

2.2.б) Второй уровень сложности

Задача 1.2.1. Задана электрическая цепь, в которой происходит коммутация (рис. 1):

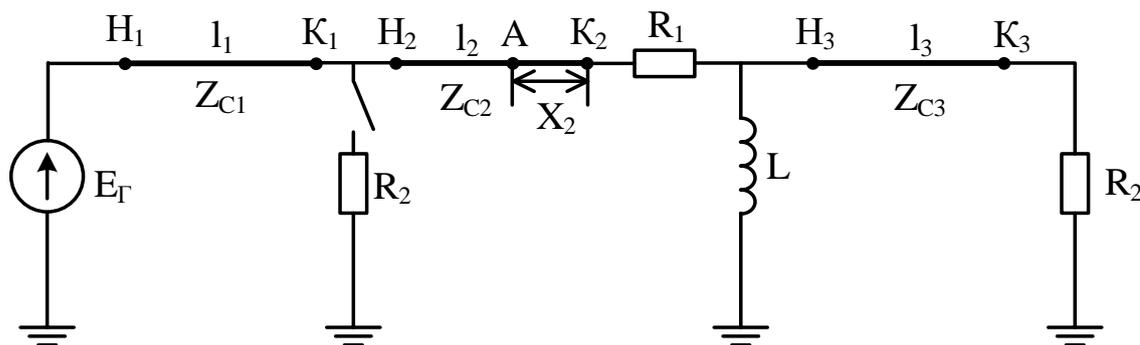


Рис. 1

Исходные данные для расчета (табл. 1):

Таблица 1

| | |
|---------------------------|------------------|
| $E_{Г}, \text{кВ}$ | 300 |
| $Z_{C1}, \text{Ом}$ | 80 |
| $Z_{C2}, \text{Ом}$ | 450 |
| $Z_{C3}, \text{Ом}$ | 350 |
| $l_1, \text{км}$ | 90 |
| $l_2, \text{км}$ | 192 |
| $l_3, \text{км}$ | 81 |
| $V_{\Phi 1}, \text{км/с}$ | $1,5 \cdot 10^5$ |
| $V_{\Phi 2}, \text{км/с}$ | $3 \cdot 10^5$ |
| $V_{\Phi 3}, \text{км/с}$ | $3 \cdot 10^5$ |
| $R_1, \text{Ом}$ | 50 |
| $R_2, \text{Ом}$ | 150 |
| $t_0, \text{мс}$ | 1,1 |
| $L, \text{Гн}$ | 0,2 |
| $C, \text{мкФ}$ | 10 |
| $x_2, \text{км}$ | 50 |

1. Определение положения фронтов волн в заданный момент времени.

Для определения положения фронтов волн к заданному моменту времени t_0 вычислим, за какое время волны пробегают каждую линию полностью.

Расчёт времени пробега

$$t_1 = \frac{l_1}{V_1} = \frac{90}{1,5 \cdot 10^5} \cdot 10^6 = 600 \text{ мкс}$$

$$t_2 = \frac{l_2}{V_2} = \frac{192}{3 \cdot 10^5} \cdot 10^6 = 640 \text{ мкс}$$

$$t_3 = \frac{l_3}{V_3} = \frac{81}{3 \cdot 10^5} \cdot 10^6 = 270 \text{ мкс}$$

Волны возникают в точке коммутации. Через $t_1 = 600$ мкс и $t_2 = 640$ мкс волны достигнут точек H_1 и K_2 соответственно. От начала первой линии отразится волна (прямая в первой линии) и пройдёт к указанному моменту времени t_0 расстояние:

$$l_{\text{фр.1}} = (t_0 - t_1) \cdot V_1 = (1100 - 600) \cdot 1,5 \cdot 10^5 \cdot 10^{-6} = 75 \text{ км}$$

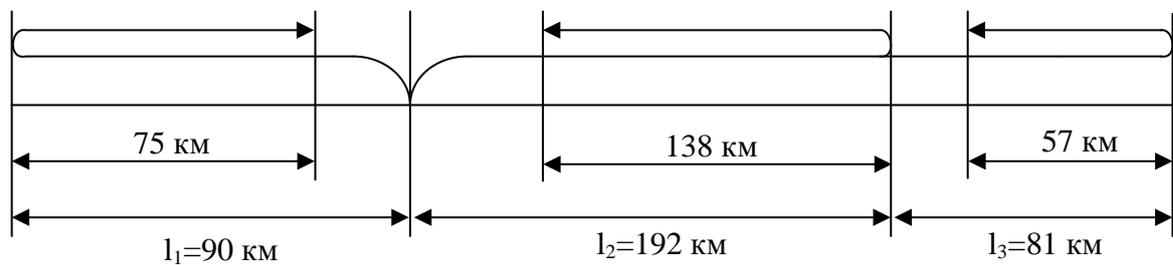
От точки K_2 отразится волна во вторую линию (обратная), положение её фронта к моменту t_0 будет определяться расстоянием:

$$l_{\text{фр.2}} = (t_0 - t_2) \cdot V_2 = (1100 - 640) \cdot 3 \cdot 10^5 \cdot 10^{-6} = 138 \text{ км}$$

За точку K_2 пройдёт волна в третью линию, через $t_2 = 640$ мкс она дойдёт до начала линии 3 и, отразившись от точки K_3 , образует обратную волну в линии 3. Положение фронта этой волны к моменту t_0 определится расстоянием:

$$l_{\text{фр.2}} = (t_0 - t_2 - t_3) \cdot V_3 = (1100 - 640 - 270) \cdot 3 \cdot 10^5 \cdot 10^{-6} = 57 \text{ км}$$

Расположение фронтов волн в момент времени $t_0 = 1100$ мкс:



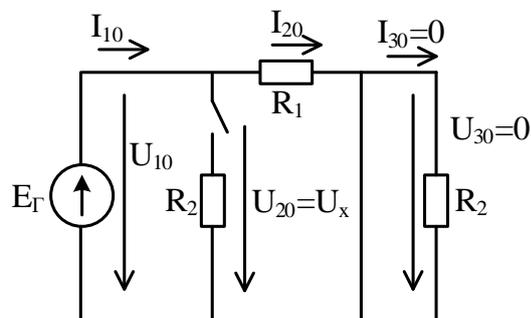
2. Распределение токов и напряжений в длинных линиях без потерь.

Докоммутационный режим.

Волны, возникающие при коммутации, а также в результате последующих отражений и преломлений, накладываются на распределения напряжений и токов предшествующего коммутации режима.

Расчёт установившихся токов и напряжений до коммутации ведётся по схеме, составленной с учётом того, что в цепи включен идеальный источник постоянного напряжения E_{Γ} , а сами линии без потерь не оказывают сопротивления постоянным токам, созданным источником E_{Γ} .

