

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

Физтех-школа радиотехники и компьютерных технологий

Отчёт о выполнении работы №23
Длинные линии

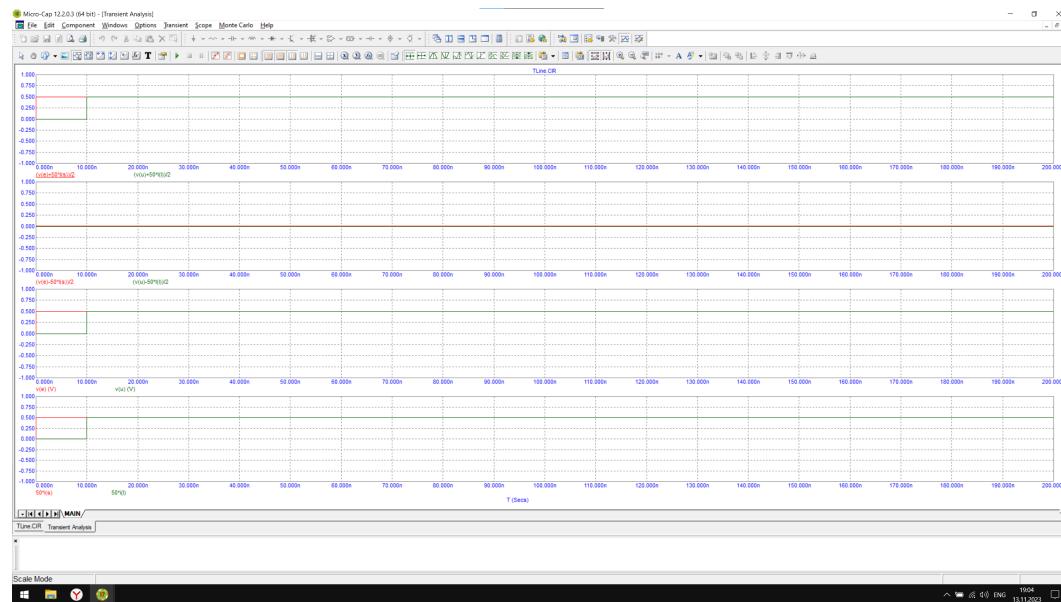
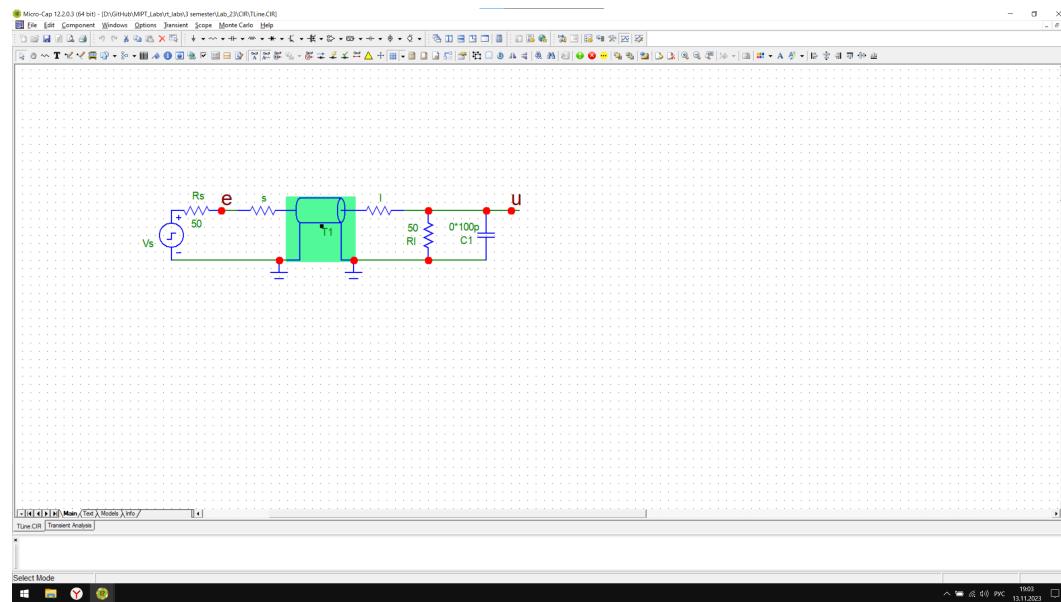
Автор:
Тихонов Дмитрий Романович,
студент группы Б01-206

