

Московский Физико-Технический Институт  
(государственный университет)

---

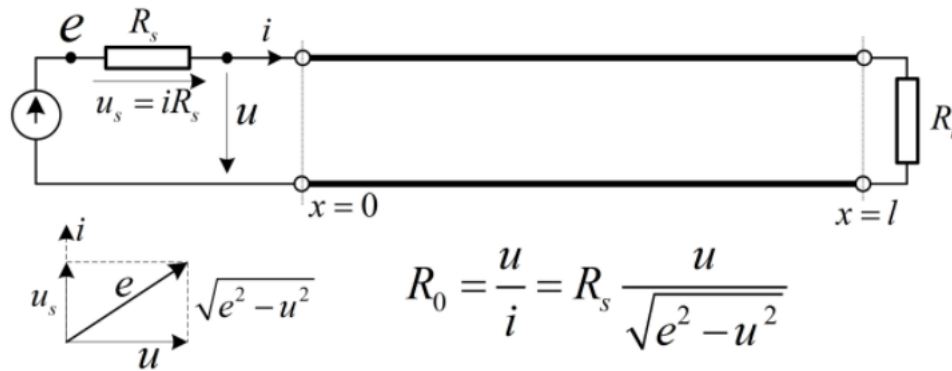
## Работа 23

---

Лабашкин Глеб, ФРКТ

# ЗАДАНИЕ 1

1. Зарисуем схему цепи.



2. Измерим длину  $l$  кабеля:

$$l \simeq 5,82 \text{ м}$$

Запишем параметры цепи:

$$R_{s1} = 36,4 \text{ (36) } \text{ Ом}$$

$$R_{s2} = 441 \text{ (430) } \text{ Ом}$$

$$f = 1,1 \text{ МГц}$$

В режиме короткого замыкания на выходе будем использовать резистор  $R_{s1}$ , а в режиме холостого хода на выходе будем использовать резистор  $R_{s2}$ . Найдём входное сопротивление линии по формуле:

$$R_0 = R_s \frac{u}{\sqrt{e^2 - u^2}}$$

Для  $R_{01}$ ,  $u = 1,48 \text{ В}$ , а  $e = 2,91 \text{ В}$ . Получаем:

$$R_{01} = 21,54 \text{ Ом (Короткое замыкание)}$$

Для  $R_{02}$ ,  $u = 1,75 \text{ В}$ , а  $e = 3,23 \text{ В}$ . Получаем:

$$R_{02} = 281 \text{ Ом (Холостой ход)}$$

3. Вычислим  $\omega$  и  $v$ :

$$\omega = \sqrt{\frac{L}{C}} = \sqrt{R_{01} \cdot R_{02}} = 77,5 \text{ Ом}$$

$$v = \frac{1}{\sqrt{LC}} \simeq 2\pi fl \frac{\omega}{R_{01}} = 1,7 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

Оценим погонные емкость  $C$  и индуктивность  $L$ :

$$C = \frac{1}{\omega v} = 7,59 \cdot 10^{-11} \text{ Ф}$$

$$L = \frac{\omega}{v} = 4,56 \cdot 10^{-7} \text{ Гн}$$

4. Исследуем резонансный пик на частоте  $f_0 = 7,5 \text{ МГц}$  и  $R_s = 980 (1000) \text{ Ом}$ . Получим:

$$u = 2,44 \text{ В}, \quad e = 3,78 \text{ В}$$

$$\frac{1}{\sqrt{2}} \frac{u}{e} = 0,45,$$

Это уровень по которому мы ищем значения частоты для ширины полочу пропускания.

$$f_1 = 6,5 \text{ МГц}, \quad f_2 = 8,5 \text{ МГц}$$

$$\Delta f = 2 \text{ МГц}$$

$$R_0 = 1748 \text{ Ом}$$

5. Вычислим погонное сопротивление линии:

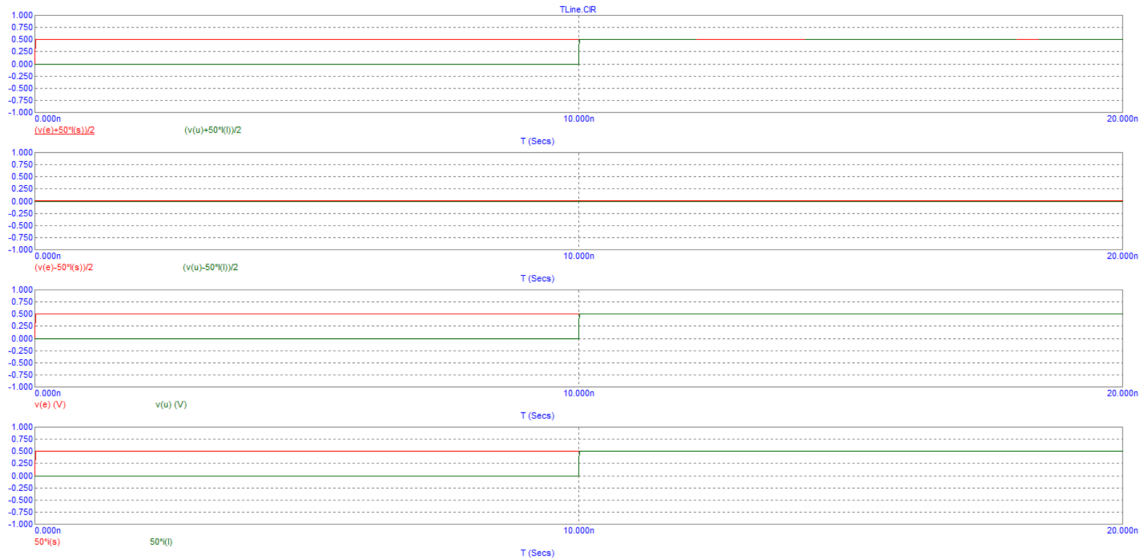
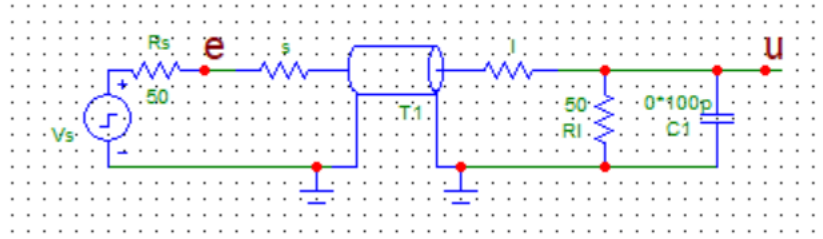
$$R = \frac{\omega^2}{R_0 l} = 0,59 \text{ Ом}$$

Вычислим добротность по формуле:

$$Q = \frac{f_0}{\Delta f} \left( 1 + \frac{R_0}{R_s} \right) = 21$$

Что близко к ожидаемому значению:

$$Q = \frac{\pi}{4} \frac{\omega}{Rl} = 18$$



## ЗАДАНИЕ 2

### Согласованная линия

Откроем файл **TLine.cir**. Зарисуем схему.

На схеме установим  $R_s = R_l = 50$  Ом и выведем график в режиме *Transient*.

Проанализируем графики и получим:  $u(v) = 0,5$  В и  $i(l) \cdot \omega = 0,5$  В. Убедимся, что источник отражает предельную мощность:

$$P = v(u)i(l) = \frac{V^2}{4R_s}, \text{ где } V = 1\text{ В}$$

$$P\omega = v(u)i(l)\omega = 0,5 \cdot 0,5 = 0,25 = \frac{V^2}{4R_s}\omega,$$

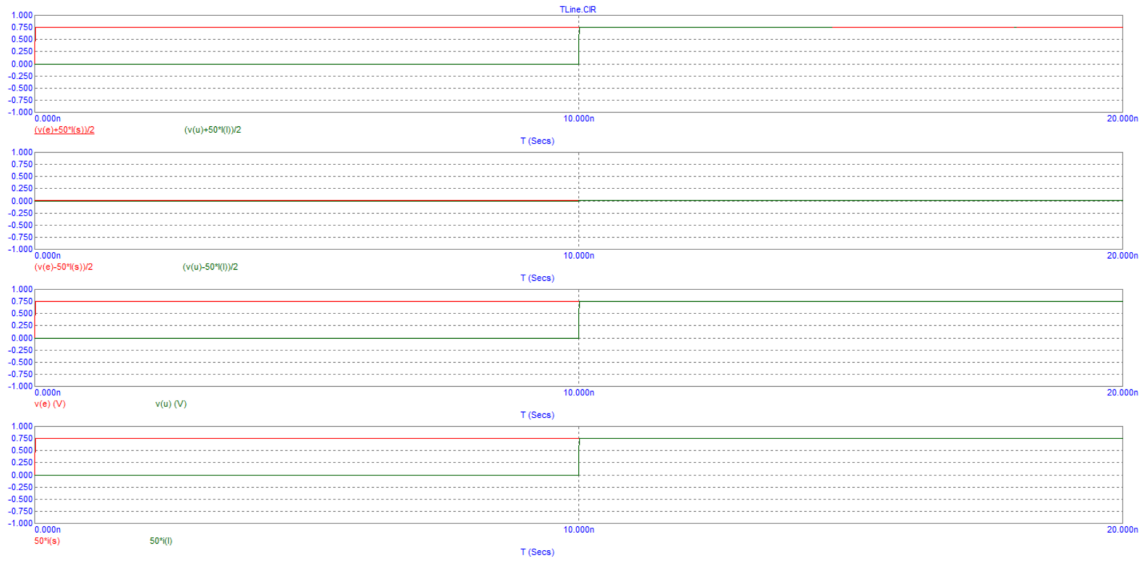
убедились, что источник отражает предельную мощность.

### Рассогласованный источник

Установим  $R_s = \frac{\omega}{3} = \frac{50}{3}$  Ом. Выведем график в режиме *Transient*.

