

Московский государственный технический университет
имени Н.Э. Баумана

Факультет «Биомедицинская техника»
Кафедра «Биомедицинские технические системы»

С.П. Скворцов, А.А. Бурцев

ИССЛЕДОВАНИЕ ЦЕПЕЙ С РАСПРЕДЕЛЁННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

*Методические указания к лабораторной работе №3
по дисциплине «Электротехника»
для студентов кафедры «Биомедицинские технические системы»*

Москва

(С) 2023 МГТУ им. Н.Э. БАУМАНА

Лабораторная работа №4
по курсу «Электротехника»

Целью настоящей работы является формирование навыков и умений выполнения измерений в цепях с распределёнными параметрами.

Теоретическая часть

Методы анализа и расчета цепей описаны в [1-3]. Теоретические основы анализа цепей с распределёнными параметрами представлены в главе 10 [4].

В работе практическими измерениями называются измерения, проводимые в среде моделирования Microcap.

Практическая часть

Таблица 1- Параметры кабелей для разных вариантов [5].

Вариант	Электрическая (погонная) ёмкость C [Пф/м]	Коэффициент укорочения длины k_p
1	100	1.52
2	67	
3	51	

Порядок выполнения работы:

1. Используя файл TLine, измерить длину волны в линии на заданной частоте и фазовую скорость волны в линии, используя режим Transient Analysis. Сравнить результаты с расчетными. Построить зависимость координаты фиксированной фазы от времени.

Для этого:

1.1 Рассчитать параметры схемы согласно варианту используя формулы (к файлам для работы на elearning приложен mathcad файл, в котором можно провести все вычисления для этого пункта работы):

$$c_{\phi} = \frac{c_0}{k_p},$$

где c_{ϕ} - фазовая скорость в длинной линии [м/с],

$c_0 = 3 * 10^8$ - фазовая скорость света в вакууме [м/с],

k_p - коэффициент укорочения длины [].

$$L = \frac{k_p^2}{c_0^2 * C},$$

где C – погонная ёмкость [Ф/м].

$$R = \sqrt{\frac{L}{C}},$$

где L – погонная индуктивность [Гн/м].

$$\lambda = \frac{\lambda_0}{k_p},$$

где λ – длина волны в длинной линии [м],

$\lambda_0 = 0.3$ –длина волны в вакууме [м].

1.2 Открыть в программе Microcap файл TLine, установить параметры L, C, R согласно расчёту.