Долгопрудный, 2023

Задание 2

Согласованная линия

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



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

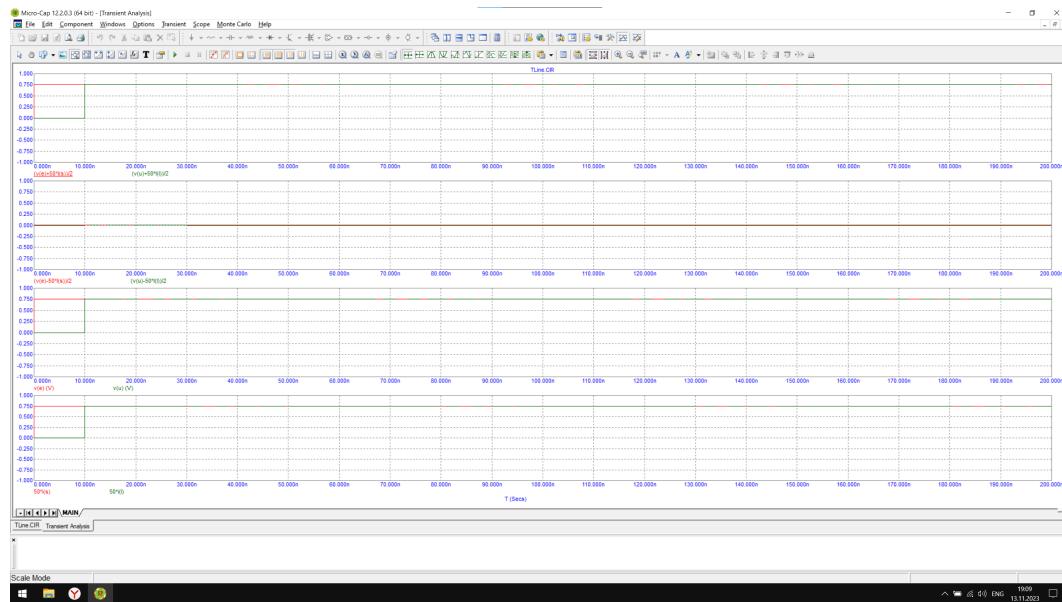
$$P = v(u)i(l) = \frac{V^2}{4R_s}, \text{ где } V = 1 \text{ B}$$

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

убедились, что источник отражает предельную мощность.

Рассогласованный источник

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

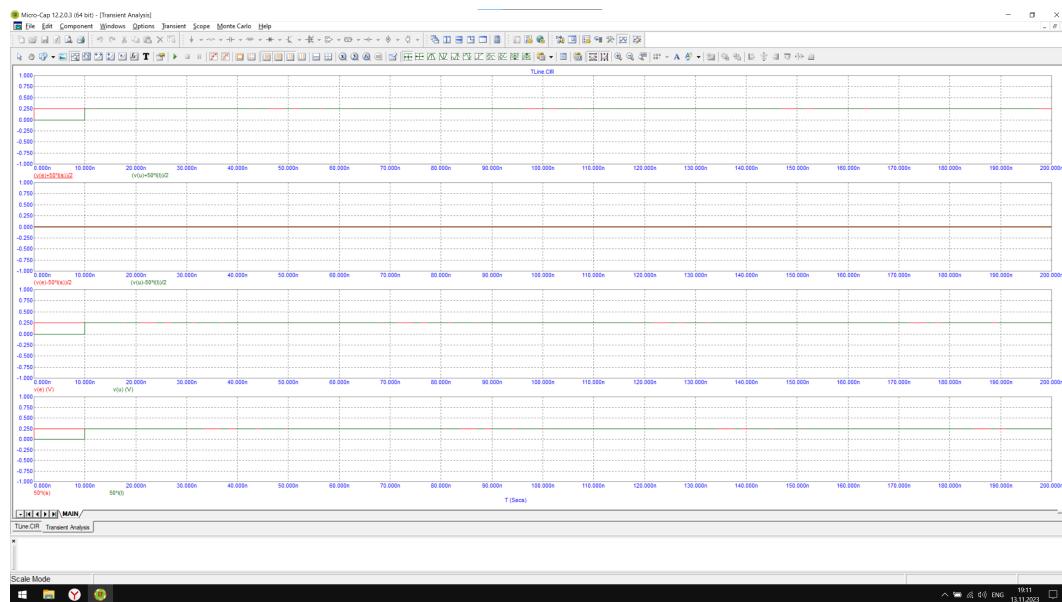


Проанализируем графики и получим: $v(u) = 0,75 \text{ В}$ и $i(l) \cdot \omega = 0,75 \text{ В}$. Проверим, что отдаваемая мощность P меньше мощности источника в $(1 - \rho_s^2)$ раз:

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

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

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



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

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

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

Рассогласованная нагрузка

Установим варьированием $R_l = \frac{\omega}{3} = \frac{50}{3} O\Omega$ [$\rho_l = -\frac{1}{2}$], $R_l = 0 O\Omega$ [$\rho_l = 0$], $R_l = 3\omega = 150 O\Omega$, [$\rho_l = \frac{1}{2}$] ($R_s = 50 O\Omega$). Измерим установившиеся значения амплитуд волн, напряжений и токов.