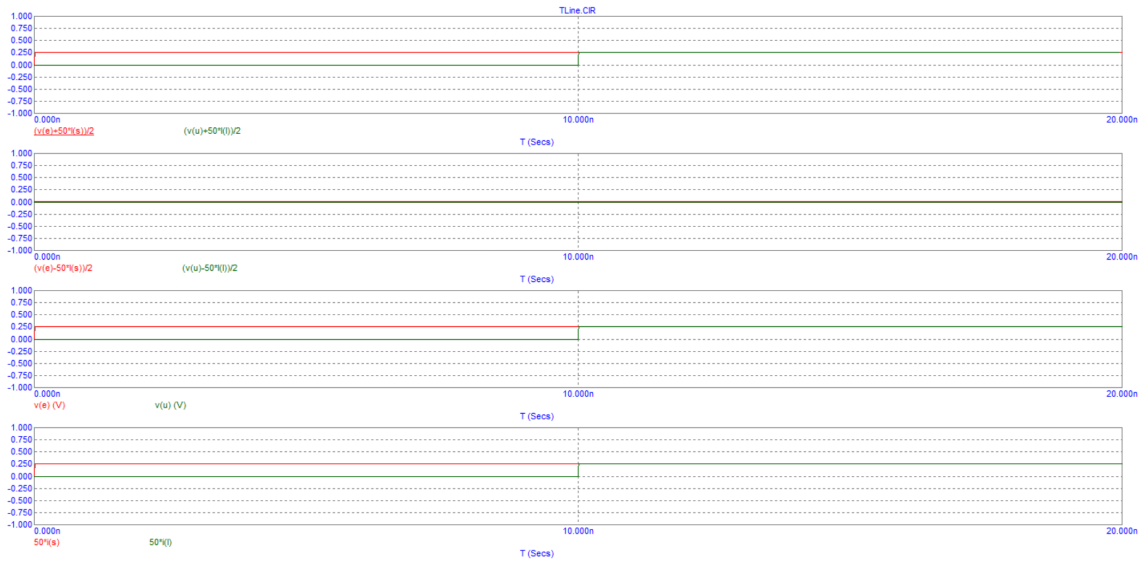
Проанализируем графики и получим:  $u(v) = 0,75$  В и  $i(l) \cdot \omega = 0,75$  В. Проверим, что отдаваемая мощность  $P$  меньше мощности источника в  $(1 - \rho_s^2)$  раз:

$$\rho_s = \frac{R_s - \omega}{R_s + \omega} = -\frac{1}{2}$$



$$P\omega = v(u)i(l)\omega = 0,75 \cdot 0,75 = 0,5625 = \frac{V^2}{4R_s}\omega(1 - \rho_s^2),$$

Повторим все это при  $R_s = 3\omega = 150 \text{ Ом}$



Проанализируем графики и получим:  $u(v) = 0,25 \text{ В}$  и  $i(l) \cdot \omega = 0,25 \text{ В}$ . Проверим, что отдаваемая мощность  $P$  меньше мощности источника в  $(1 - \rho_s^2)$  раз:

$$\rho_s = \frac{R_s - \omega}{R_s + \omega} = \frac{1}{2}$$

$$P\omega = v(u)i(l)\omega = 0,25 \cdot 0,25 = 0,0625 = \frac{V^2}{4R_s}\omega(1 - \rho_s^2),$$

## Рассогласованная нагрузка

Установим варьированием  $R_l = \frac{\omega}{3} = \frac{50}{3} \text{ Ом}$  [ $\rho_l = -\frac{1}{2}$ ],  $R_l = 0 \text{ Ом}$  [ $\rho_l = 0$ ],  $R_l = 3\omega = 150 \text{ Ом}$ , [ $\rho_l = \frac{1}{2}$ ] ( $R_s = 50 \text{ Ом}$ ). Измерим установившиеся значения амплитуд волн, напря-

жений и токов.