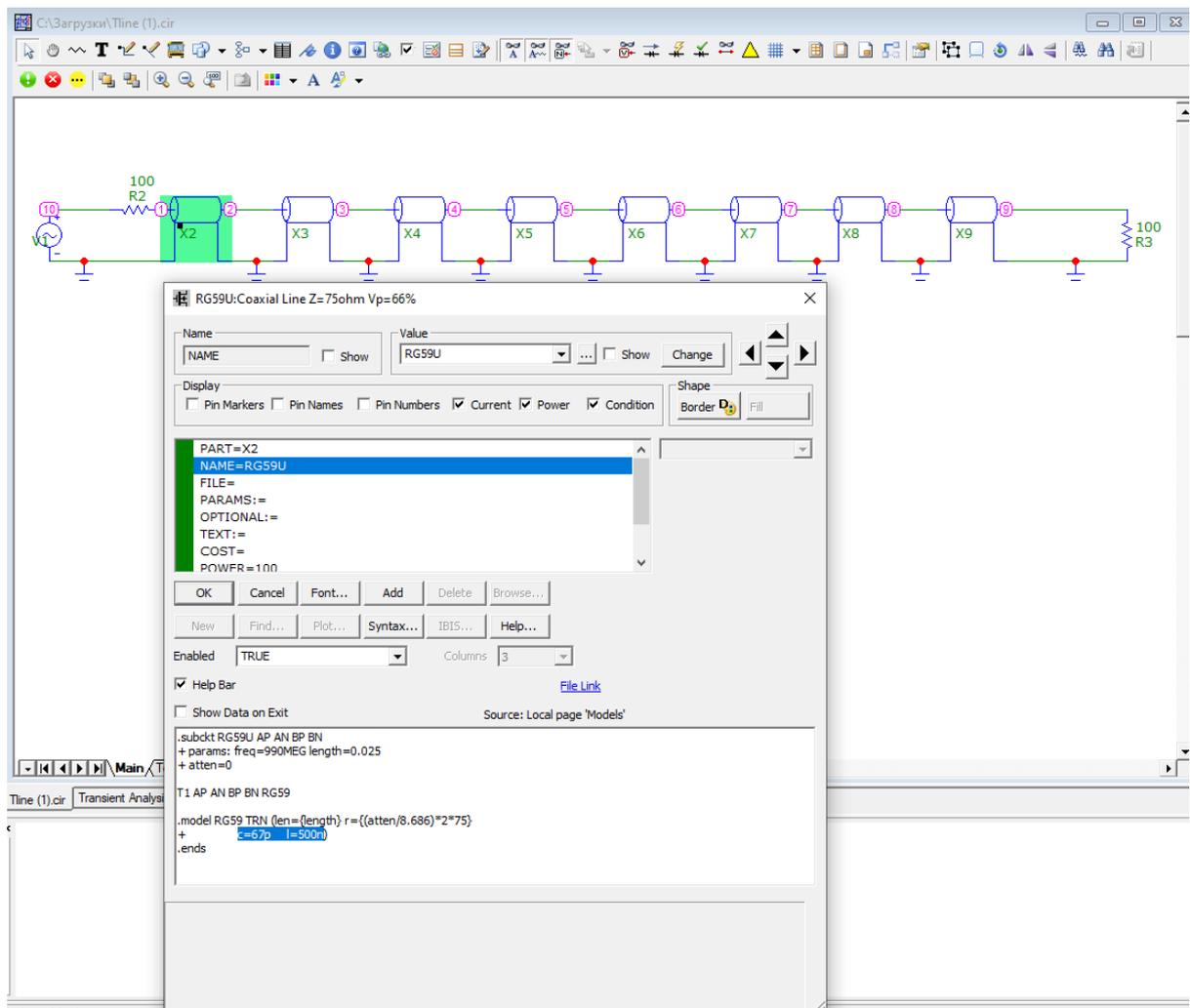


Рисунок 1 – Окно ввода параметров в свойствах коаксиальной линии

1.3 Определить фазовую скорость, зная, что расстояние между точками схемы 0.025 см по формуле:

$$c_{\phi} = \frac{\Delta z}{\Delta t'}$$

где Δz - расстояние между точками [м],

Δt - время движения точки с фиксированной фазой[с].

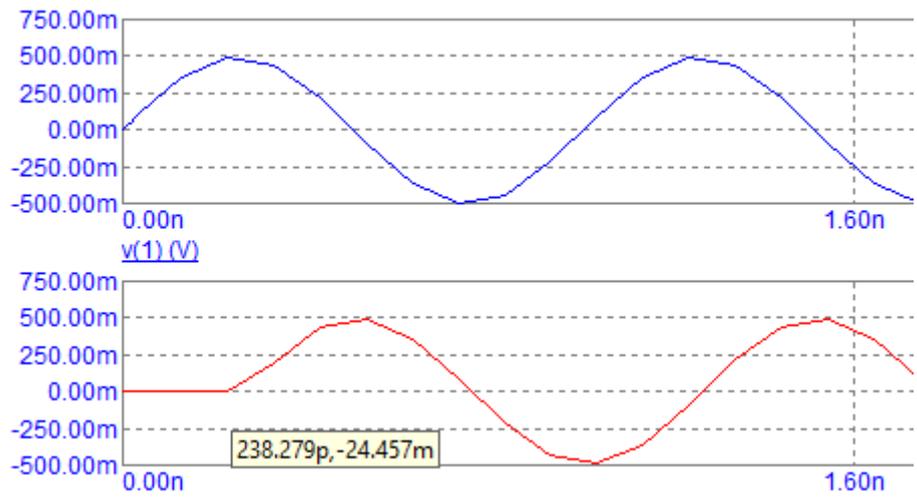


Рисунок 2 – Определение фазовой задержки по времени между первой и второй точками схемы

1.4 Сравнить полученные расчётное и полученное значения фазовой скорости. Построить зависимость координаты фиксированной фазы от времени.

