

Федеральное агентство по образованию
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)

Кафедра телекоммуникаций и основ радиотехники

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗВЕТВЛЕННОЙ ЛИНЕЙНОЙ ЦЕПИ ПРИ ГАРМОНИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

Руководство к лабораторной работе №3 по дисциплине
«Основы теории цепей» для студентов радиотехнического
факультета всех специальностей

Разработчики:
доцент кафедры ТОР
Б.Ф. Голев,
доцент кафедры ТОР
И.В. Мельникова

Томск 2011

СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа №3

Исследование разветвленной линейной цепи
при гармоническом воздействии

3.1	Цель работы	3
3.2	Домашнее задание.....	3
3.3	Программа работы	7
3.3.1	Измерение узловых напряжений	7
3.3.2	Проверка выполнения первого закона Кирхгофа для токов ветвей.....	8
3.3.3	Осциллографическое исследование узловых напряжений.....	8
3.3.4	(задание второму студенту бригады)	8
3.3.5	Обработка результатов эксперимента.....	9
3.4	Методические указания.....	10
3.5	Контрольные вопросы	13
3.6	Список литературы	15

3.1 Цель работы

Закрепление навыков расчета и измерения комплексных значений напряжений и токов электрических цепей.

Экспериментальная проверка выполнения законов Кирхгофа в комплексной (векторной) форме.

3.2 Домашнее задание

- Изучить методы расчета токов, напряжений, баланса мощностей в комплексной форме, методы построения векторных диаграмм /Л1, Л2/.
- Изобразить электрическую схему исследуемой цепи. На схеме обозначить узлы, элементы цепи, произвести разметку токов ветвей, узловых напряжений и напряжений на элементах с указанием условно положительных направлений. Указать номер макета, частоту, номиналы элементов схемы.
- Рассчитать комплексные токи ветвей, напряжения на элементах и узловые напряжения.

Указания:

- *Лабораторная работа выполняется бригадой из 2-3 человек. За каждой бригадой закрепляется рабочее место (стенд). Студентам в бригаде присваивается порядковый номер.*
- *Бригада исследует оба варианта схем рисунка 3.1 на частоте, соответствующей варианту. Студенты с нечетными порядковыми номерами выполняют расчет для схемы а), с четными – для схемы б).*
- *Номер варианта соответствует номеру рабочего места по таблице 3.1 или задается преподавателем.*
- *Напряжение на входе цепи $U_{BX} = U_{10} = 1В$.*
- *Параметры элементов даны в табл.3.2.*

Таблица 3.1.

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8
Частота, кГц	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5

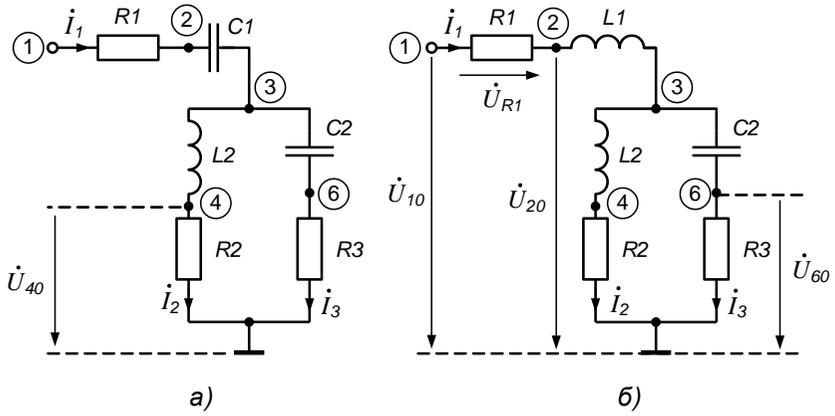


Рисунок 3.1

Таблица 3.2

№ макета	R, Ом	L ₁ , мГн	C ₁ , мкФ	L ₂ , мГн	C ₂ , мкФ
1	100	6,4	0,12	8	0,2
2	100	5,4	0,12	6	0,15
3	100	6,4	0,12	8	0,15
4	100	5,4	0,12	6	0,15
5	100	6,4	0,13	8	0,2
6	100	6,4	0,12	8	0,2
7	100	5,4	0,12	6	0,15
8	100	6,4	0,13	8	0,2

