



Министерство цифрового развития, связи
и массовых коммуникаций Российской Федерации
Ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения высшего образования
«Московский технический университет связи и информатики»
Волго-Вятский филиал

Кафедра инфокоммуникационных
и профессиональных дисциплин

Дисциплины: «Теоретические основы электротехники» и
«Основы компьютерного анализа электрических цепей»

Лабораторная работа № 3

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Методические указания к лабораторной работе

Нижний Новгород
2021

Исследование свойств линейной электрической цепи постоянного тока. Метод. указания к лаб. работе/ М.Г. Тылес.– Н.Новгород, ВВФ МТУСИ, 2021.

Дано описание лабораторной работы, в которой исследования относятся к разделам, изучаемым в двух дисциплинах: **«Теоретические основы электротехники»** и **«Основы компьютерного анализа электрических цепей»**. Свойства электрических цепей изучаются в первой дисциплине, а экспериментальные исследования, предусмотренные как в первой, так и во второй дисциплинах, реализуются в виртуальной лаборатории – компьютерном классе при использовании программного комплекта *Micro-Cap*.

Методические указания к лабораторной работе предназначены для студентов дневной и заочной форм обучения по направлению «Инфокоммуникационные технологии и системы связи».

Методические указания одобрены
на заседании кафедры ИКиПД 26 августа 2021 г.
Протокол № 15

Лабораторная работа № 3

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ЛИНЕЙНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Цель работы: Изучение свойств линейных цепей, освоение методики экспериментального исследования этих свойств в режиме постоянных токов посредством компьютерного анализа и методики обработки результатов эксперимента.

1. Свойства линейной электрической цепи

Линейной считается электрическая цепь, в которой структура цепи и величины всех сопротивлений остаются неизменными при любых режимах работы (при любых величинах токов в ветвях).

Уравнения, составленные для такой цепи на основе законов Кирхгофа, имеют постоянные коэффициенты, определяемые структурой цепи и параметрами элементов.

Это обуславливает два замечательных свойства линейных цепей: свойство пропорциональности и свойство аддитивности, называемое также принципом суперпозиции.

Свойство пропорциональности → при изменении величины воздействия на цепь в виде источника ЭДС или источника тока в несколько раз реакция цепи изменяется во столько же раз. Под реакцией подразумевается совокупность токов в ветвях и напряжений на участках цепи.

Свойство аддитивности (принцип суперпозиции) → реакция цепи на сложное воздействие из нескольких составляющих равна сумме реакций цепи на каждую составляющую воздействия в отдельности.

В теории электрических цепей известна «Теорема об эквивалентном генераторе (активном двухполюснике)», которая формулируется так:

«электрическую цепь любой сложности по отношению к выделенной ветви можно представить в виде идеального источника ЭДС (или тока) и внутреннего сопротивления».

На выводах этой теоремы базируется метод расчета режима – метод эквивалентного генератора.

Данная лабораторная работа проводится для экспериментальной проверки проявления указанных свойств в цепях постоянного тока.

Лабораторная работа имеет три раздела:

- исследование проявления свойства пропорциональности;
- исследование проявления свойства аддитивности (принципа суперпозиции);
- исследование свойств эквивалентного генератора и возможности его использования.

2. Описание лабораторной установки и задание к работе

Исследования проводятся в виртуальной лаборатории (на ПЭВМ) с использованием программного комплекта (ПК) *Micro-Cap 12* (или *Micro-Cap 11*).

Каждый студент, выполняющий лабораторную работу, получает индивидуальный вариант исследуемых цепей, отличающийся от других параметрами источников ЭДС, источника тока и элементов в ветвях (табл. 1). Номер индивидуального варианта совпадает с порядковым номером фамилии студента в списке группы.

На рис. 1 приведена типовая схема цепи постоянного тока.

Величины сопротивлений и параметры источников указаны на рис. 1 в качестве примера.