2 Используя файл TLine, построить зависимости амплитуды напряжения от расстояния от нагрузки при различных сопротивлениях нагрузки:

$$z_H = z_B \text{ (согласованная с нагрузкой линия),}$$

где z_B – волновое сопротивление линии передачи [Ом] (R2 на схеме),

z_H – сопротивление нагрузки [Ом] (R3 на схеме),

$$z_H = 2z_B,$$

$$z_H = 0.5z_B,$$

$$z_H = 0 \text{ (режим короткого замыкания),}$$

$$z_H = \infty \text{ на практике } z_H > 100 \text{ G (режим холостого хода),}$$

$$z_H = -j100,$$

$$z_H = 100 + j100,$$

Для этого:

2.1 Установить z_H . И построить зависимости амплитуды напряжения от расстояния от нагрузки (рисунок 2).

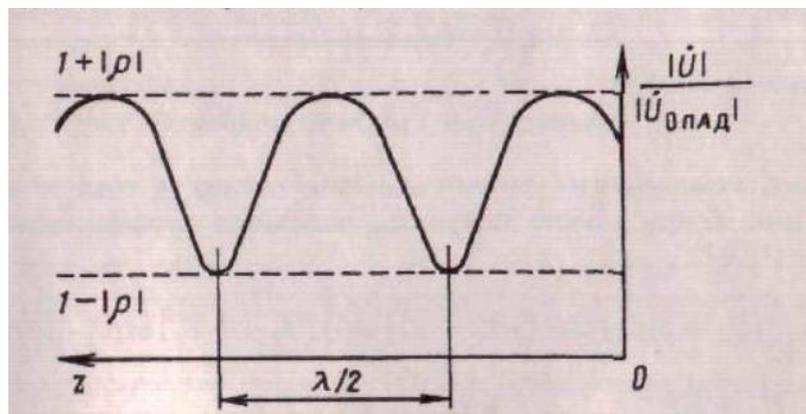
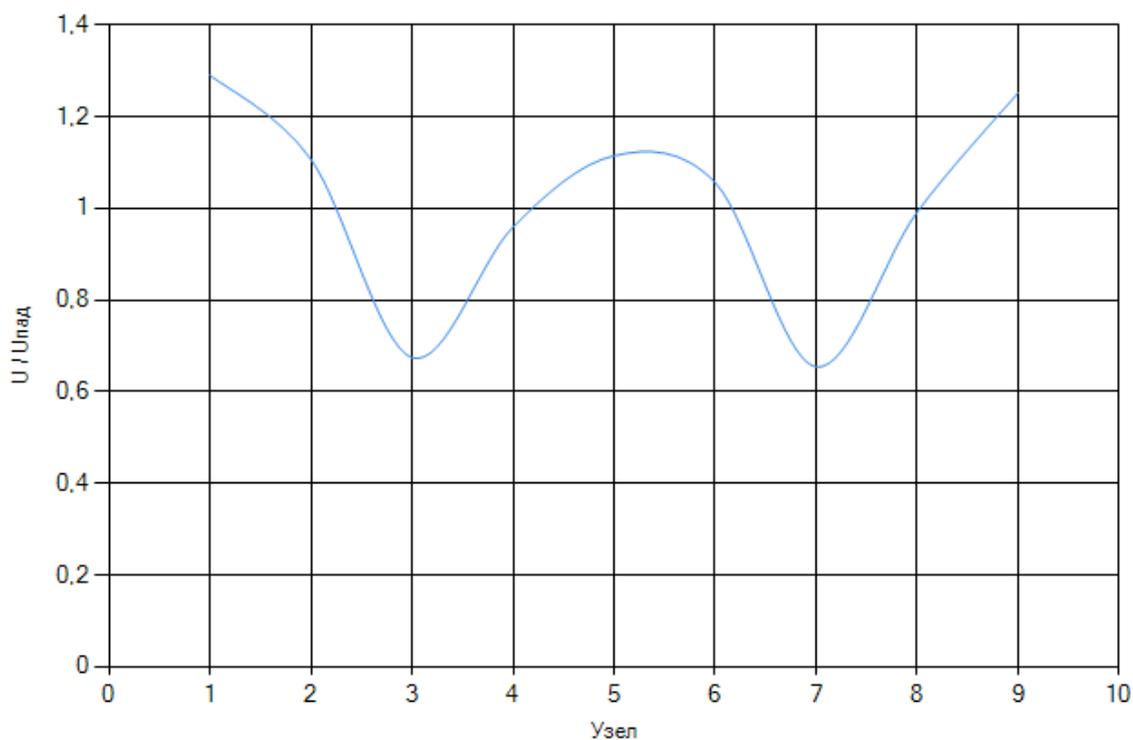


Рисунок 3 – Интерференция падающей и отражённой волн [4].