Расчётная схема для определения установившихся токов и напряжений до коммутации:



Напряжения и токи в докоммутационный режим.

$$I_{10} = I_{20} = \frac{E_{\Gamma}}{R_1} = \frac{300}{50} = 6 \text{ кА}$$

$$I_{30} = 0 \text{ кА}$$

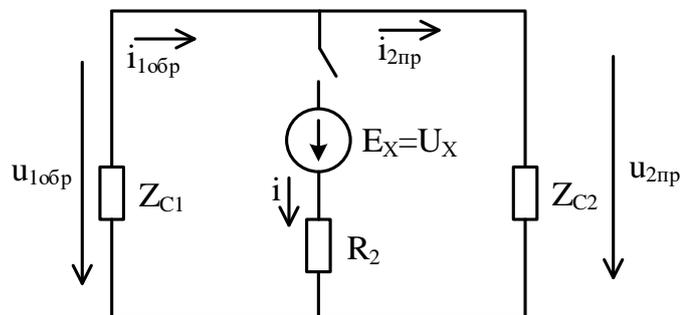
$$U_{10} = U_{20} = U_x = E_{\Gamma} = 300 \text{ кВ}$$

$$U_{30} = 0 \text{ кВ}$$

Расчёт волн, возникающих в результате коммутации в момент $t = 0$ на стыке К₁-Н₂.

В момент включения ключа на стыке первой и второй линий возникают одновременно прямая волна в линию 2 и обратная в линию 1.

Рассмотрим схему замещения для определения волн, возникающих в результате коммутации.



ЭДС эквивалентного источника определяется напряжением на контактах ключа до коммутации.

$$E_X = U_X = 300 \text{ кВ}$$

Поскольку в схеме присутствуют только резисторы, волны будут иметь прямоугольный фронт, при этом:

$$i = \frac{U_X}{R_2 + \frac{Z_{C2} \cdot Z_{C1}}{Z_{C2} + Z_{C1}}} = \frac{300}{150 + \frac{450 \cdot 80}{450 + 80}} = 1,377 \text{ кА}$$

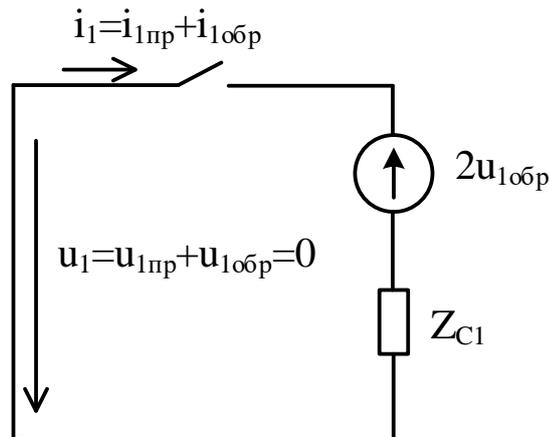
$$i_{1обр} = i \cdot \frac{Z_{C2}}{Z_{C2} + Z_{C1}} = 1,377 \cdot \frac{450}{450 + 80} = 1,169 \text{ кА}$$

$$i_{2пр} = i_{1обр} - i = 1,169 - 1,377 = -0,208 \text{ кА}$$

$$u_{2пр} = Z_{C2} i_{2пр} = 450 \cdot (-0,208) = -93,506 \text{ кВ}$$

$$u_{1обр} = -Z_{C1} i_{1обр} = -80 \cdot 1,169 = -93,506 \text{ кВ}$$

Для определения прямых (отраженных) волн тока и напряжения в первой линии составим эквивалентную схему с учетом правила удвоения волны.



Коэффициенты отражения волн тока и напряжения при коротком замыкании в начале первой линии соответственно равны:

$$k_{i1} = 1$$

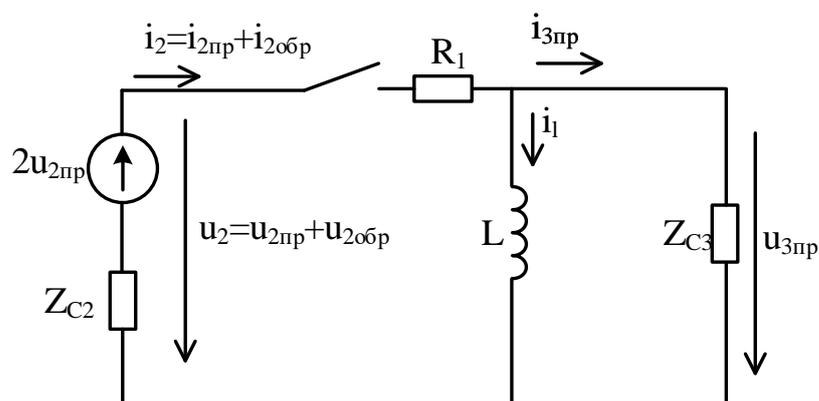
$$k_{u1} = -1$$

Тогда

$$i_{1отр} = i_{1пр} = k_{i1} \cdot i_{1обр} = i_{1обр} = 1,169 \text{ кА}$$

$$u_{1отр} = u_{1пр} = k_{u1} \cdot u_{1обр} = -u_{1обр} = 93,506 \text{ кВ}$$

Для определения обратных (отраженных) волн тока и напряжения во второй линии и прямых (преломленных) волн в третьей линии эквивалентная схема будет иметь вид:



Из расчета переходного процесса этой схемы при нулевых начальных условиях находим:

$$\tau = L \cdot \frac{Z_{C2} + R_1 + Z_{C3}}{(Z_{C2} + R_1) \cdot Z_{C3}} = 0,2 \cdot \frac{450 + 50 + 350}{(450 + 50) \cdot 350} = 0,00097 \text{ с}$$

$$i_l(t) = \frac{2 \cdot u_{2пр}}{Z_{C2} + R_1} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) = -0,374(1 - e^{-1029,412t}) \text{ кА}$$

$$u_{3пр}(t) = L \frac{di_l(t)}{dt} = -77,005e^{-1029,412t} \text{ кВ}$$

В полученном выражении за $t = 0$ принимается момент падения прямой волны на конец второй линии. Учтем время движения прямой волны по второй линии:

$$u_{3\text{пр}}(t) = -77,005e^{-1029,412(t-6,4\cdot 10^{-4})} \text{ кВ}$$

Прямая (преломленная) волна тока в третьей линии:

$$i_{3\text{пр}}(t) = \frac{u_{3\text{пр}}(t)}{Z_{C3}} = -0,22e^{-1029,412(t-6,4\cdot 10^{-4})} \text{ кА}$$

Рассчитаем ток $i_2(t)$

$$i_2(t) = i_{3\text{пр}}(x) + i_l(t) = -0,374 + 0,154e^{-1029,412(t-6,4\cdot 10^{-4})} \text{ кА}$$

Рассчитаем напряжение $u_2(t)$

$$u_2(t) = i_2(t) \cdot R_1 + u_{3\text{пр}}(t) = -18,701 - 69,305e^{-1029,412(t-6,4\cdot 10^{-4})} \text{ кВ}$$

Тогда обратная (отраженная) волна напряжения:

$$u_{2\text{обр}}(t) = u_2(t) - u_{3\text{пр}}(t) = 74,805 - 69,305e^{-1029,412(t-6,4\cdot 10^{-4})} \text{ кВ}$$

Получим зависимость $u_{2\text{обр}}(x, t)$

$$u_{2\text{обр}}(x, t) = 74,805 - 69,305e^{-1029,412\left(t-6,4\cdot 10^{-4}-\frac{x}{V_2}\right)} \text{ кВ}$$

Координата x отсчитывается от конца второй линии к ее началу. Выражение справедливо только для $t \geq 6,4 \cdot 10^{-4} + \frac{x}{V_2}$ с.

$$i_{2\text{обр}}(x, t) = -\frac{u_{2\text{обр}}(x, t)}{Z_{C2}} = -0,166 + 0,154e^{-1029,412\left(t-6,4\cdot 10^{-4}-\frac{x}{V_2}\right)} \text{ кА}$$