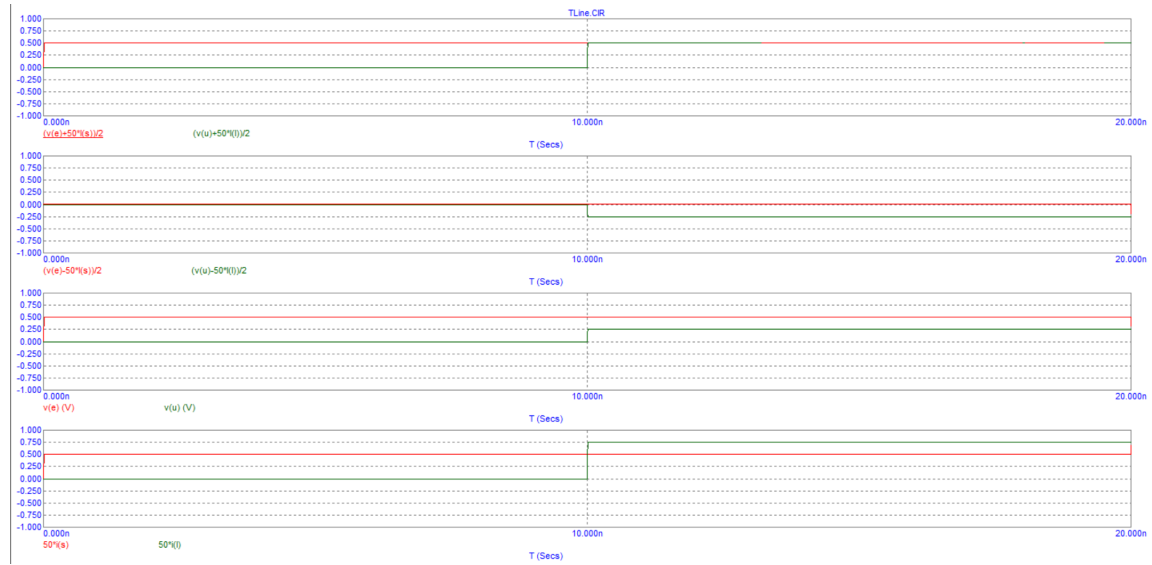


Рис. 1:  $R_l = \frac{\omega}{3}$

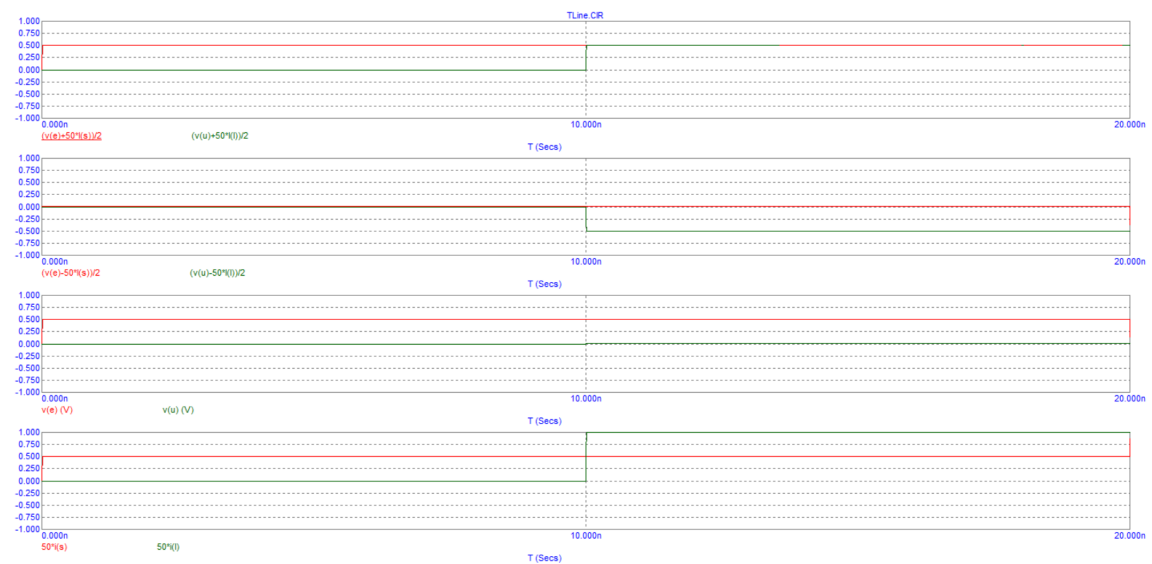


Рис. 2:  $R_l = 0$

Запишем данные в таблицу:

$R_l/\omega$	1/3	0	3	50k
A	0,5	0,5	0,5	0,5
B	-0,25	-0,5	0,25	0,5
$v(u)$	0,25	0	0,75	1
$i(l)\omega$	0,75	1	0,25	0

## Рассогласованные источник и нагрузка

Установить на схеме  $R_s = 50/3$  [ $\rho_s = -\frac{1}{2}$ ]. Установим варьированием  $R_l = 0$  [ $\rho_l = -1$ ],  $\rho_s \rho_l = \frac{1}{2}$ , выведем графики.