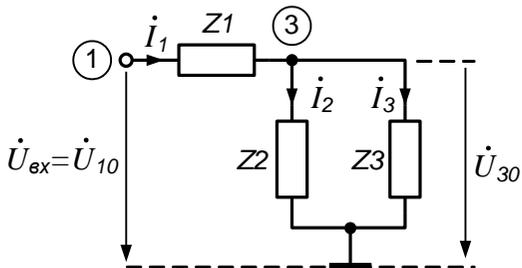


Рисунок 3.2

Рекомендуемый порядок расчета:

- 1) вычислить значения Z_L и Z_C на заданной частоте, представить их в алгебраической и показательной формах;
- 2) вычислить значения сопротивлений Z_1 , Z_2 и Z_3 (рис.3.2) в алгебраической и показательной формах. Результаты свести в таблицу 3.3;

Таблица 3.3

	$R + jX$	$ Z $	φ_Z
	<i>Ом</i>	<i>Ом</i>	<i>град</i>
Z_1			
Z_2			
Z_3			

- 3) вычислить сопротивление $Z_{23} = \frac{Z_2 \cdot Z_3}{Z_2 + Z_3}$;
- 4) вычислить входное сопротивление цепи $Z_{\dot{a}\dot{o}} = Z_1 + Z_{23}$;
- 5) вычислить ток $\dot{I}_1 = \frac{\dot{U}_{10}}{Z_{\dot{a}\dot{o}}}$;
- 6) вычислить напряжение $\dot{U}_{30} = \dot{I}_1 \cdot Z_{23}$;
- 7) вычислить токи \dot{I}_2 и \dot{I}_3 . Значения токов занести в табл.3.4 и проверить выполнение первого закона Кирхгофа, построив векторную диаграмму токов в масштабе 0,5 мА/см

$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{U}_{30}}{Z_2}, \quad \dot{I}_3 = \frac{\dot{U}_{30}}{Z_3};$$

- 8) вычислить значения комплексных напряжений на всех элементах схемы по закону Ома $\dot{U} = \dot{I} \cdot Z$. Результаты расчетов свести в таблицу 3.5;
- 9) вычислить и свести в таблицу 3.6 комплексные значения узловых напряжений \dot{U}_{20} , \dot{U}_{40} , \dot{U}_{60} (см. рис.3.1)

3.3 Программа работы

3.3.1 Измерение узловых напряжений

- Собрать схему (рисунок 3.3) для измерения узловых напряжений (подробнее см. Методические указания п.3.4).

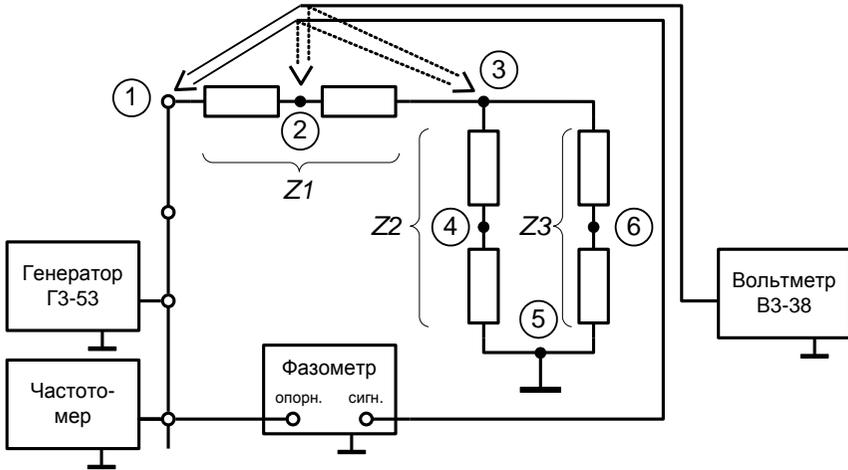


Рисунок 3.3 Схема подключения приборов для измерения узловых напряжений

- Подготовить схему к измерениям:
 - в исходном состоянии все приборы, включая вольтметр и сигнальный вход фазометра, подключены к сигнальной шине, соединенной со входом схемы;
 - на генераторе ГЗ-53 установить заданную частоту и проконтролировать ее значение по частотомеру;
 - регулируя выходное напряжение генератора (**контроль по вольтметру!**), установить на входе схемы заданное напряжение $U_{вх}=1 В$;
 - убедиться, что фазометр показывает практически нулевое значение;
 - результат предварительной установки