Подставим $t_0 = 1,1 \cdot 10^{-3}$ с в выражения для тока и напряжения во второй линии:

$$i_{2\text{обр}}(x, t_0) = -0,166 + 0,154e^{-1029,412\left(1,1\cdot 10^{-3}-6,4\cdot 10^{-4}-\frac{x}{V_2}\right)} = -0,166 + 0,096e^{0,00343x} \text{ кА}$$

$$u_{2\text{обр}}(x, t_0) = 74,805 - 69,305e^{-1029,412\left(1,1\cdot 10^{-3}-6,4\cdot 10^{-4}-\frac{x}{V_2}\right)} = 74,805 - 43,163e^{0,00343x} \text{ кВ}$$

Расчет мгновенных значений тока и напряжения обратных волн на участке второй линии $0 \leq x \leq x_{\text{фр2}}$ к моменту времени t_0 приведен в таблице:

| x , км | $i_{2\text{обр}}(x, t_0)$, кА | $u_{2\text{обр}}(x, t_0)$, кВ |
|----------|--------------------------------|--------------------------------|
| 0 | -0,07 | 31,642 |
| 5 | -0,069 | 30,895 |
| 10 | -0,067 | 30,135 |
| 15 | -0,065 | 29,362 |
| 20 | -0,064 | 28,576 |
| 25 | -0,062 | 27,776 |
| 30 | -0,06 | 26,962 |
| 35 | -0,058 | 26,134 |
| 40 | -0,056 | 25,292 |
| 45 | -0,054 | 24,435 |
| 50 | -0,052 | 23,563 |

| | | |
|-----|--------|--------|
| 55 | -0,05 | 22,677 |
| 60 | -0,048 | 21,775 |
| 65 | -0,046 | 20,857 |
| 70 | -0,044 | 19,923 |
| 75 | -0,042 | 18,974 |
| 80 | -0,04 | 18,008 |
| 85 | -0,038 | 17,025 |
| 90 | -0,036 | 16,025 |
| 95 | -0,033 | 15,008 |
| 100 | -0,031 | 13,973 |
| 105 | -0,029 | 12,92 |
| 110 | -0,026 | 11,849 |
| 115 | -0,024 | 10,76 |
| 120 | -0,021 | 9,651 |
| 125 | -0,019 | 8,524 |
| 130 | -0,016 | 7,377 |
| 135 | -0,014 | 6,21 |
| 138 | -0,012 | 5,5 |

Выражение напряжения прямой (преломленной) волны в третьей линии:

$$u_{3\text{пр}}(x, t) = -77,005e^{-1029,412\left(t - 6,4 \cdot 10^{-4} - \frac{x}{V_3}\right)} \text{ кВ}$$

Координата x отсчитывается от начала третьей линии к ее концу. Выражение справедливо только для $t \geq 6,4 \cdot 10^{-4} + \frac{x}{V_3}$ с.

Прямая (преломленная) волна тока в третьей линии:

$$i_{3\text{пр}}(x, t) = \frac{u_{3\text{пр}}(x, t)}{Z_{C3}} = -0,22e^{-1029,412\left(t - 6,4 \cdot 10^{-4} - \frac{x}{V_3}\right)} \text{ кА}$$

Подставим $t_0 = 1,1 \cdot 10^{-3}$ с в выражения для тока и напряжения в третьей линии:

$$i_{3\text{пр}}(x, t_0) = -0,22e^{-1029,412\left(1,1 \cdot 10^{-3} - 6,4 \cdot 10^{-4} - \frac{x}{V_3}\right)} = -0,137e^{0,00343x} \text{ кА}$$

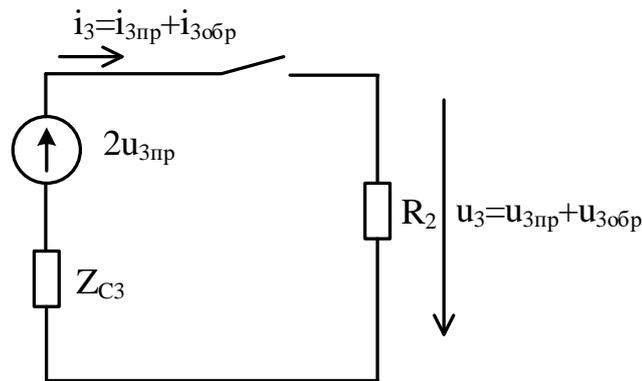
$$u_{3\text{пр}}(x, t_0) = -77,005e^{-1029,412\left(1,1 \cdot 10^{-3} - 6,4 \cdot 10^{-4} - \frac{x}{V_3}\right)} = -47,959e^{0,00343x} \text{ кВ}$$

Расчет мгновенных значений тока и напряжения обратных волн на третьей линии $0 \leq x \leq l_3$ к моменту времени t_0 приведен в таблице:

| x , км | $i_{3\text{пр}}(x, t_0)$, кА | $u_{3\text{пр}}(x, t_0)$, кВ |
|----------|-------------------------------|-------------------------------|
| 0 | -0,137 | -47,959 |
| 5 | -0,139 | -48,789 |
| 10 | -0,142 | -49,633 |
| 15 | -0,144 | -50,492 |
| 20 | -0,147 | -51,366 |
| 25 | -0,149 | -52,255 |
| 30 | -0,152 | -53,159 |
| 35 | -0,155 | -54,079 |
| 40 | -0,157 | -55,015 |

| | | |
|----|--------|---------|
| 45 | -0,16 | -55,967 |
| 50 | -0,163 | -56,935 |
| 55 | -0,165 | -57,92 |
| 60 | -0,168 | -58,923 |
| 65 | -0,171 | -59,942 |
| 70 | -0,174 | -60,98 |
| 75 | -0,177 | -62,035 |
| 80 | -0,18 | -63,108 |
| 81 | -0,181 | -63,325 |

Для определения обратных (отраженных) волн тока и напряжения в третьей линии составим схему:



Рассчитаем коэффициенты отражения по току и напряжению:

$$k_{i3} = -k_{u3} = \frac{Z_{C3} - R_2}{Z_{C3} + R_2} = 0,4$$

$$i_{3обр}(t) = i_3(t) - i_{3np}(t) = k_{i3} \cdot i_{3np}(t) = 0,4 \cdot (-0,22e^{-1029,412(t-t_2-t_3)}) = -0,088e^{-1029,412(t-9,1 \cdot 10^{-4})} \text{ кА}$$

$$u_{3обр}(t) = u_3(t) - u_{3np}(t) = k_{u3} \cdot u_{3np}(t) = -0,4 \cdot (-77,005e^{-1029,412(t-t_2-t_3)}) = 30,802e^{-1029,412(t-9,1 \cdot 10^{-4})} \text{ кВ}$$

Получим зависимости $i_{3обр}(x, t)$ и $u_{3обр}(x, t)$

$$i_{3обр}(x, t) = -0,088e^{-1029,412(t-9,1 \cdot 10^{-4} - \frac{x}{V_3})} \text{ кА}$$

$$u_{3обр}(x, t) = 30,802e^{-1029,412(t-9,1 \cdot 10^{-4} - \frac{x}{V_3})} \text{ кВ}$$

Координата x отсчитывается от конца третьей линии к ее концу. Выражение справедливо только для $t \geq 9,1 \cdot 10^{-4} + \frac{x}{V_3}$ с.