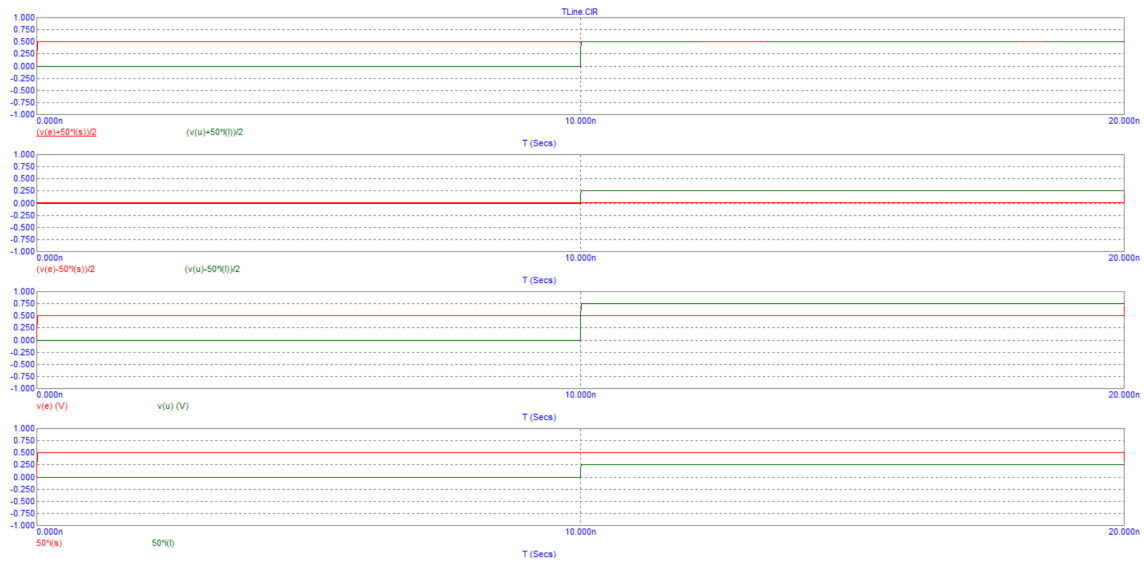


Рис. 3:  $R_l = 3\omega$

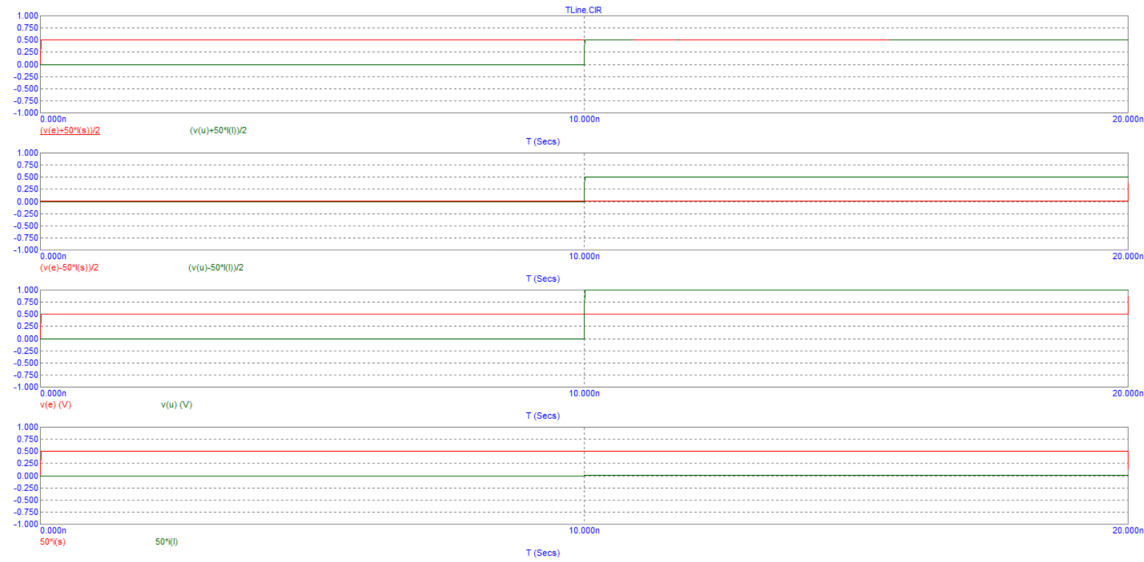


Рис. 4:  $R_l = 50k$

Убедимся в том, что амплитуда падающей волны нарастает, как последовательных частичных сумм прогрессии:

$$A = \frac{\omega}{\omega + R_s} \left( 1 + \rho_s \rho_l + (\rho_s \rho_l)^2 + \dots \right) = \frac{3}{4} \left( 1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \dots \right) = 1,5$$

Первый шаг ( $n = 1$ ) :  $A = 0,75$ .

Второй шаг ( $n = 2$ ) :  $A = 9/8$ .

Третий шаг ( $n = 3$ ) :  $A = 21/16$ .

Установившееся значение: ( $n = \infty$ ) :  $A = 1,5$ .

Повторим наблюдения при  $R_l = 50k \simeq \infty$  [ $\rho_l = 1$ ],  $\rho_s \rho_l = -\frac{1}{2}$ :

$$A = \frac{\omega}{\omega + R_s} \left( 1 + \rho_s \rho_l + (\rho_s \rho_l)^2 + \dots \right) = \frac{3}{4} \left( 1 - \frac{1}{2} + \frac{1}{4} - \dots \right) = \frac{3}{4} \cdot \frac{2}{3} = \frac{1}{2}$$

Первый шаг ( $n = 1$ ) :  $A = 0,75$ .

