графики переходного и установившегося сигналов различаются, т.к. система переходит в установившееся состояние не мгновенно. Ближе к 6 коммутации заметно соответствие.

Наименее точным способом (как и наиболее трудозатратным) является классический метод.

Интеграл Дюамеля с переходной и импульсной характеристиками и преобразования Лапласа имеют одинаковую ~~высокую~~ ~~общую~~ точность, т.к. вычисляют одну и ту же формулу $U_{вых}$.

В зависимости от вида входного сигнала и переходной характеристики системы наиболее проще использовать следующие методы:

1) простой входной сигнал, сложная характеристика – интеграл Дюамеля с переходной характеристикой;
2) сложный входной сигнал, простая характеристика – интеграл Дюамеля с импульсной хар-кой;
3) сложный входной сигнал, сложная характеристика – преобразования Лапласа.