Подставим $t_0 = 1,1 \cdot 10^{-3}$ с в выражения для тока и напряжения в третьей линии:

$$i_{3обр}(x, t_0) = -0,088e^{-1029,412(1,1 \cdot 10^{-3} - 9,1 \cdot 10^{-4} - \frac{x}{V_3})} = -0,072e^{0,00343x} \text{ кА}$$

$$u_{3обр}(x, t_0) = 30,802e^{-1029,412(1,1 \cdot 10^{-3} - 9,1 \cdot 10^{-4} - \frac{x}{V_3})} = 25,33e^{0,00343x} \text{ кВ}$$

Расчет мгновенных значений тока и напряжения обратных волн на участке третьей линии $0 \leq x \leq x_{\text{фр3}}$ к моменту времени t_0 приведен в таблице:

| х, км | $i_{3\text{обр}}(x, t_0)$, кА | $u_{3\text{обр}}(x, t_0)$, кВ |
|-------|--------------------------------|--------------------------------|
| 0 | -0,072 | 25,33 |
| 5 | -0,074 | 25,768 |
| 10 | -0,075 | 26,214 |
| 15 | -0,076 | 26,668 |
| 20 | -0,078 | 27,13 |
| 25 | -0,079 | 27,599 |
| 30 | -0,08 | 28,077 |
| 35 | -0,082 | 28,562 |
| 40 | -0,083 | 29,057 |
| 45 | -0,084 | 29,56 |
| 50 | -0,086 | 30,071 |
| 55 | -0,087 | 30,591 |
| 57 | -0,088 | 30,802 |

Первая линия:

для $0 \leq x \leq x_{\text{фр1}}$

$$i_1(x, t_0) = I_{10} + i_{1\text{обр}}(x, t_0) + i_{1\text{пр}}(x, t_0) = 8,338 \text{ кА}$$

$$u_1(x, t_0) = U_{10} + u_{1\text{обр}}(x, t_0) + u_{1\text{пр}}(x, t_0) = 300 \text{ кВ}$$

для $x_{\text{фр1}} \leq x \leq l_1$

$$i_1(x, t_0) = I_{10} + i_{1\text{обр}}(x, t_0) = 7,169 \text{ кА}$$

$$u_1(x, t_0) = U_{10} + u_{1\text{обр}}(x, t_0) = 206,494 \text{ кВ}$$

Вторая линия:

для $0 \leq x \leq l_2 - x_{\text{фр2}}$

$$i_2(x, t_0) = I_{20} + i_{2\text{пр}}(x, t_0) = 5,792 \text{ кА}$$

$$u_2(x, t_0) = U_{20} + u_{2\text{пр}}(x, t_0) = 206,494 \text{ кВ}$$

для $l_2 - x_{\text{фр2}} \leq x \leq l_2$

$$i_2(x, t_0) = I_{20} + i_{2\text{пр}}(x, t_0) + i_{2\text{обр}}(x, t_0)$$

$$= 6 - 0,208 - 0,166 + 0,154e^{-1029,412\left(1,1 \cdot 10^{-3} - 6,4 \cdot 10^{-4} - \frac{l_2 - x}{V_2}\right)} =$$

$$= 5,626 + 0,185e^{-0,00343x} \text{ кА}$$

$$u_2(x, t_0) = U_{20} + u_{2\text{пр}}(x, t_0) + u_{2\text{обр}}(x, t_0)$$

$$= 300 - 93,506 + 74,805 - 69,305e^{-1029,412\left(1,1 \cdot 10^{-3} - 6,4 \cdot 10^{-4} - \frac{l_2 - x}{V_2}\right)} =$$

$$= 281,299 - 83,413e^{-0,00343x} \text{ кВ}$$

Результаты расчета мгновенных значений тока и напряжения для $l_2 - x_{\text{фр2}} \leq x \leq l_2$ во второй линии

| х, км | $i_2(x, t_0)$, кА | $u_2(x, t_0)$, кВ |
|-------|--------------------|--------------------|
| 54 | 5,78 | 211,994 |
| 55 | 5,779 | 212,231 |
| 60 | 5,777 | 213,406 |
| 65 | 5,774 | 214,561 |
| 70 | 5,772 | 215,696 |
| 75 | 5,769 | 216,812 |
| 80 | 5,767 | 217,909 |
| 85 | 5,764 | 218,987 |
| 90 | 5,762 | 220,047 |
| 95 | 5,76 | 221,089 |
| 100 | 5,757 | 222,114 |
| 105 | 5,755 | 223,12 |
| 110 | 5,753 | 224,11 |
| 115 | 5,751 | 225,083 |
| 120 | 5,749 | 226,039 |
| 125 | 5,747 | 226,979 |
| 130 | 5,745 | 227,903 |
| 135 | 5,743 | 228,811 |
| 140 | 5,741 | 229,704 |
| 145 | 5,739 | 230,582 |
| 150 | 5,737 | 231,445 |
| 155 | 5,735 | 232,293 |
| 160 | 5,733 | 233,126 |
| 165 | 5,731 | 233,946 |
| 170 | 5,729 | 234,751 |
| 175 | 5,728 | 235,543 |
| 180 | 5,726 | 236,321 |
| 185 | 5,724 | 237,086 |
| 190 | 5,723 | 237,838 |
| 192 | 5,722 | 238,136 |

Третья линия:

для $0 \leq x \leq l_3 - x_{\text{фрз}}$

$$i_3(x, t_0) = I_{30} + i_{3\text{пр}}(x, t_0) = -0,137e^{0,00343x} \text{ кА}$$

$$u_3(x, t_0) = U_{30} + u_{3\text{пр}}(x, t_0) = -47,959e^{0,00343x} \text{ кВ}$$

для $l_3 - x_{\text{фрз}} \leq x \leq l_3$

$$\begin{aligned} i_3(x, t_0) &= I_{30} + i_{3\text{пр}}(x, t_0) + i_{30\text{бр}}(x, t_0) = 0 - 0,137e^{0,00343x} - 0,072e^{0,00343(l_3-x)} = \\ &= -0,137e^{0,00343x} - 0,096e^{-0,00343x} \text{ кА} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} u_3(x, t_0) &= U_{30} + u_{3\text{пр}}(x, t_0) + u_{30\text{бр}}(x, t_0) = 0 - 47,959e^{0,00343x} + 25,33e^{0,00343(l_3-x)} = \\ &= -47,959e^{0,00343x} + 33,446e^{-0,00343x} \text{ кВ} \end{aligned}$$

Результаты расчета мгновенных значений тока и напряжения в третьей линии

| х, км | $i_3(x, t_0)$, кА | $u_3(x, t_0)$, кВ |
|-------|--------------------|--------------------|
| 0 | -0,137 | -47,959 |
| 5 | -0,139 | -48,789 |
| 10 | -0,142 | -49,633 |
| 15 | -0,144 | -50,492 |
| 20 | -0,147 | -51,366 |
| 24 | -0,237 | -21,274 |
| 25 | -0,237 | -21,558 |
| 30 | -0,238 | -22,984 |
| 35 | -0,239 | -24,418 |
| 40 | -0,24 | -25,858 |
| 45 | -0,242 | -27,306 |
| 50 | -0,243 | -28,762 |
| 55 | -0,245 | -30,227 |
| 60 | -0,246 | -31,7 |
| 65 | -0,248 | -33,183 |
| 70 | -0,249 | -34,675 |
| 75 | -0,251 | -36,178 |
| 80 | -0,253 | -37,691 |
| 81 | -0,253 | -37,995 |