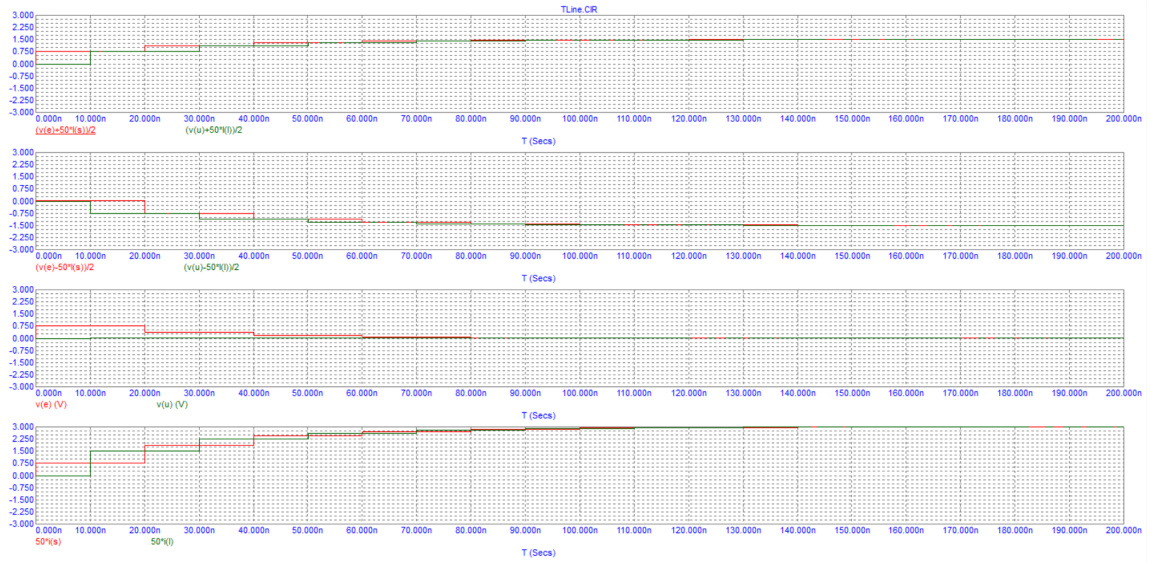


Рис. 5:  $R_l = 0, R_s = 50/3$

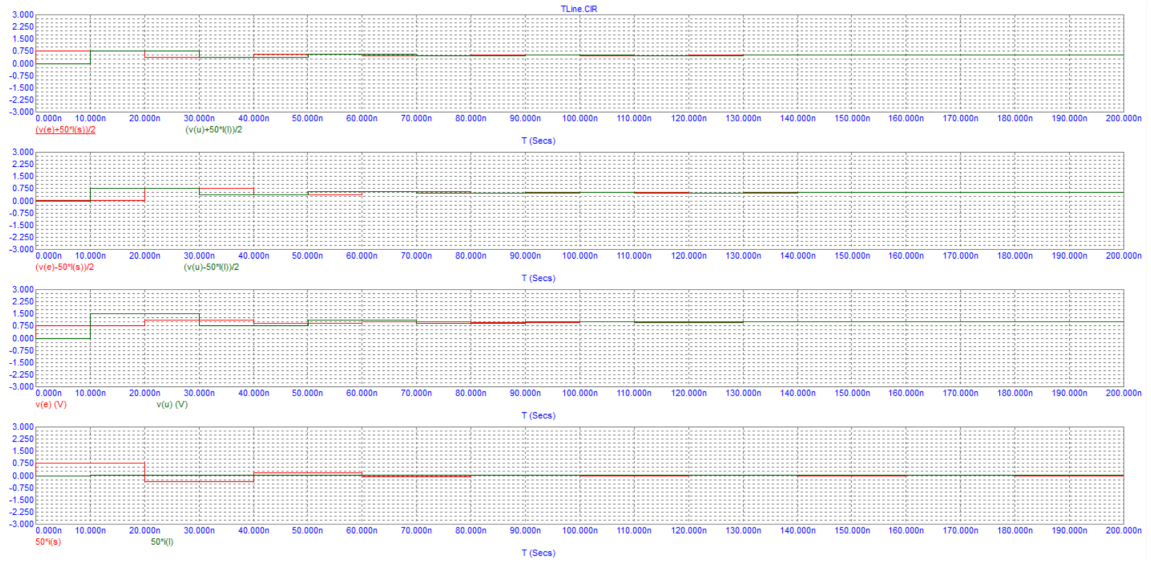


Рис. 6:  $R_l = 50k, R_s = 50/3$

Второй шаг ( $n = 2$ ) :  $A = 3/8$ .

Третий шаг ( $n = 3$ ) :  $A = 9/16$ .

Установившееся значение: ( $n = \infty$ ) :  $A = 0,5$ .

Установим на схеме  $R_s = 50\omega$  [ $\rho_s = \frac{1}{2}$ ] и повторим наблюдения при  $R_l = 0$  [ $\rho_l = -1$ ].

$$A = \frac{\omega}{\omega + R_s} \left( 1 + \rho_s \rho_l + (\rho_s \rho_l)^2 + \dots \right) = \frac{1}{4} \left( 1 - \frac{1}{2} + \frac{1}{4} - \dots \right) = \frac{1}{4} \cdot \frac{2}{3} = \frac{1}{6}$$

Первый шаг ( $n = 1$ ) :  $A = 0,25$ .

Второй шаг ( $n = 2$ ) :  $A = 1/8$ .

Третий шаг ( $n = 3$ ) :  $A = 3/16$ .

Установившееся значение: ( $n = \infty$ ) :  $A = \frac{1}{6}$ .

