
Московский Физико-Технический Институт
(государственный университет)

Лабораторная работа по радиотехническим сигналам и цепям
№ 23

Длинные линии

Автор:
Баранников Андрей Б01-001



Долгопрудный, 2021

1 Измерение параметров линии

1. Длина кабеля $l = 6$ м

2. Входная частота $f_0 = 1$ МГц, входное напряжение $e = 2$ В. Сначала устанавливаем внутреннее сопротивление элементов цепи. Получаем сопротивление $R_s = 50$ Ом.

Измеряем R_0 при коротком замыкании: $u = 0.5$ В. Тогда: $R_0 = R_s \frac{u}{\sqrt{e^2 - u^2}} \simeq 12.9$ Ом

Измеряем R_0 при холостом ходе, внешняя нагрузка $R_s = 300$ Ом: $u = 1.6$ В. Тогда: $R_0 = R_s \frac{u}{\sqrt{e^2 - u^2}} = 400$ Ом

По итогу: $R_0|_{R_l=0} = 12,9$ Ом; $R_0|_{R_l=\infty} = 400$ Ом

3. Волновое сопротивление:

$$\omega = \sqrt{\frac{L}{C}} = \sqrt{R_0|_{R_l=0} R_0|_{R_l=\infty}} = \sqrt{12,0 \text{ Ом} \cdot 400 \text{ Ом}} \simeq 71,83 \text{ Ом}$$

Скорость распространения волны:

$$v = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \frac{2\pi fl}{\arctan \frac{R_0|_{R_l=0}}{\omega}} \simeq 2\pi fl \frac{\omega}{R_0|_{R_l=0}} = 2\pi \cdot 1 \text{ МГц} \cdot 6 \text{ м} \cdot \frac{71,83 \text{ Ом}}{12,0 \text{ Ом}} \simeq 2,1 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Погонная емкость:

$$C = \frac{1}{\omega v} = \frac{1}{71,83 \text{ Ом} \cdot 2,1 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}} \simeq 6,63 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Ф}}{\text{м}}$$

Погонная индуктивность:

$$L = \frac{\omega}{v} = \frac{71,83 \text{ Ом}}{2,1 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}} \simeq 34,2 \cdot 10^{-8} \frac{\text{Гн}}{\text{м}}$$

4. Исследуем резонансный пик на частоте $f_{0 \text{ теор}} = \frac{v}{4l} \simeq 8.75$ МГц. Берем дополнительное сопротивление $R_s = 3$ кОм. Напряжение источника $u = 2$ В. Выходное напряжение $e = 1$ В.

Резонанс найден на частоте $f_o = 8,5$ МГц.

Эквивалентное сопротивление $R_0 = R_s \frac{e}{u-e} = 3$ кОм

Ширина двухсторонней полосы пропускания по уровню 0.7: $\Delta f = 525$ кГц

5. Погонное сопротивление:

$$R = \frac{\omega^2}{R_0 l} \simeq 0.29 \frac{\text{Ом}}{\text{м}}$$

Теоретическая формула для добротности:

$$Q = \frac{\pi \omega}{4 R l} = 32,42$$

На практике:

$$Q = \frac{f_0}{\Delta f} \left(1 + \frac{R_0}{R_s}\right) \simeq 32,38$$

2 Исследование переходных процессов

Теория

1. Вывод переходной характеристики фазовращателя

$$x(t) = \theta(t) \Rightarrow X(p) = \frac{1}{p}$$

$$Y(p) = \rho_l(p)X(p) = \frac{1 - pC\omega}{1 + pC\omega} \cdot \frac{1}{p} = \frac{A}{1 + pC\omega} + \frac{B}{p} \quad \boxed{=}$$

$$\boxed{Ap + B + pC\omega B = 1 - pC\omega} \Rightarrow B = 1; \quad A = -2C\omega$$

$$\boxed{=} \frac{-2C\omega}{1 + pC\omega} + \frac{1}{p} = \theta(t) - 2\theta(t)e^{-\frac{t}{C\omega}}$$

$$Y(p) = L(y(t)) = L(\theta(t)) - 2L(\theta(t) \cdot e^{-\frac{t}{C\omega}})$$

$$h_{ab}(t) = y(t) = \theta(t) - 2\theta(t) \cdot e^{-\frac{t}{C\omega}} = \theta(t)(1 - 2e^{-\frac{t}{C\omega}})$$