3. Определение зависимостей тока и напряжения от времени в фиксированной точке.

$$t_{A1} = \frac{l_2 - x_2}{V_2} = 4,733 \cdot 10^{-4} \text{ с}$$

для $0 \leq t < t_{A1}$

$$i_2(x_2, t) = I_{20}$$

$$u_2(x_2, t) = U_{20}$$

$$t_{A2} = t_{A1} + \frac{2x_2}{V_2} = 8,067 \cdot 10^{-4} \text{ с}$$

для $t_{A1} \leq t < t_{A2}$

$$i_2(x_2, t) = I_{20} + i_{2\text{пр}}(x_2, t)$$

$$u_2(x_2, t) = U_{20} + u_{2\text{пр}}(x_2, t)$$

для $t_{A2} \leq t \leq t_0$

$$i_2(x_2, t) = I_{20} + i_{2\text{пр}}(x_2, t) + i_{2\text{обр}}(x_2, t)$$

$$u_2(x_2, t) = U_{20} + u_{2\text{пр}}(x_2, t) + u_{2\text{обр}}(x_2, t)$$

Подставив числовые значения получим:

для $0 \leq t < 4,733 \cdot 10^{-4} \text{ с}$

$$i_2(x_2, t) = 6 \text{ кА}$$

$$u_2(x_2, t) = 300 \text{ кВ}$$

$$\text{для } 4,733 \cdot 10^{-4} \leq t < 8,067 \cdot 10^{-4} \text{ с}$$

$$i_2(x_2, t) = 5,792 \text{ кА}$$

$$u_2(x_2, t) = 206,494 \text{ кВ}$$

$$\text{для } 8,067 \cdot 10^{-4} \leq t < 11 \cdot 10^{-4} \text{ с}$$

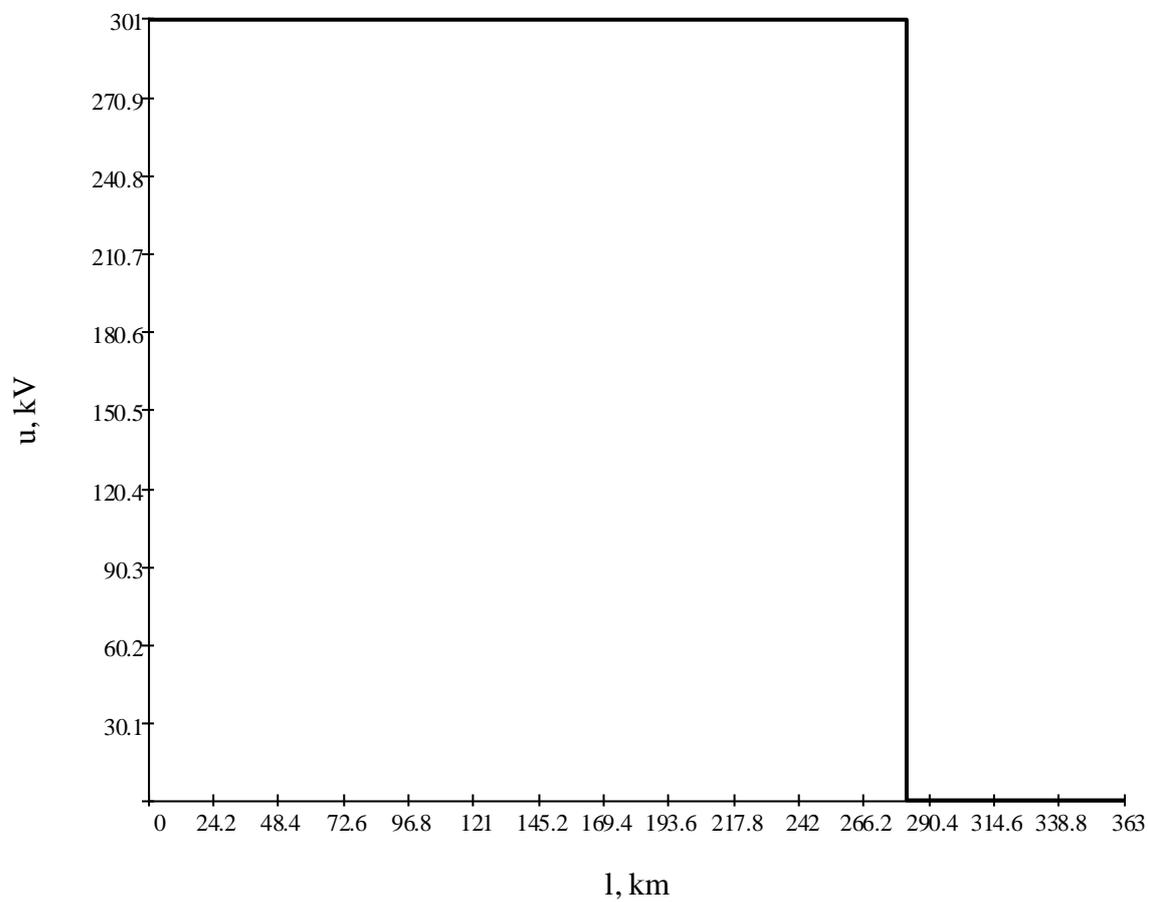
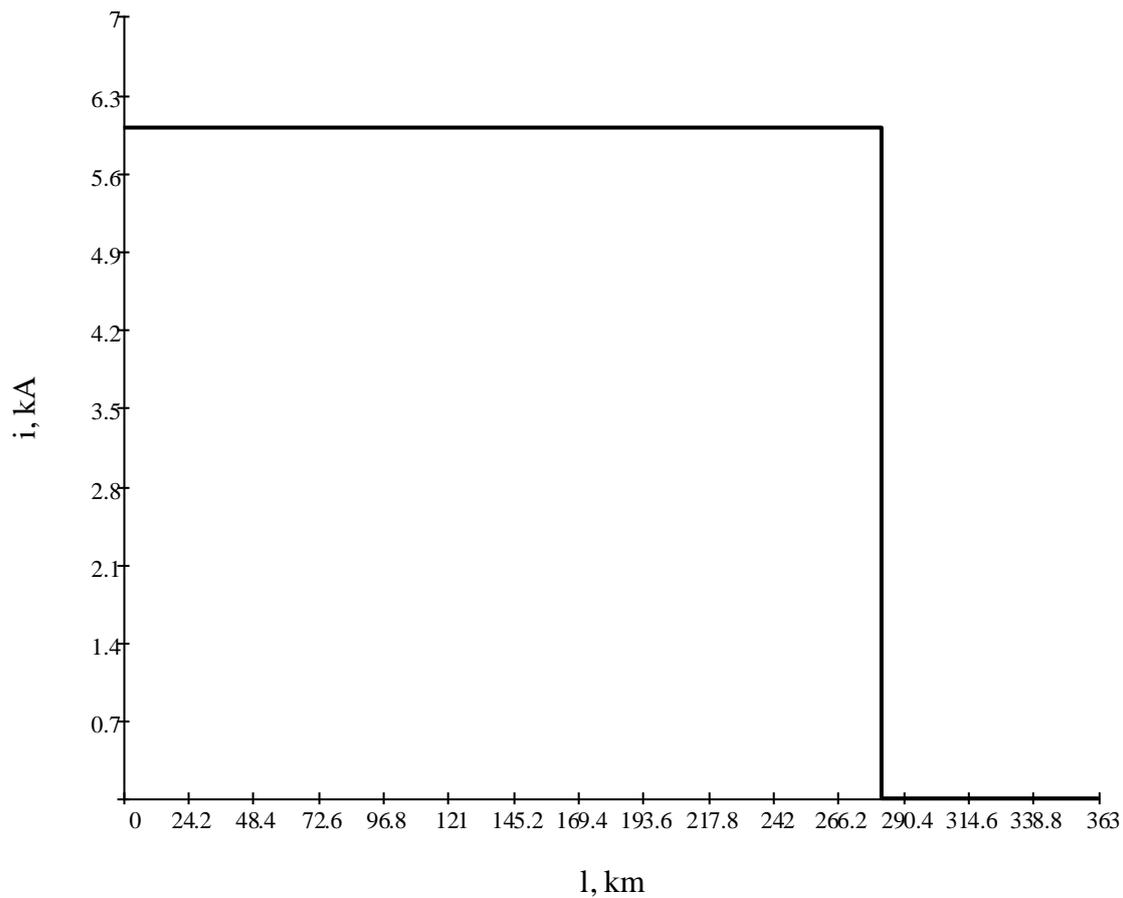
$$i_2(x_2, t) = 5,626 + 0,353e^{-1029,412t} \text{ кА}$$