$$\dot{U}_{\hat{a}\hat{o}} = \dot{U}_{10} = 1\hat{A} = 1e^{j0^\circ} \hat{A}.$$

- Измерить и занести в табл.3.6. узловые напряжения \dot{U}_{20} , \dot{U}_{30} , \dot{U}_{40} и \dot{U}_{60} .

Результаты измерений сравнить с расчетными и в случае существенного расхождения (более 10%) обратиться к преподавателю.

3.3.2 Проверка выполнения первого закона Кирхгофа для токов ветвей.

- Определить комплексные токи ветвей в соответствии с законом Ома на основании измеренных напряжений $\dot{U}_{40} = \dot{U}_{R2}$, $\dot{U}_{60} = \dot{U}_{R3}$ и заданных значений сопротивлений $R2=R3=100 \text{ Ом}$. Сравнить с расчетными и в случае существенного расхождения (более 10%) обратиться к преподавателю.

- Построить векторы токов \dot{I}_2 и \dot{I}_3 в масштабе $0,5 \text{ mA/cm}$. При построении пользоваться транспортиром.

- В соответствии с первым законом Кирхгофа найти ток \dot{I}_1 (графический способ).

- Определить ток \dot{I}_1 экспериментально путем измерения напряжения \dot{U}_{R1} (см. Методические указания):

- собрать схему 3.5 (узел 5 соединить с сигнальной шиной, а узел 1 с общим проводом);
- вольтметр и сигнальный вход фазометра подключить к узлу 2;
- измерить и занести в табл. 3.6 значение \dot{U}_{R1} ;
- вычислить ток \dot{I}_1 по закону Ома ($R1=100 \text{ Ом}$);
- сравнить значения тока \dot{I}_1 , полученные графически, экспериментально и расчетным путем. Результат измерения на основе \dot{U}_{R1} занести в табл.3.4.

3.3.3 Осциллографическое исследование узловых напряжений.

Подключить осциллограф к исследуемой схеме и убедиться, что все измеренные узловые напряжения – гармонические колебания одной и той же частоты. Сделать заключение о соответствующем свойстве линейных цепей.

3.3.4 (задание второму студенту бригады)

Второй студент в бригаде повторяет измерения п.п.3.3.1 и 3.3.2 для схемы рис. 3.1.б) (за исключением опыта с осциллографом).

3.3.5 Обработка результатов эксперимента

А. Векторная лучевая диаграмма токов.

Построить в масштабе 0,5 мА/см векторную лучевую диаграмму токов ветвей, полученных экспериментально. При построении пользоваться транспортиром.

Убедиться в выполнении первого закона Кирхгофа.

Б. Определение комплексных напряжений на элементах цепи и построение топографической диаграммы напряжений.

Построить лучевую векторную диаграмму узловых напряжений. Принять масштаб напряжения 0,1 В/см. Начало отсчета напряжений совместить с началом отсчета токов, т.е. лучи тока и лучи узловых напряжений должны исходить из одной точки. На диаграмме напряжений указать номера узлов. Диаграммы токов и напряжений изобразить разным цветом.

Построить топографическую диаграмму напряжений исследуемой цепи, производя графическое вычитание векторов узловых напряжений. На основании второго закона Кирхгофа определить комплексные напряжения на элементах цепи (графический способ). Результаты занести в табл.3.5 и сравнить с расчетными.

В. Расчет комплексных мощностей на элементах цепи и проверка баланса мощностей.