Установить на схеме  $R_s = 0$  [ $\rho_s = -1$ ] (предельно сильное рассогласование на источнике) и повторить наблюдения при





Рис. 7:  $R_l = 50k, R_s = 50/3$

$$R_l = 50k, [\rho_l = 1] \Rightarrow A = (1 - 1 + 1 - \dots),$$

$$R_l = 500, [\rho_l = 0, 8] \Rightarrow A = (1 - \rho_l + rho_l^2 - \dots),$$

$$R_l = 0, [\rho_l = 1] \Rightarrow A = (1 + 1 + 1 + \dots),$$

$$R_l = 5, [\rho_l = -0, 8] \Rightarrow A = (1 + \rho_l + rho_l^2 + \dots),$$



Рис. 8:  $R_l = 50k, R_s = 0$

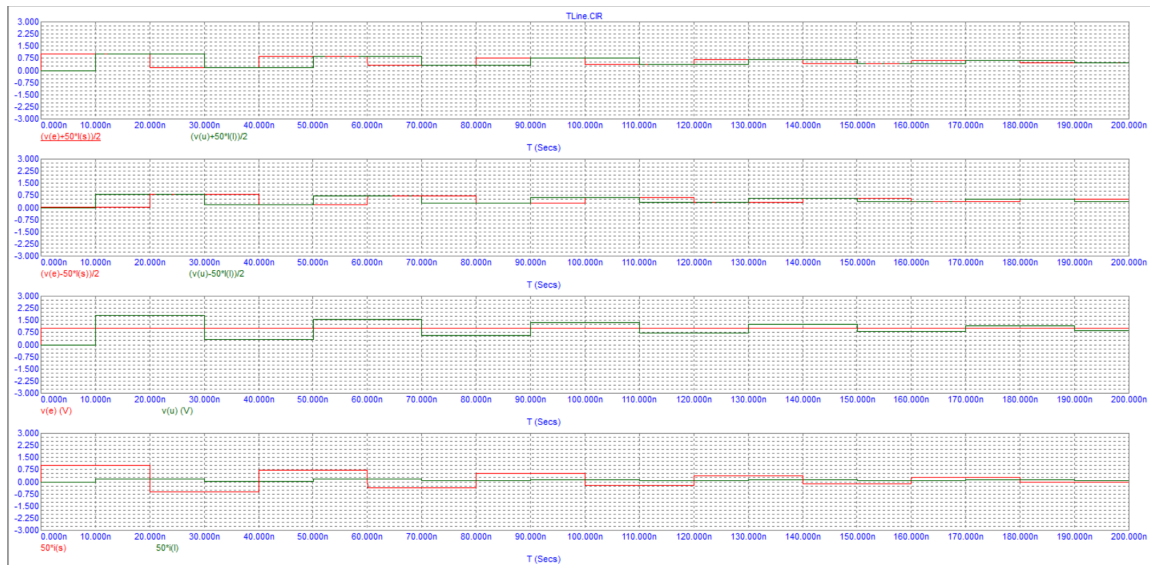


Рис. 9:  $R_l = 500, R_s = 0$



Рис. 10:  $R_l = 0, R_s = 0$

## Емкостная нагрузка

Установить на схеме  $R_s = 50$  (согласованный источник),  $R_l = 50k \simeq \infty$ ,  $C = 100n\Phi$ . Измерим установившиеся значения амплитуд волн напряжений и токов:

$$A = 0,5 B$$

$$B = 0,5 B$$

$$u = 0,5 B$$

$$i\omega = 0 B$$



Рис. 11:  $R_l = 5, R_s = 0$

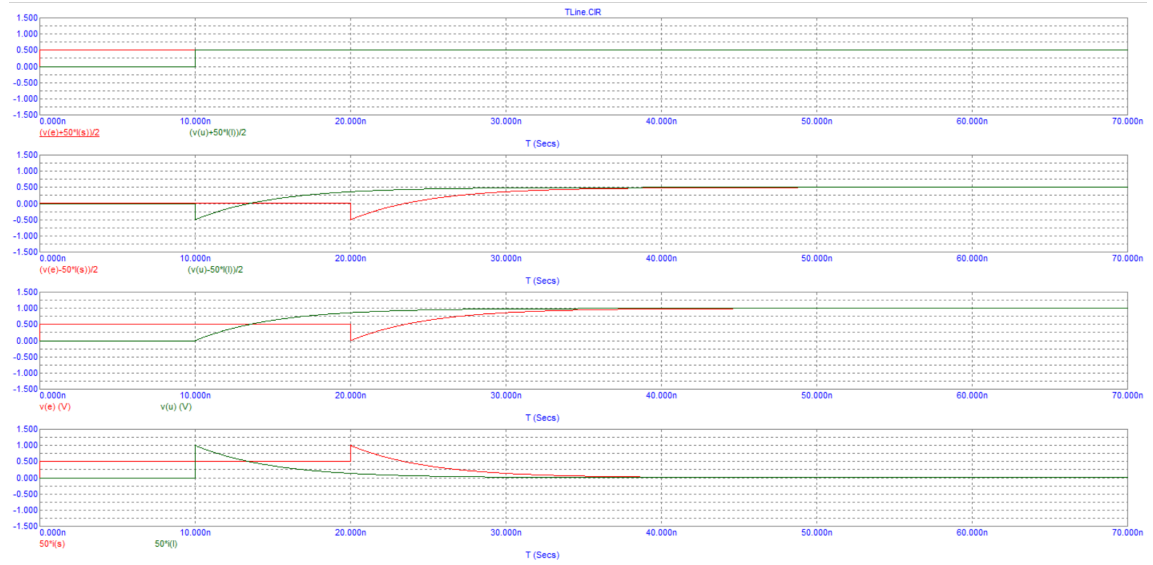


Рис. 12:  $R_l = 50k, R_s = 50$

Оценим по графику постоянную времени  $\tau$  экспоненциального переходного процесса:

$$u = u_0 \left(1 - \frac{1}{e}\right),$$

где  $u_0 = 1 \text{ B} \Rightarrow u = 0,63B$ , тогда:

$$\tau = 5,1 \text{ нс}$$

$$\tau = \omega C = 5 \text{ нс}$$

Варьированием установим  $R_s = 50/3$ , проанализируем графики переходных процессов.