Задания

1. Согласованная линия

На схеме уже установлено $R_s = R_l = 50 \text{ Ом}$. Видим, что падающая волна распространялась только через время $\tau = 10 \text{ нс}$. Установившиеся значения: $v(u) = i(l)\omega = 0.5 \text{ В}$. $V = 1 \text{ В}$. При этом мощность: $P\omega = v(u)i(l)\omega = 0.25 = \frac{V^2}{4R_s}$

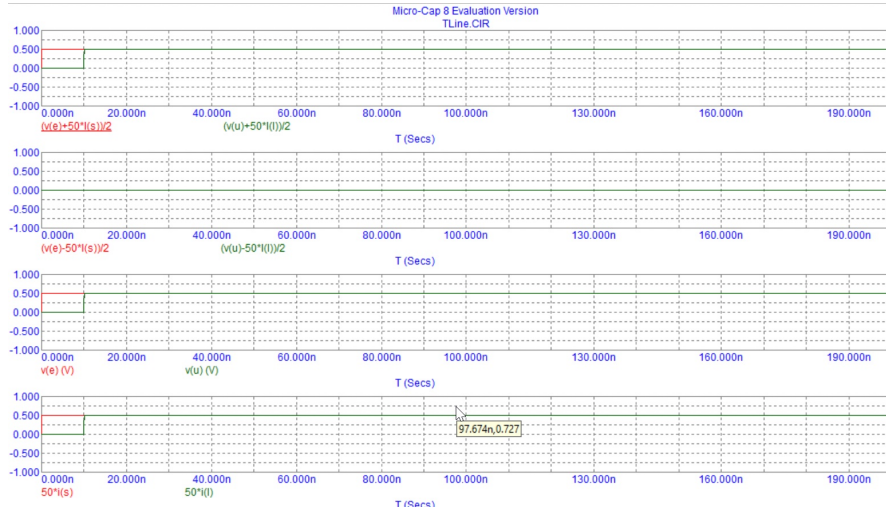


Рис. 1: График для согласованной линии

2. Рассогласованный источник

Рассогласовываем нагрузку источника: $R_s = \frac{\omega}{3}$; $\rho_s = -\frac{1}{2}$. При этом мощность:

$$P\omega = v(u)i(l)\omega = 0.75 * 0.75 = 0.5625 = \frac{V^2}{4R_s}\omega(1 - \rho_s^2)$$

Теперь ставим: $R_s = 3\omega$; $\rho_s = \frac{1}{2}$. При этом мощность:

$$P\omega = v(u)i(l)\omega = 0.25 * 0.25 = 0.0625 = \frac{V^2}{4R_s}\omega(1 - \rho_s^2)$$