Используя экспериментальные значения напряжений на элементах и токов ветвей, вычислить комплексную мощность для каждого элемента цепи

$$\dot{P}_S = \dot{U} \cdot \dot{I}^* = U e^{j\varphi_U} \cdot I e^{-j\varphi_I}$$

Сделать заключение о характере мощности (активная, реактивная, комплексная) на элементах разного типа (сопротивления, индуктивности, емкости).

Проверить выполнение баланса комплексных мощностей (см. Методические указания).

3.4 Методические указания

Сборка схемы и измерение узловых напряжений \dot{U}_{20} , \dot{U}_{30} , \dot{U}_{40} , \dot{U}_{60} .

Разветвленная цепь рисунка 3.4 смонтирована на макете «линейные цепи-1». Сборка исследуемой схемы (рис. 3.1.а) осуществляется с помощью перемычек. Гнездо 1 подключается к сигнальной шине (гнезда красного цвета), а гнездо 5 подключается к общему проводу (заземляется), как показано на рис. 3.4. Ветвь L1, R1-3 не используется.

Генератор, частотомер и опорный вход фазометра включают на входе, вольтметр и сигнальный вход фазометра поочередно к каждому узлу (1,2,3,4,6).

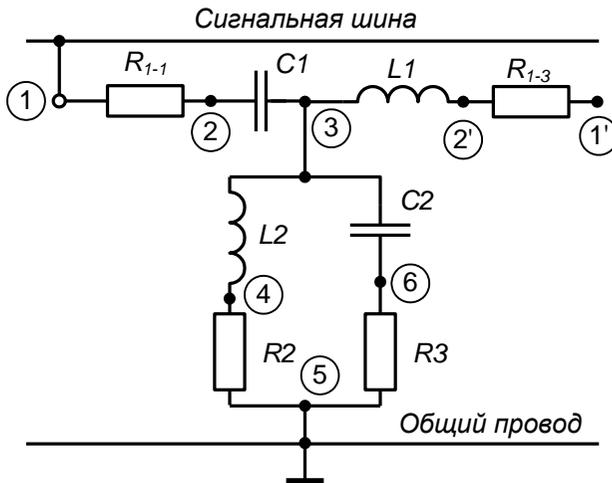


Рисунок 3.4

Сборка схемы и измерение напряжения \dot{U}_{R1}

Собрать схему рис.3.5: гнездо 5 отключить от общего провода и подключить к сигнальной шине; гнездо 1 отключить от сигнальной шины и подключить к общему проводу. Вольтметр и сигнальный вход фазометра подключить к узлу 2, измерить \dot{U}_{R1} .

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{U}_{R1}}{R_1}$$

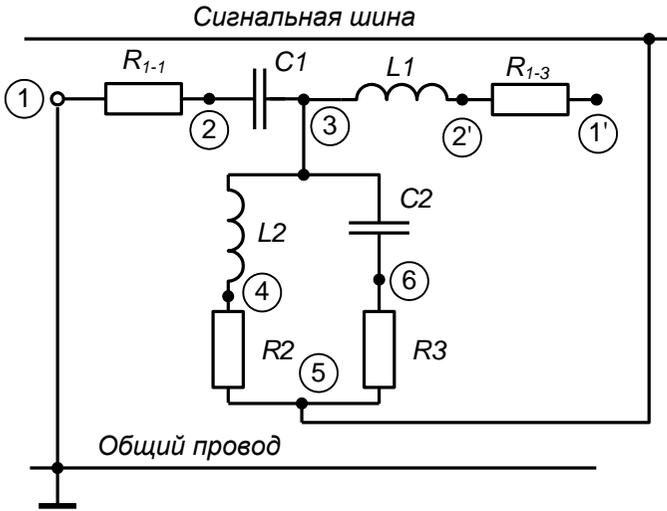


Рисунок 3.5

Векторные диаграммы

Векторные диаграммы отображают взаимное расположение напряжений и (или) токов. Длина вектора отображает в масштабных единицах величину напряжения (тока), а угол наклона вектора равен начальной фазе напряжения (тока).