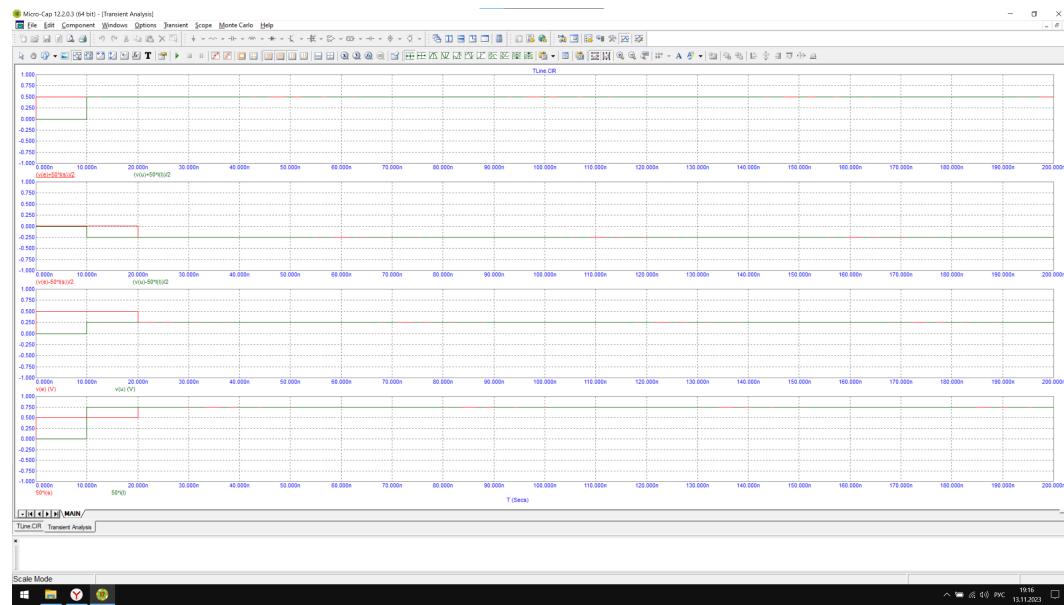


Рис. 1: $R_l = \frac{\omega}{3}$

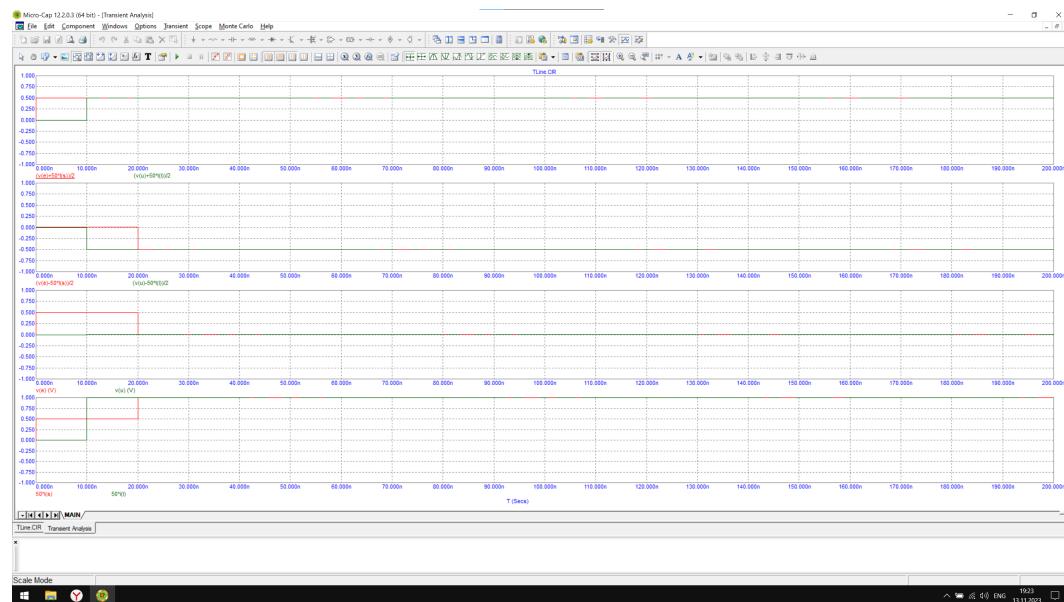


Рис. 2: $R_l = 0$

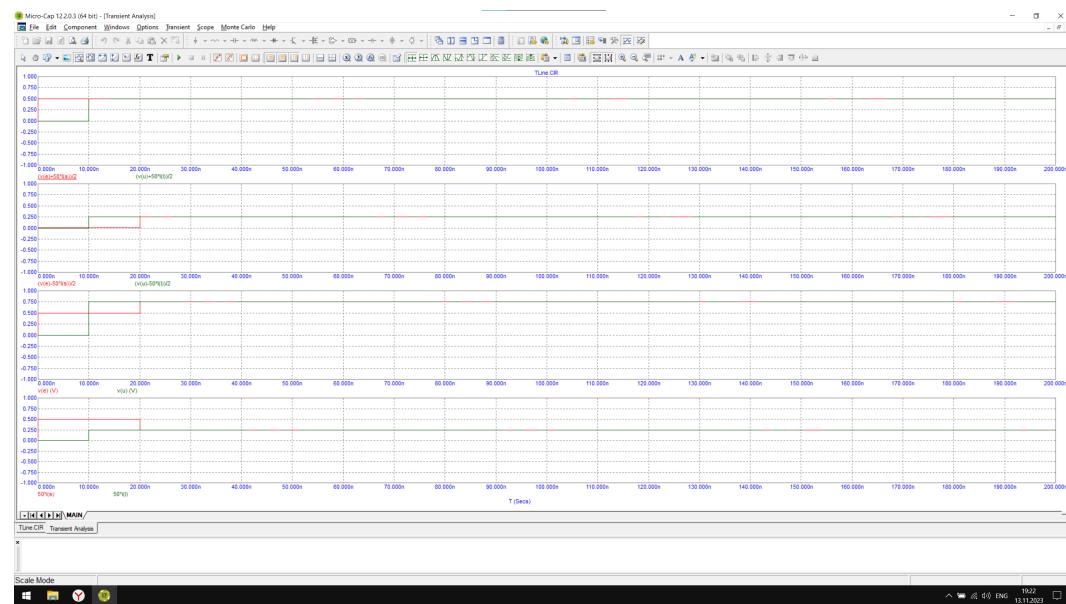


Рис. 3: $R_l = 3\omega$

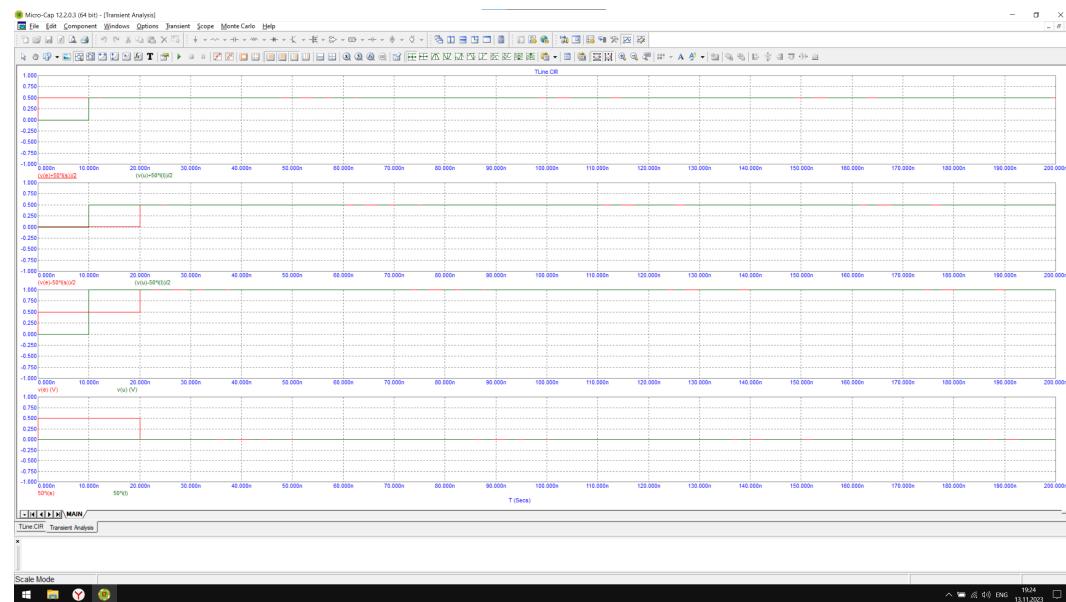