Max=1,29
Min=0,65
ρ=0,32

Рисунок 4 – Пример полученного на практике графика.

2.2 По полученным данным найти модуль и фазу коэффициента отражения, максимальную и минимальную амплитуду вдоль линии. В случае если максимумы или минимумы будут отличаться более чем на 10%, рекомендуется усреднить данные измерений при различных значениях z (удобнее брать значения z , при которых амплитуда напряжения в длинной линии достигает максимума).

Относительное изменение амплитуды напряжения вдоль нагруженной линии передачи определяется по формуле [4]:

$$\frac{U}{U_{\text{пад}}} = \sqrt{1 + 2|\rho|\cos(2\beta z - \varphi_{\text{н}}) + |\rho|^2},$$

где $U_{\text{пад}}$ – амплитуда пика согласованной волны [В],

ρ – коэффициент отражения от нагрузки [],

β – коэффициент фазы [],

Z – расстояние от R нагрузки [м],

$\varphi_{\text{н}}$ – фаза коэффициента отражения [град].

$$\beta = \frac{2\pi}{\lambda}$$

Из этого следует что минимумов график $\frac{U}{U_{\text{пад}}}$ будет достигать в случае $\cos(2\beta z - \varphi_n) = -1$, а максимумов при $\cos(2\beta z - \varphi_n) = 1$. Отсюда вычисляется φ_n , зная которое можно вычислить $|\rho|$ по формуле, или по полученному графику как показано на рисунке 3.

Обратите внимание, что для одинаковых значений косинусов значения его аргумента для разных узлов будут отличаться на $2\pi n$.

Например (рисунок 4):

В узле 9: функция $\frac{U}{U_{\text{пад}}}$ принимает максимальное значение, это возможно только в случае, если

$$\cos(2\beta z - \varphi_n) = 1,$$

так как узел 9 первый от нагрузки (рисунок 1) то $n=0$,

$$(2\beta z - \varphi_n) = 0$$

$$z = 0.025 * 0 = 0.$$

В узле 7: функция $\frac{U}{U_{\text{пад}}}$ принимает минимальное значение:

$$\cos(2\beta z - \varphi_n) = -1$$

$$2\beta z - \varphi_n = \pi$$

$$z = 2 * 0.025 = 0.05$$

В узле 5: функция $\frac{U}{U_{\text{пад}}}$ принимает максимальное значение:

$$\cos(2\beta z - \varphi_n) = 1,$$

так как узел 5 второй от нагрузки то $n=1$,

$$(2\beta z - \varphi_n) = 2\pi$$

$$z = 0.025 * 4 = 0.1.$$

2.3 Вычислить расчётное значение коэффициента отражения по формуле:

$$\rho = \frac{z_H - z_B}{z_H + z_B},$$

2.4 Заполнить таблицу полученных значений

Таблица 2

	Расчётные значения		Практические значения	
	$ \rho $	φ_H	$ \rho $	φ_H
$z_H = z_B$				
$z_H = 2z_B$				
$z_H = 0.5z_B$				
$z_H = 0$				
$z_H = \infty$				
$z_H = -j100$				
$z_H = 100 + j100$				

3. Подключив ко входу длинной линии источник прямоугольных импульсов (файл TLine_Pulse), при указанных в п. 2 нагрузках зарисовать искажения прямоугольных импульсов. В отчёте требуется привести графики искажений.

В выводе работы указать причины искажений и предположить возможные последствия наблюдаемых искажений при подключении приемника сигнала к разным точкам длинной линии.

4. Найти входное сопротивление четвертьволновой длинной линии в зависимости от электрической длины при а) короткозамкнутом выходе и при б) разомкнутом выходе. Электрическую длину менять путем изменения частоты (режим AC Analysis, файл TLine_Transformer). Дать объяснение резонансам на наблюдаемых частотах до 15 ГГц.

Найти добротность и эквивалентное сопротивление потерь контура по резонансной характеристике в районе первого максимума.

4.1 Определить точки максимумов входных сопротивлений отрезков линий по рисунку.