На лучевых диаграммах все векторы исходят из одной точки. На диаграмме узловых напряжений начало вектора соответствует напряжению нулевого узла, т.е. нулю, а конец вектора – узловому напряжению \dot{U}_K . Направление вектора берется от начала координат к соответствующему узлу.

Пример расположения векторов \dot{U}_{20} и \dot{U}_{30} представлен на рис.3.6.

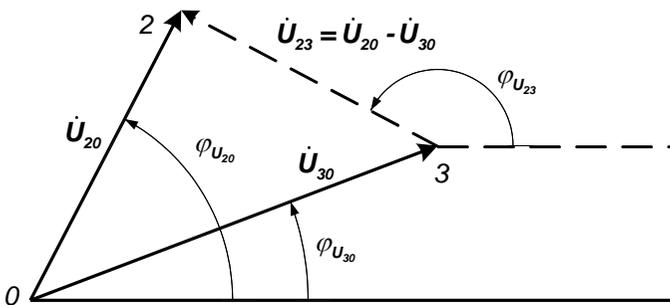


Рисунок 3.6

На топографических диаграммах электрических цепей расположение векторов напряжения строго соответствует расположению элементов (ветвей) на схеме: начало вектора напряжения последующего элемента примыкает к концу вектора напряжения предыдущего элемента.

Напряжение на ветви $\dot{U}_{K1} = \dot{U}_K - \dot{U}_1$, включенной между k-м и 1-м узлами, по известным узловым напряжениям определяется по правилам вычитания векторов. На рис.3.6 результирующий вектор \dot{U}_{23} соединяет концы векторов \dot{U}_{30} и \dot{U}_{20} и направлен в сторону уменьшаемого вектора \dot{U}_{20} .

Энергетические соотношения

Комплексную мощность \dot{P}_S на элементе рассчитывать как произведение комплексного напряжения на элементе, определенного в подразделе 3.3.5 и комплексно-сопряженного тока, протекающего через этот элемент.

Например:

$$\dot{P}_{SL2} = \dot{U}_{L2} \cdot I_2^* = \begin{matrix} \dot{u} & \dot{i} \\ \dot{u} & \dot{i} \end{matrix} = \begin{matrix} \dot{u} & \dot{i} \\ \dot{u} & \dot{i} \end{matrix} -$$

Баланс мощностей

$$\sum_{K=1}^N \dot{U}_K I_K^* = 0,$$

где k – номер элемента схемы,

N – общее число элементов схемы, включая источник сигнала.

Полагать, что $\dot{E} = \dot{U}_{ab}$, тогда

$$\dot{P}_{SE} = -\dot{E} \cdot I_1^*,$$

что соответствует рисунку 3.7

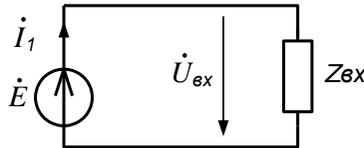


Рисунок 3.7

3.5 Контрольные вопросы

1) Поясните, почему в цепях с параллельным соединением R и L или R и C нельзя проверить выполнение первого закона Кирхгофа с помощью миллиамперметров в каждой ветви схемы. В каких типах цепей можно продемонстрировать этот закон с помощью миллиамперметров?

2) Поясните, почему даже в одноконтурной RC-цепи нельзя проверить выполнение второго закона Кирхгофа с помощью вольтметров. Можно ли это сделать в одноконтурной RL-цепи; RR-цепи; LL-цепи; CC-цепи?

3) Схема фрагмента цепи с общим током \dot{I} изображена на рис. 3.8, вольтметры **B1**, **B2**, **B3** измеряют узловые потенциалы в точках **3,4,5**. Поясните, можно ли и почему с помощью двух вольтметров определить падение напряжения на емкости $|\dot{U}_C|$, на сопротивлении $|\dot{U}_R|$ и на всей ветви $|\dot{U}_{RC}|$?