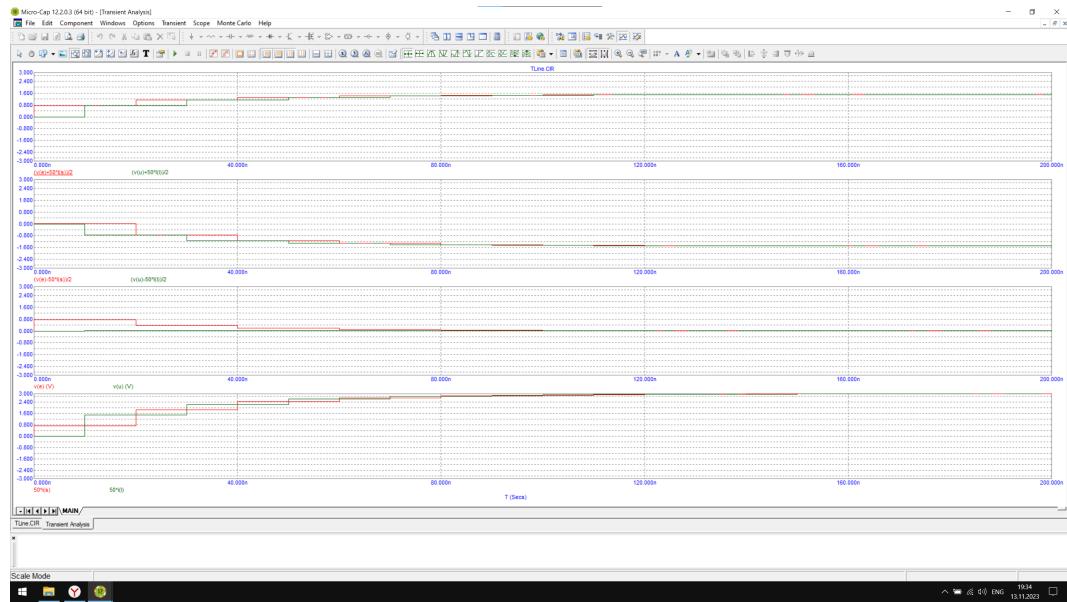
Рис. 4: $R_l = 50k$

Запишем данные в таблицу:

R_l/ω	$1/3$	0	3	$50k \cdot \omega$
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

Установим 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. 5: $R_l = 0, R_s = 50/3$