$$u_2(x_2, t) = 281,299 - 159e^{-1029,412t} \text{ кВ}$$

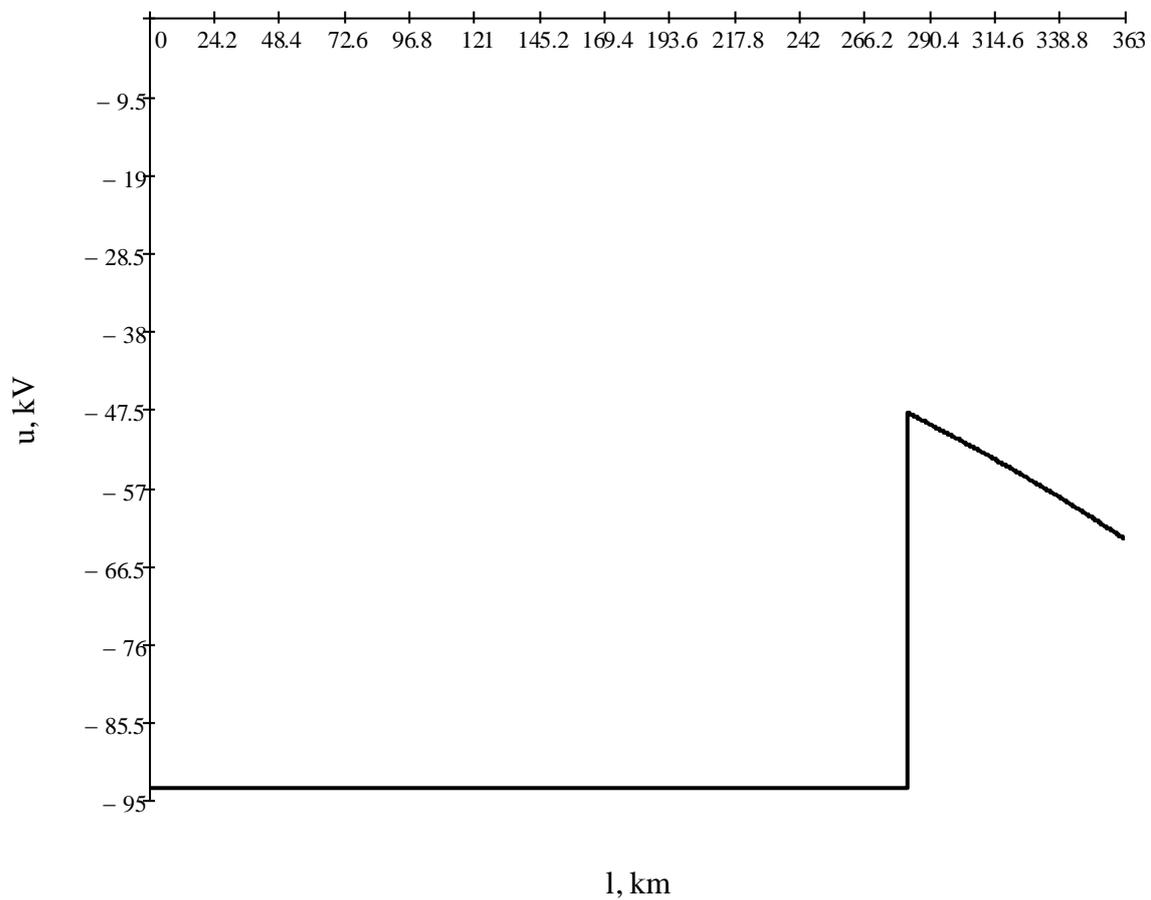
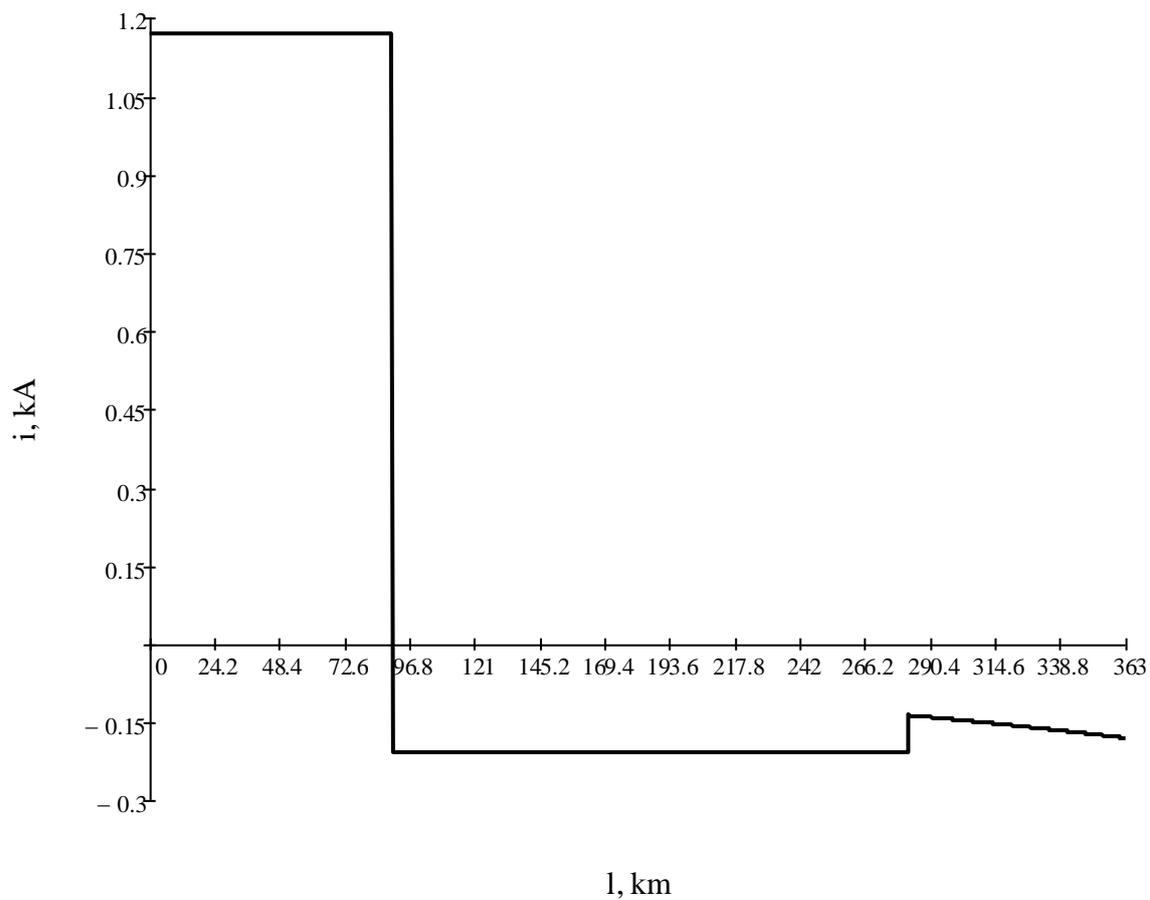
Результаты расчета мгновенных значений тока и напряжения в точке А для $8,067 \cdot 10^{-4} \leq t < 11 \cdot 10^{-4} \text{ с}$