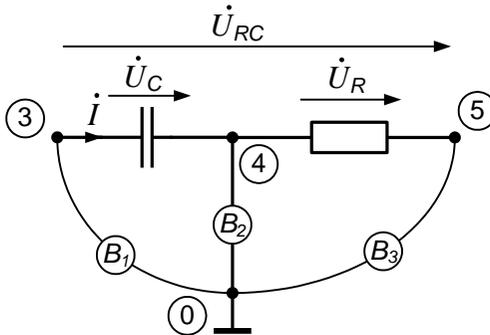


Рисунок 3.8

4) Используя обозначения рис. 3.8 запишите выражения для тока \dot{I} через узловые потенциалы \dot{U}_{30} , \dot{U}_{40} и \dot{U}_{50} .

5) Поясните, чем отличаются лучевые и топографические векторные диаграммы; постройте их для схемы рис.3.9 при условиях а), б), в) табл.3.7, где все напряжения в вольтах, ток в амперах.

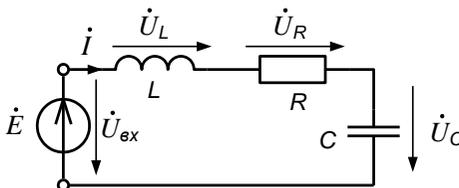


Рисунок 3.9

Таблица 3.7

Вариант	\dot{E}	i	$ \dot{U}_L $	$ \dot{U}_R $	$ \dot{U}_C $
а)	10	1	10	10	10
б)	10	$0,5+j0,5$	$5\sqrt{2}$	$5\sqrt{2}$	$10\sqrt{2}$
в)	10	$0,5-j0,5$	$10\sqrt{2}$	$5\sqrt{2}$	$5\sqrt{2}$

6) По данным табл.3.7 определите входное сопротивление цепи для вариантов а), б), в).

7) Используя основное выражение для комплексной мощности на любом участке цепи $\dot{P}_S = \pm \dot{U} \cdot I^*$, получите для пассивного участка с сопротивлением Z (или проводимостью Y) еще четыре разных выражения, включающие либо сопротивление, либо проводимость.

8) По данным табл.3.7 вычислите мощность, потребляемую цепью, схема которой приведена на рис.3.9.

9) Проверьте выполнение баланса мощностей для схемы рис.3.9 по данным табл.3.7.

10) Поясните, что изменится в Ваших векторных диаграммах и почему, если положить, что начальная фаза входного сигнала $\varphi_{U_{\dot{a}\dot{a}}} = 90^\circ$, или $\varphi_{U_{\dot{a}\dot{a}}} = -90^\circ$.

11) Поясните, что изменится в Ваших векторных диаграммах и почему, если величину входного сигнала изменить в два раза, в пять раз.

12) Поясните термин «узловое напряжение».

13) На рис.3.10 приведены фрагменты схем с указанием сопротивления элементов в омах для некоторой частоты ω_1 ; вычислите значение тока на частоте ω_1 , если узловые напряжения \dot{U}_{10} и \dot{U}_{20} на этой частоте имеют следующие значения:

Таблица 3.8

Вариант	1	2	3
\dot{U}_{10} , В	40	$80e^{j90^\circ}$	$50e^{j90^\circ}$
\dot{U}_{20} , В	$40e^{j-90^\circ}$	80	$150e^{j-90^\circ}$

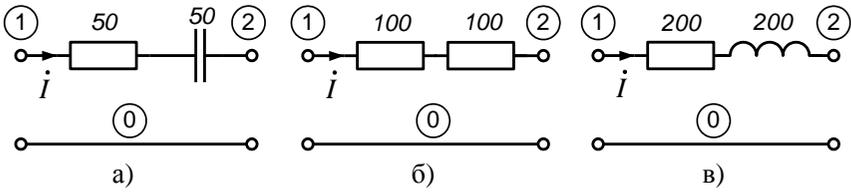


Рисунок 3.10

3.6 Список литературы

1. Попов В.П. Основы теории линейных электрических цепей. – М.: Высш.шк. 2006.- с.81-87, 95-105, 110-114, 236-237.
2. Атабеков Г.И. Основы теории цепей. СПб. : «Лань», 2006.- с. 50-59, 80-81, 85-86.