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

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

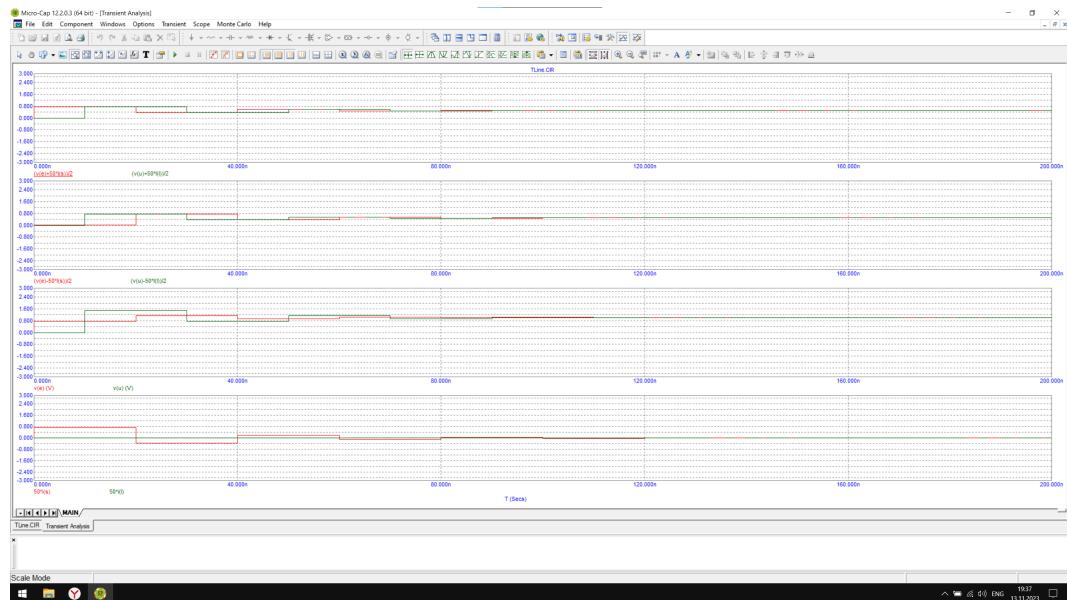
Первый шаг ($n = 1$) : $A = 0,75$.

Второй шаг ($n = 2$) : $A = 9/8$.

Третий шаг ($n = 3$) : $A = 21/16$.

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

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

Рис. 6: $R_l = 50k, R_s = 50/3$

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

Первый шаг ($n = 1$) : $A = 0,75$.

Второй шаг ($n = 2$) : $A = 3/8$.

Третий шаг ($n = 3$) : $A = 9/16$.

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

Установим на схеме $R_s = 150$ [$\rho_s = \frac{1}{2}$] и повторим наблюдения при $R_l = 0$ [$\rho_l = -1$].

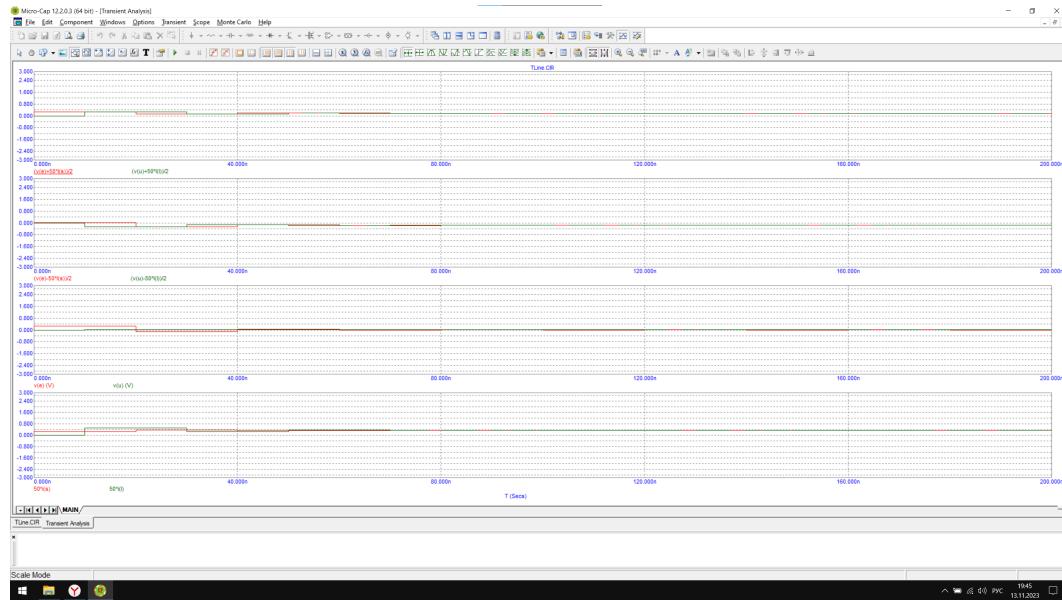


Рис. 7: $R_l = 0, R_s = 150$

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

Первый шаг ($n = 1$) : $A = 0, 25$.

Второй шаг ($n = 2$) : $A = 1/8$.

Третий шаг ($n = 3$) : $A = 3/16$.

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

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

- $R_l = 50k, [\rho_l = 1] \Rightarrow A = (1 - 1 + 1 - \dots)$,
- $R_l = 500, [\rho_l = 0, 8] \Rightarrow A = (1 - \rho_l + rho_l^2 - \dots)$,
- $R_l = 0, [\rho_l = -1] \Rightarrow A = (1 + 1 + 1 + \dots)$,
- $R_l = 5, [\rho_l = -0, 8] \Rightarrow A = (1 + \rho_l + rho_l^2 + \dots)$,