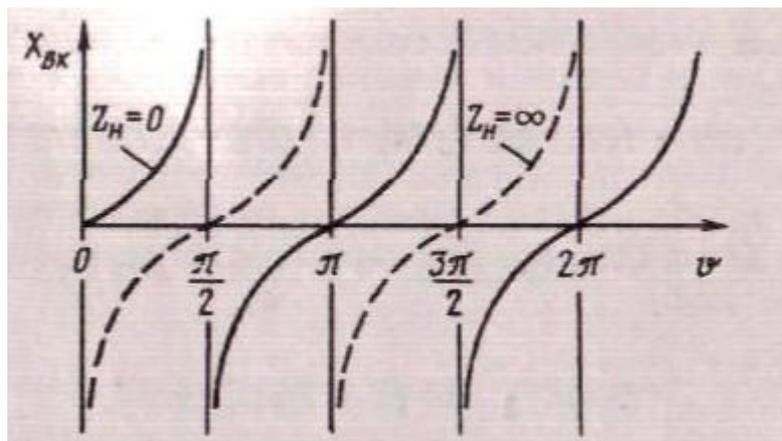


Рисунок – 5 Входное сопротивление отрезка линии как функция электрической длины

Для $z_H = 0$

$$z_{BX} = jz_B \operatorname{tg}(\vartheta),$$

где ϑ – электрическая длина отрезка [4].

Для $z_H = \infty$

$$z_{BX} = -jz_B \operatorname{ctg}(\vartheta).$$

4.2 Рассчитать первые 5 частот максимумов по формуле

$$f = \frac{\vartheta * c_{\Phi}}{2\pi l},$$

где $l=0.05$ – длина линии передачи [см],

f – частота [Гц].

4.1 Открыть в программе Мiсгосар файл TLine (рисунок 6), установить параметры L, C, R2 согласно расчёту из первого пункта. Установить R3 на режим короткого замыкания или холостого хода.

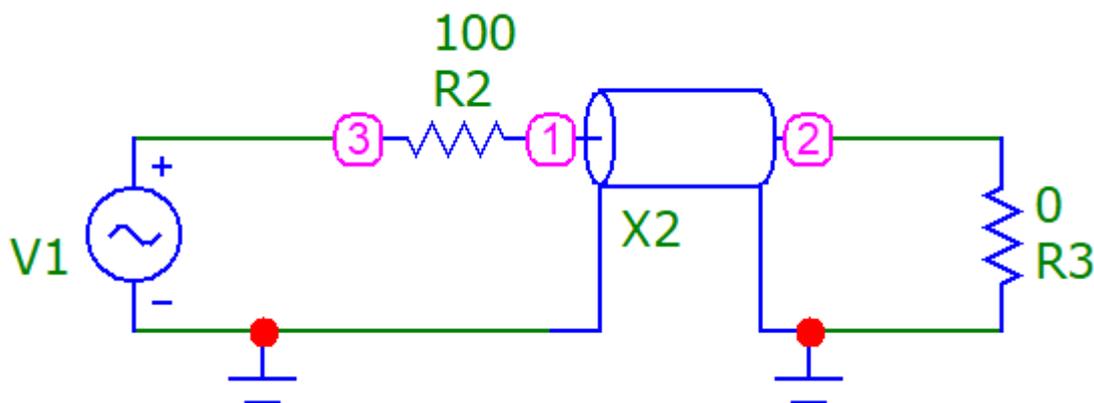


Рисунок 6

4.2 Построить график зависимости входных сопротивлений от частоты. Определить графически инструментом реак первые 5 пиков.