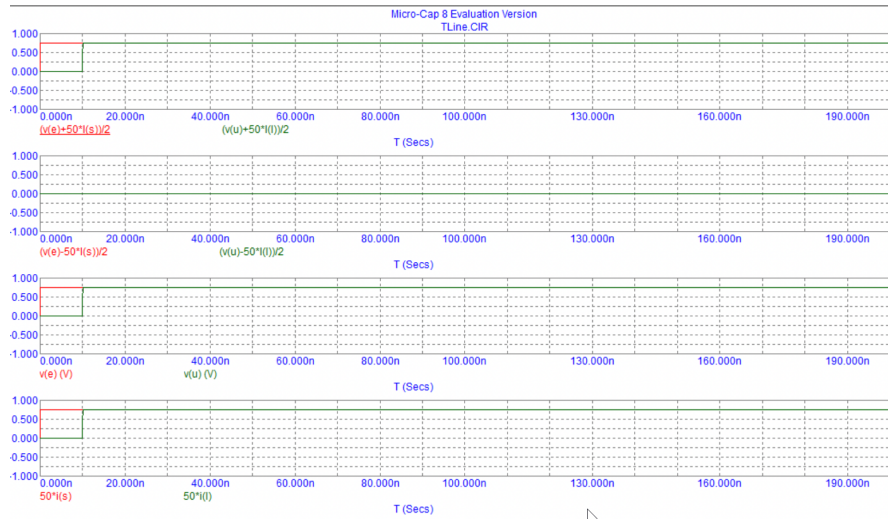
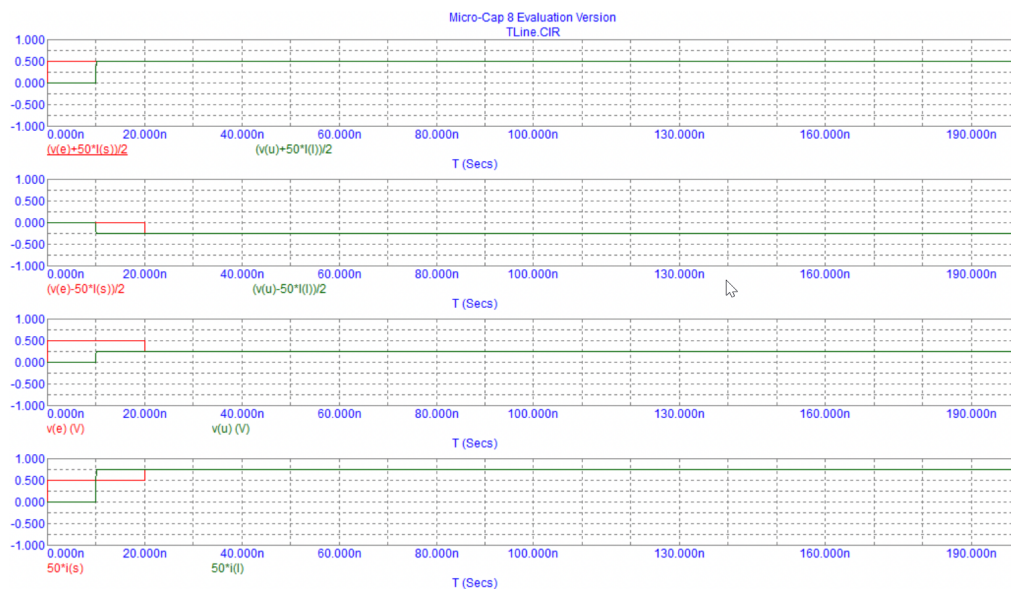


Рис. 2: График для рассогласованного источника

3. Рассогласованная нагрузка

Варьируем R_l . Наблюдаем, что установление происходит за две 'ступеньки': 1) волна прошла через длинный провод, 2) волна отразилась обратно. Таблица с измерениями:

R_l	0	$\frac{\varepsilon}{3}$	3ω	$50k \simeq \infty$
ρ_l	-1	$-\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
$(v + i\omega)/2, \text{ В}$	0.5	0.5	0.5	0.5
$(v - i\omega)/2, \text{ В}$	-0.5	-0.25	0.25	0.5
$v, \text{ В}$	0	0.25	0.75	1
$i\omega, \text{ В}$	1	0.75	0.25	0

Рис. 3: График при $R_l = \frac{\varepsilon}{3}$

4. Рассогласованные источник и нагрузка

Проведу наблюдения при разных значениях R_l и R_s :

$R_s; R_l(\text{Ом})$	50/3; 0	50/3; 50k	150; 0	150; 50k	0; 0	0; 5	0; 500	0; 50k
$\rho_s \rho_l$	$\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	-0.8	0.8	1
$(v + i\omega)/2, \text{В}$	1.5	0.5	0.1667	0.5	∞	5	0.5556	1 или 0
$(v - i\omega)/2, \text{В}$	-1.5	0.5	-0.1667	0.5	$-\infty$	-4	0.4444	1 или 0
$v, \text{В}$	0	1	0	1	1; 0	1	1	1; 1 ± 1
$i\omega, \text{В}$	3	0	0.3333	0	∞	9	0.1111	$\pm 1; 0$

5. Ёмкостная нагрузка

По графикам переходного процесса найдем постоянную времени. За это время ток уменьшается до уровня $\frac{1}{e}$. Получаем $\tau \simeq 5 \text{ нс}$. Это значение согласуется с формулой $\tau = \omega C$.