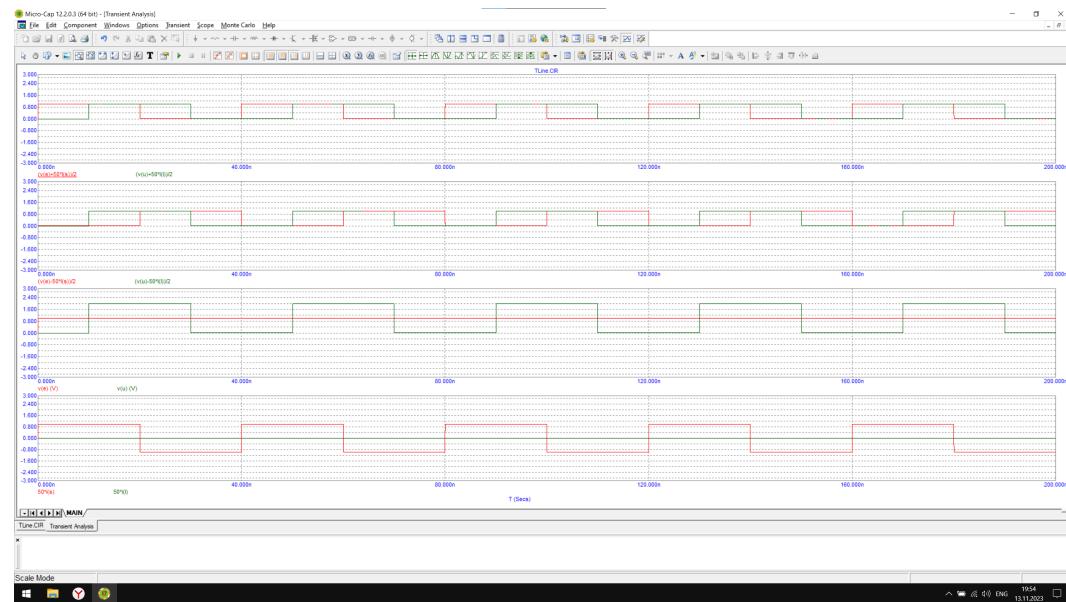


Рис. 8: $R_l = 50k, R_s = 0$

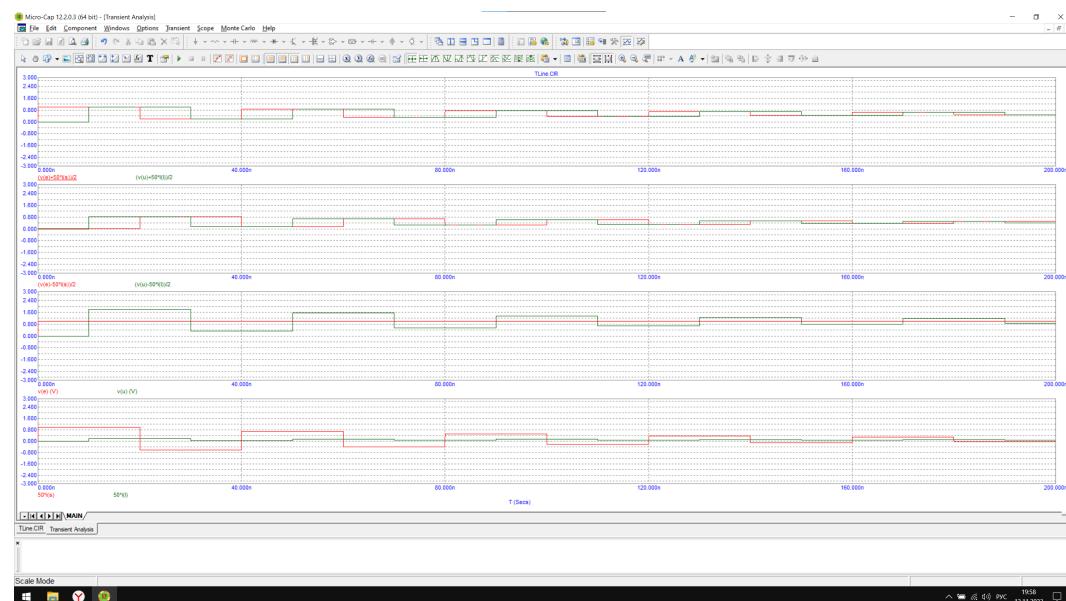


Рис. 9: $R_l = 500, R_s = 0$

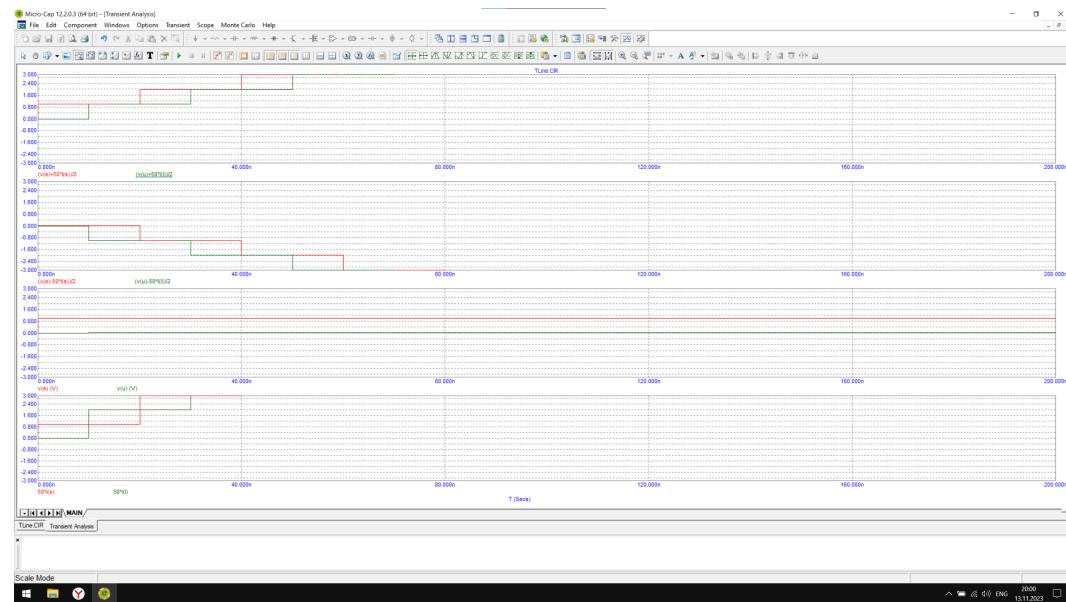


Рис. 10: $R_l = 0, R_s = 0$

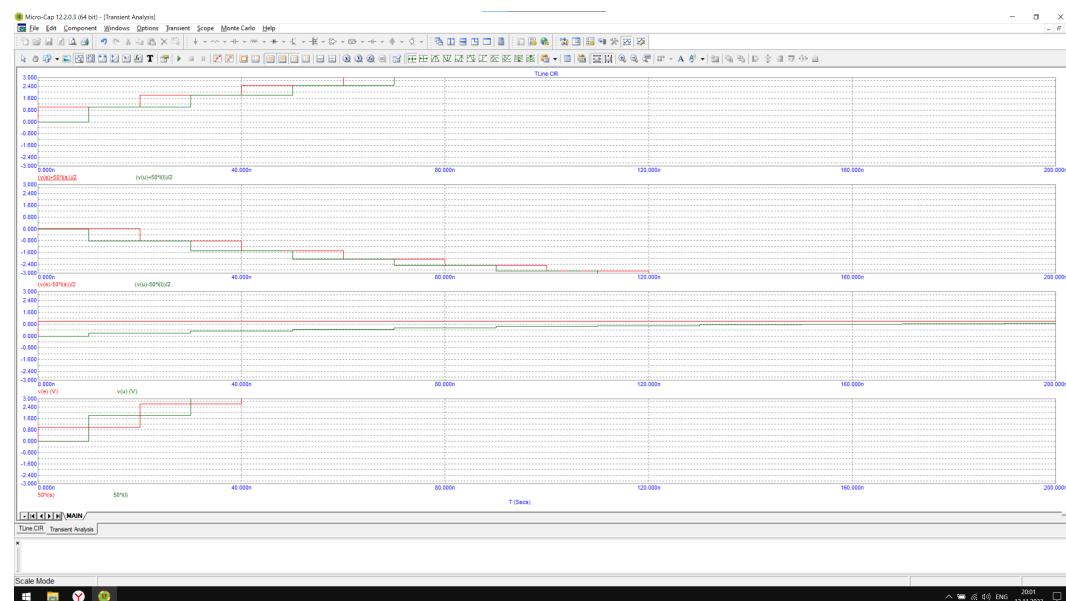


Рис. 11: $R_l = 5, R_s = 0$

Емкостная нагрузка