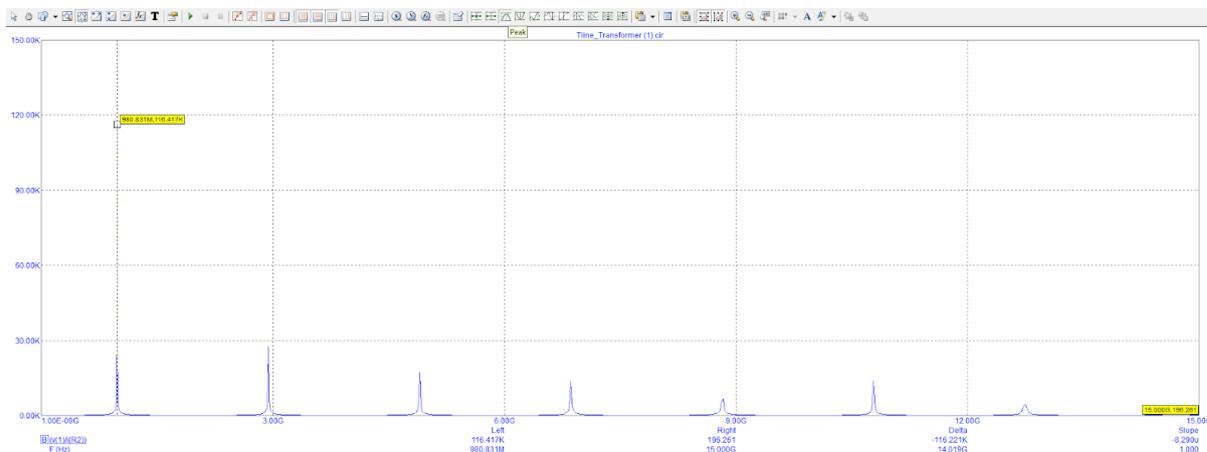


Рисунок 7 – Пример определения значения сопротивления первого пика

Обратите внимание, что для режима холостого хода первый пик в нуле будет значительно больше всех остальных пиков, при этом будет иметь достаточно низкую добротность, поэтому для оценки остальных пиков рекомендуется начинать построение графиков в мiсгосар с 1 ГГц.

4.3 Построить сравнительную таблицу значений первых пяти пиков.

Таблица 3

$z_H = 0$			
ϑ	Расчётное значение f		Измеренное значение f
$\frac{\pi}{2}$			
...			
$z_H = \infty$			
ϑ	Расчётное значение f		Измеренное значение f
π			
...			

4.3 Найти добротность и эквивалентное сопротивление потерь контура по резонансной характеристике в районе первого максимума для $z_H = 0$ и второго максимума (так как первый максимум будет в нуле) для $z_H = \infty$.

Содержание отчёта

1. Отчёт выполняется в электронном виде.
2. Отчет должен включать титульный лист с указанием названия организации, факультета и кафедры, номера лабораторной работы с указанием дисциплины, ФИО исполнителей, ФИО проверяющего преподавателя и года выполнения работы.
3. Отчёт должен содержать измеренные номиналы используемых в работе элементов, результаты и промежуточные расчёты, получаемые в ходе выполнения практической и расчётной частей работы. Заполненные полученными значениями сравнительные таблицы (таблицы 2–3).
4. Текст отчёта должен быть написан шрифтом Times New Roman размером шрифта 12, междустрочным интервалом 1.5, отступом первой строки 1.25 см.
5. Отчёт должен содержать выводы, в которых требуется:
 - сравнить полученные расчётное и практическое значения фазовой скорости из пункта 1;
 - описать результаты сравнения зависимости амплитуды напряжения от расстояния от нагрузки при различных сопротивлениях нагрузки из пункта 2 оценить различия расчётных и практических значений;
 - описать причины искажений прямоугольных импульсов из пункта 3 и предположить возможные последствия наблюдаемых искажений при подключении приемника сигнала в разных точках длинной линии;
 - сравнить полученные расчётные и практические значения частот из пункта 4;

Файл отчёта прикрепляется на сайт электронного обучения в формате *.pdf для проверки. Результаты проверки отчёта отображаются на сайте электронного обучения.

Литература

1. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. Учебник для бакалавров : учебник для вузов / Бессонов Л. А. - 11-е изд., перераб. и доп. - М. : Юрайт, 2013. - 701 с.
2. Кузовкин В.А. Теоретическая электротехника: Учебник для ВУЗов. – М. Логос, 2013. – 320с., ил.
3. Теоретические основы электротехники. Сборник задач : учеб. пособие для бакалавров / Бессонов Л. А., Демидова И. Г., Заруди М. Е. [и др.] ; ред. Бессонов Л. А. ; Московский гос. техн. ун-т радиотехники, электроники и автоматики. - 5-е изд., испр. и доп. - М. : Юрайт, 2015. - 527 с.
4. Баскаков С. И. Лекции по теории цепей. – 2005. Глава 10.
5. URL: <https://rostech.info/cgi-sys/suspendedpage.cgi?ysclid=lqf3oe0w49285405516>