| t, мс | $i_2(x_2, t)$, кА | $u_2(x_2, t)$, кВ |
|-------|--------------------|--------------------|
| 0,807 | 5,78 | 211,996 |
| 0,825 | 5,777 | 213,29 |
| 0,85 | 5,773 | 215,017 |
| 0,875 | 5,77 | 216,701 |
| 0,9 | 5,766 | 218,343 |
| 0,925 | 5,762 | 219,942 |
| 0,95 | 5,759 | 221,501 |
| 0,975 | 5,755 | 223,02 |
| 1 | 5,752 | 224,501 |
| 1,025 | 5,749 | 225,944 |
| 1,05 | 5,746 | 227,351 |
| 1,075 | 5,743 | 228,721 |
| 1,1 | 5,74 | 230,057 |

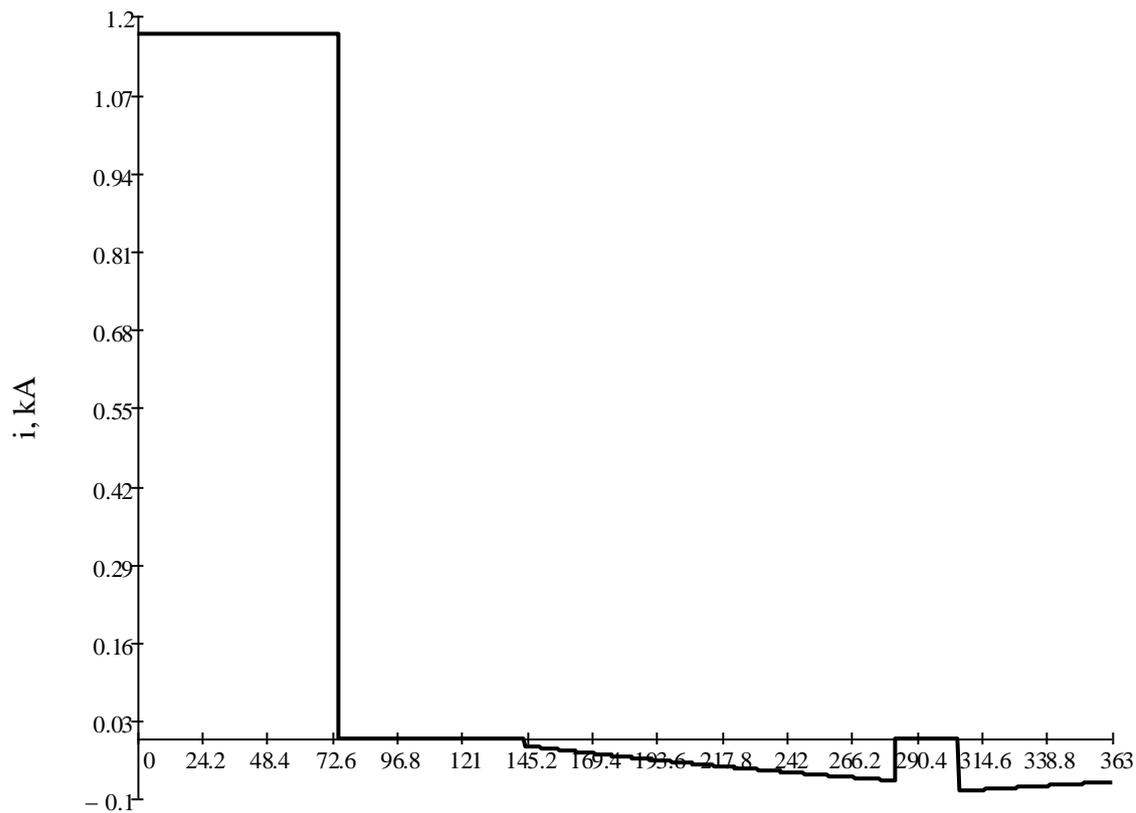
Графики начального распределения мгновенных значений напряжения и тока на линиях:



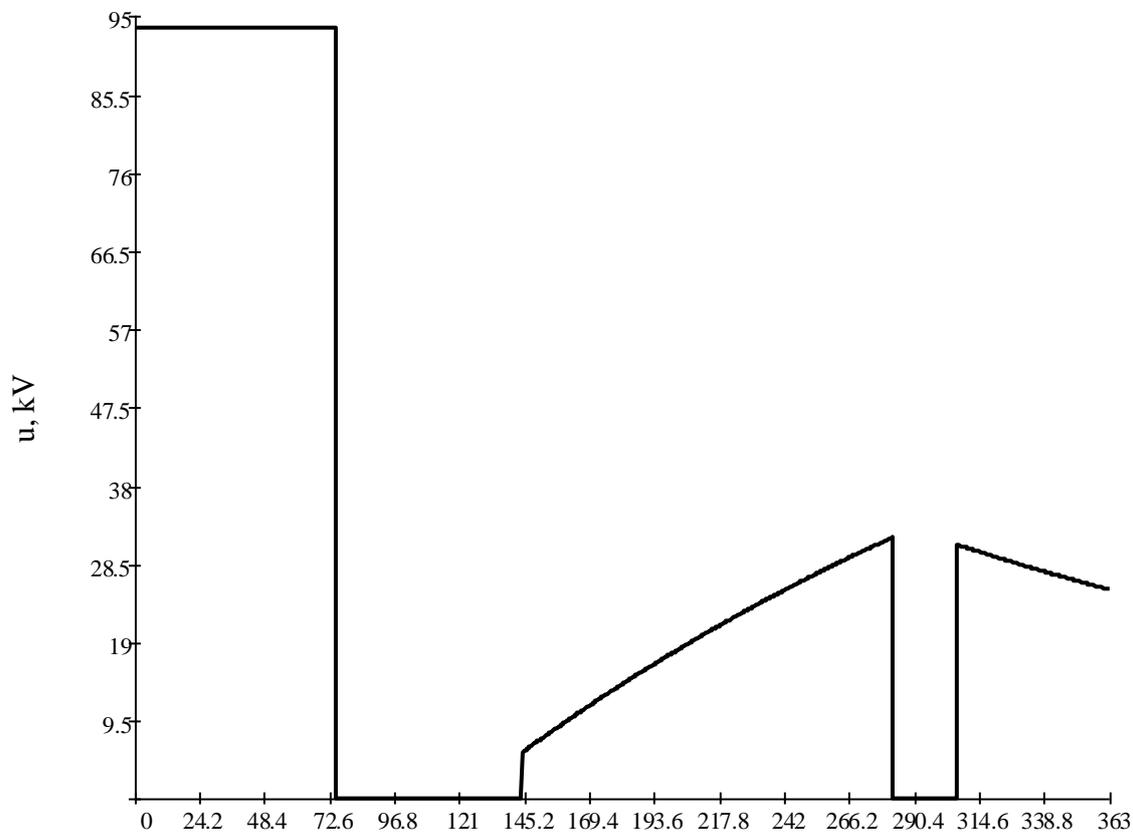
Графики распределения мгновенных значений падающих волн напряжения и тока на линиях:



Графики распределения значений отраженных волн напряжения и тока на линиях:

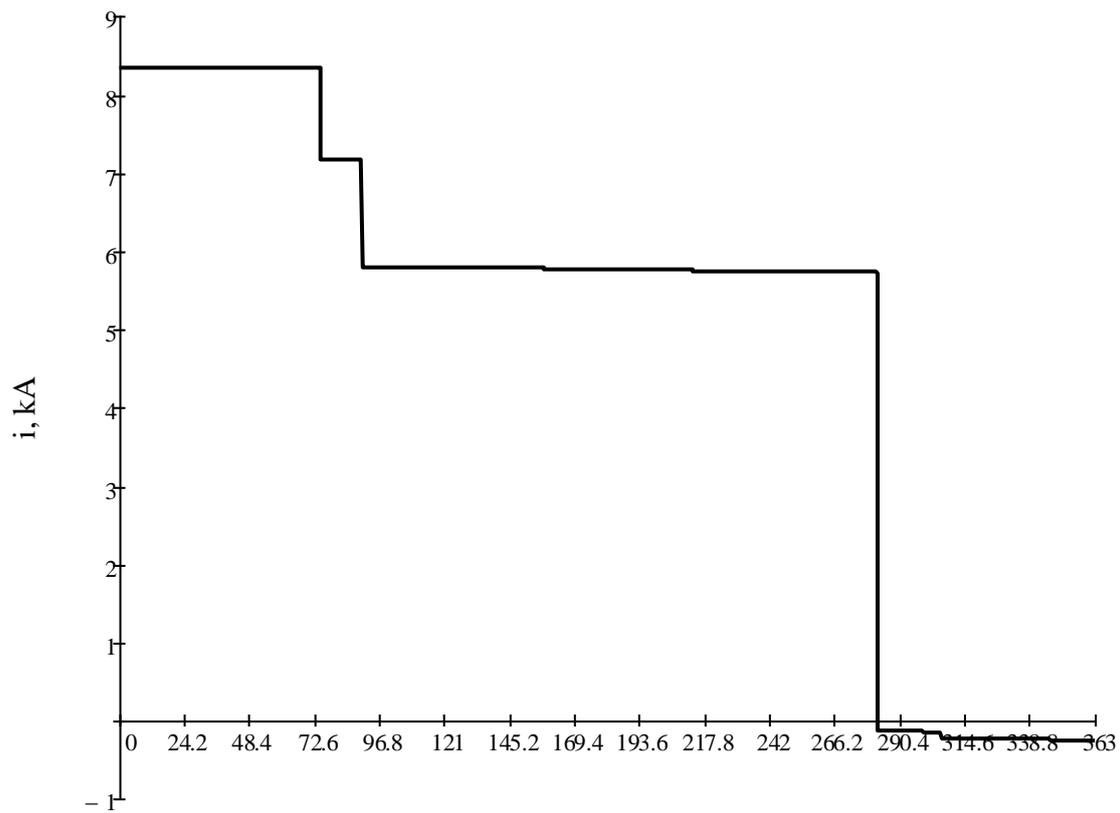


$l, \text{ km}$

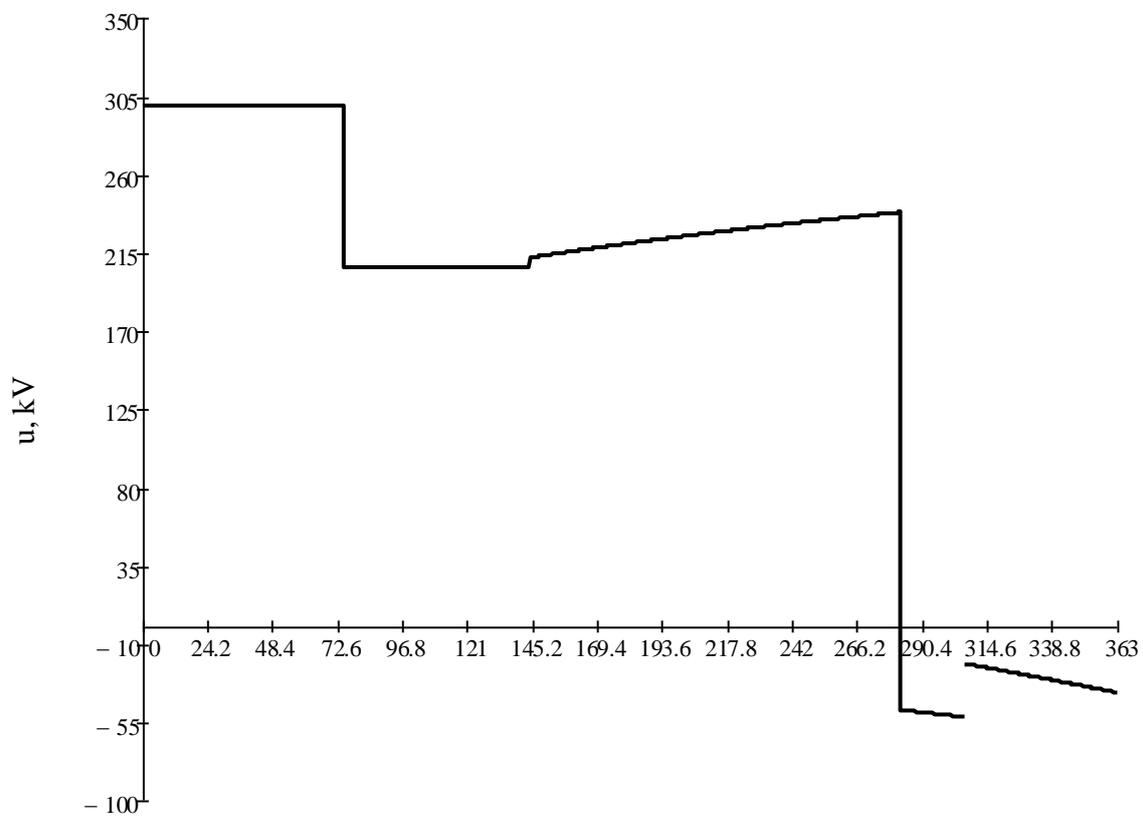


$l, \text{ km}$

Результирующие графики распределения значений напряжения и тока на линиях:



$l, \text{ km}$



$l, \text{ km}$

Графики зависимости тока и напряжения от времени в фиксированной точке А