Установить на схеме $R_s = 50$ (согласованный источник), $R_l = 50k \simeq \infty$, $C = 100n\Phi$.

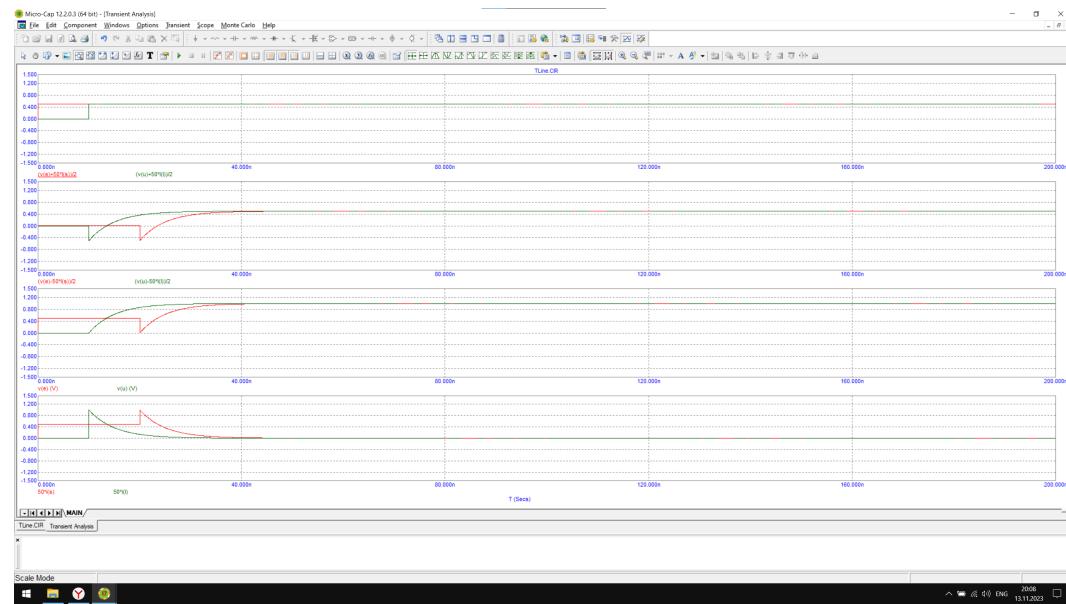


Рис. 12: $R_l = 50k, R_s = 50$

Измерим установившиеся значения амплитуд волн напряжений и токов:

$$A = 0,5 \text{ В}, B = 0,5 \text{ В}, v(u) = 1 \text{ В}, i\omega = 0 \text{ В}$$