$$A = 0,5 \text{ B}$$

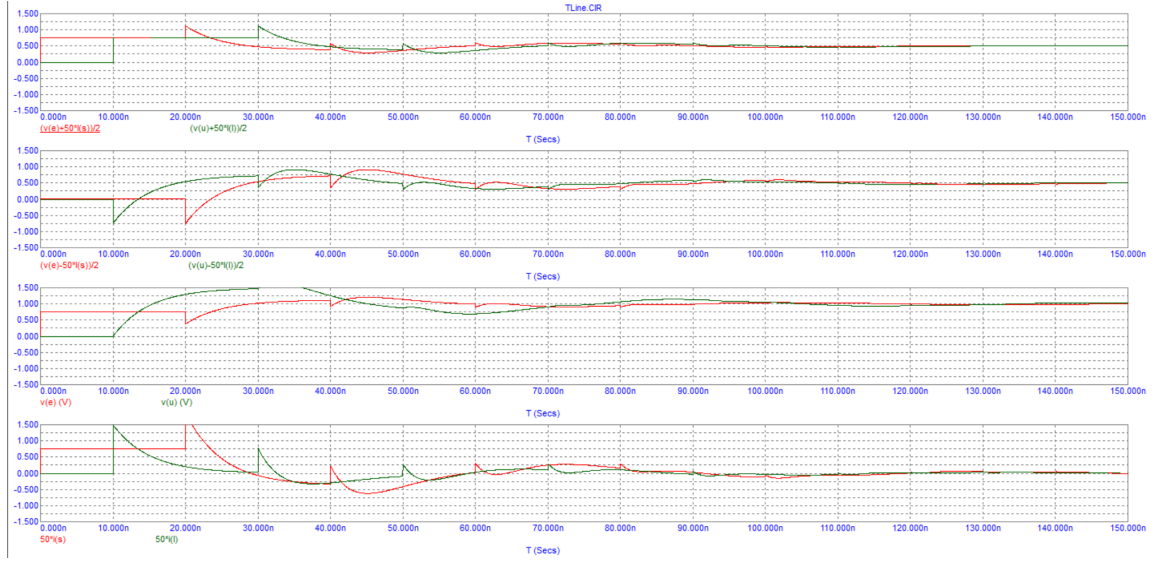


Рис. 13:  $R_l = 50k, R_s = 50/3$

$$B = 0,5 B$$

$$u = 1 B$$

$$i\omega = 0 B$$

Проанализируем графики незатухающего переходного процесса при  $R_s = 0$ .

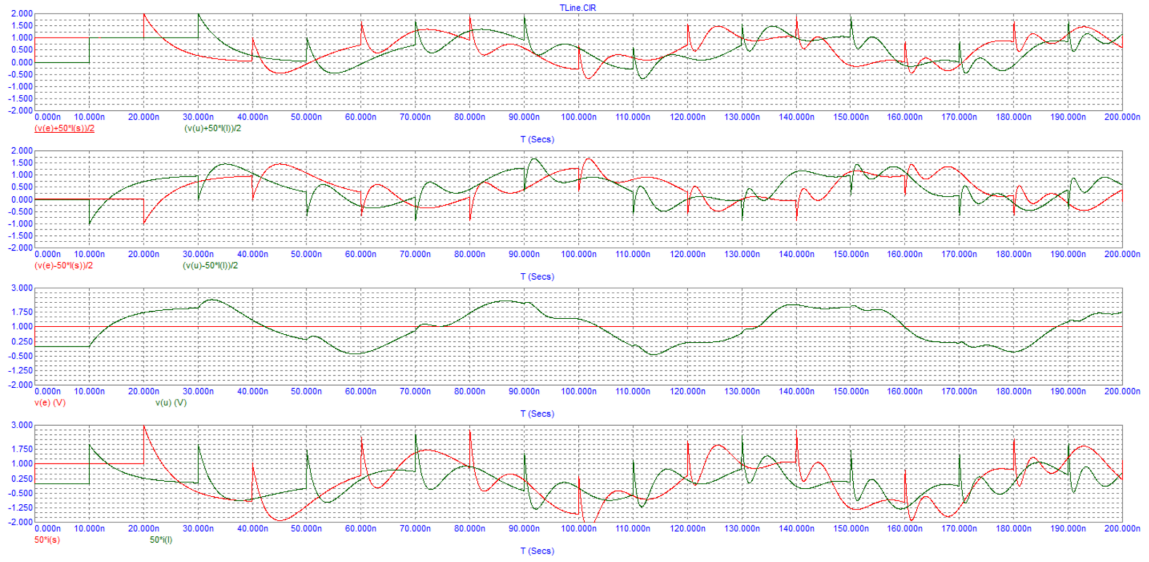


Рис. 14:  $R_l = 50k, R_s = 0$