При $R_s = 50$: $A = 0.5$; $B = 0.5$; $v = 1$; $i\omega = 0$. При $R_s = 50/3$ аналогично.

Отдельно рассмотрим случай $R_s = 0$. Дело в том, что графики трудно анализировать, однако можно заметить, что они периодичны с периодом $T = 60 \text{ нс}$. Установившихся значений определить нельзя, потому что они не устанавливаются.

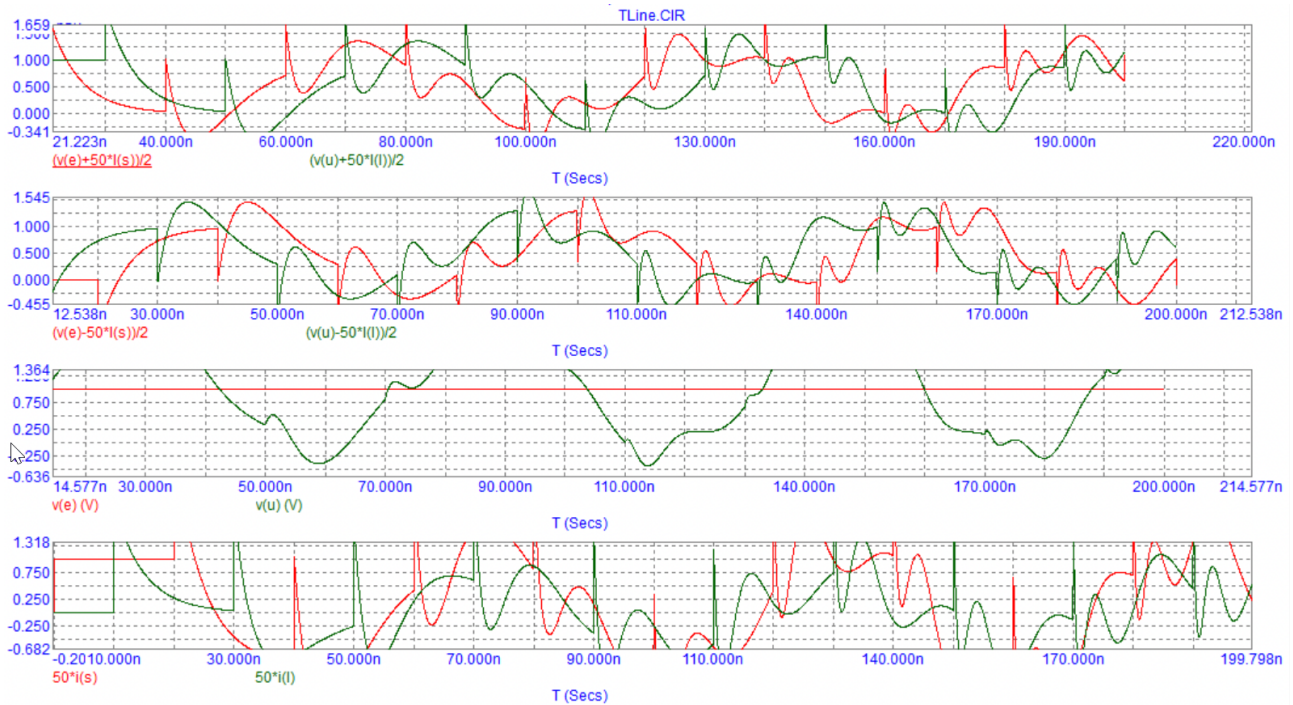


Рис. 4: График при $R_s = 0$