Оценим по графику постоянную времени τ экспоненциального переходного процесса:

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

где $u_0 = 1 \text{ В} \Rightarrow u = 0,63B$, тогда, пользуясь графиком, получим

$$\tau_{\text{эксп}} \approx 5 \text{ нс}$$

Находим экспериментальное значение τ и убеждаемся, что теоретическое и экспериментальное значения равны друг другу:

$$\tau_{\text{теор}} = \omega C = 5 \text{ нс} \equiv \tau_{\text{эксп}}$$

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

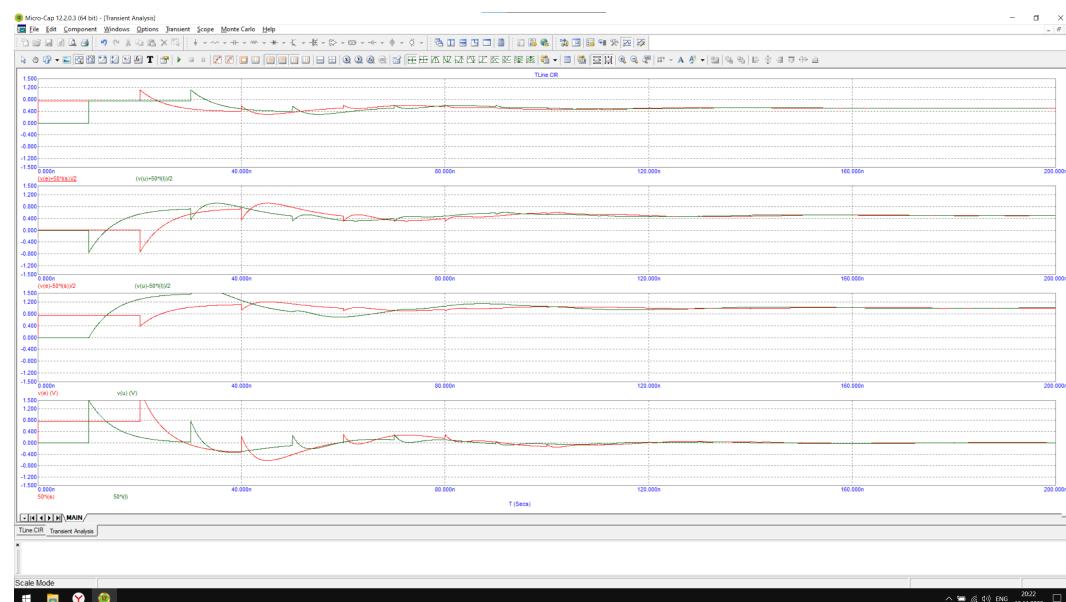


Рис. 13: $R_l = 50k, R_s = 50/3$

$$A = 0,5 \text{ B}, B = 0,5 \text{ B}, v(u) = 1 \text{ B}, i\omega = 0 \text{ B}$$

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

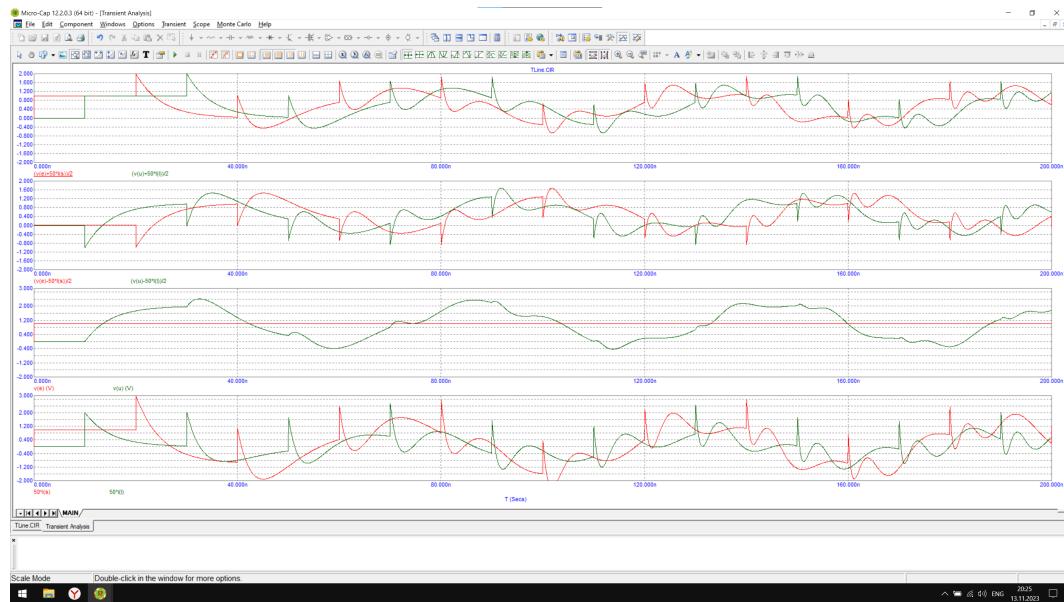


Рис. 14: $R_l = 50k, R_s = 0$