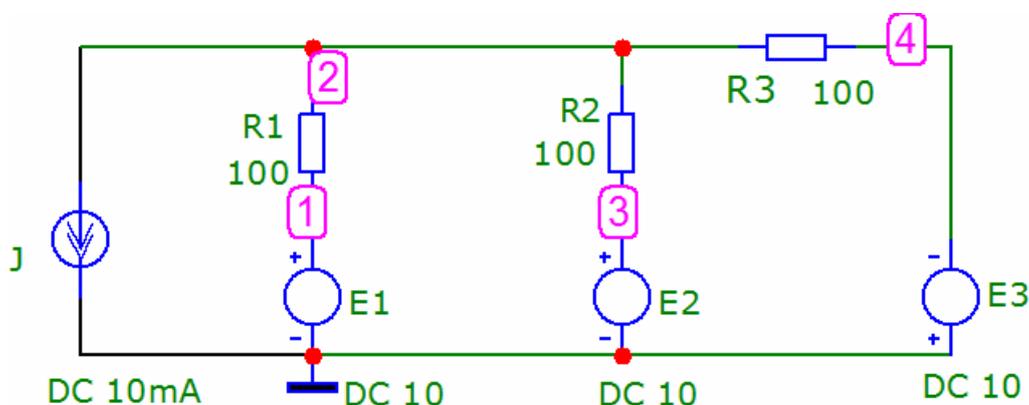


Рис. 1. Типовая схема цепи

В каждом индивидуальном варианте состав цепи и числовые значения параметров задаются отдельно в табл. 1. Исследуемые цепи могут содержать один или два источника постоянных ЭДС и источник тока.

Состав цепи, параметры источников и сопротивлений

Таблица 1

№№ вариантов	Источники и сопротивления							
	J, мА	E1, В	E2, В	E3, В	R1, Ом	R2, Ом	R3, Ом	N
1	15	–	24	–	120	75	110	2
2	–	28	–	36	210	300	150	1
3	28	34	25	–	305	410	250	3
4	–	18	41	22	404	202	100	1
5	–	–	60	48	550	440	640	2
6	20	36	–	–	180	95	200	3
7	44	58	–	26	256	340	180	3
8	25	–	–	70	150	250	340	1
9	19	44	–	–	90	180	260	2
10	–	65	81	–	85	125	160	3
11	30	–	–	66	110	180	300	2

12	35	–	52	–	150	256	410	1
13	–	33	55	–	250	120	202	3
14	–	–	48	83	100	210	440	2
15	40	67	–	–	640	305	95	3
16	32	26	–	56	200	404	256	1
17	–	15	–	26	180	550	150	3
18	–	–	64	49	340	180	90	2
19	–	22	29	–	260	256	85	3
20	28	–	–	32	160	150	110	1
21	–	81	95	–	75	90	150	2
22	46	–	–	74	300	85	250	3
23	–	46	76	–	410	340	100	1
24	–	33	–	54	202	260	180	2
25	59	24	47	–	440	160	125	1
26	–	38	54	18	95	300	180	3
27	–	25	71	86	364	410	256	2
28	24	–	43	–	250	202	120	1
29	25	46	–	72	160	440	210	3
30	30	30	20		150	95	64	2
31	–	–	48	83	120	200	315	2
32	30	27	–	–	340	305	195	3
33	48	21	–	26	236	404	383	1
34	–	35	–	46	145	350	390	3
35	26	–	48	37	430	180	290	2
36	19	–	33	–	220	175	310	2
37	–	38	–	25	232	146	90	1
38	28	-	28	34	205	310	250	3
39	–	20	37	42	424	262	210	3

N - номер ветви, выделяемой для исследования свойств эквивалентного генератора.

3. Экспериментальная часть

Приступая к выполнению экспериментальных исследований сразу начинайте оформлять отчет по работе.

Создайте титульный лист, взяв за основу титульный лист данных методических указаний. Скопируйте и поместите в отчет всю третью страницу данных указаний, где

содержится название работы, цель ее, описаны основные свойства линейной цепи и приведена структура лабораторной работы. Скопируйте в отчет типовую схему.

Определите структуру цепи и числовые данные своего индивидуального варианта, оформив их в таблице 2, где пока находятся данные автора методических указаний, которые будут использоваться в примерах.

Состав цепи, параметры источников и сопротивлений в индивидуальном варианте

Таблица 2

№ инд. варианта	Источники и сопротивления							
	J, мА	E1, В	E2, В	E3, В	R1, Ом	R2, Ом	R3, Ом	N
32	20	–	25	35	100	100	100	2

N - номер ветви, выделяемой для исследования свойств эквивалентного генератора.

На рабочем поле ПК Micro-Cap составьте полную схему цепи, соответствующую заданию. Обратите внимание, что источники напряжения нумеруются в порядке введения их на рабочее поле ПК *Micro-Cap*.

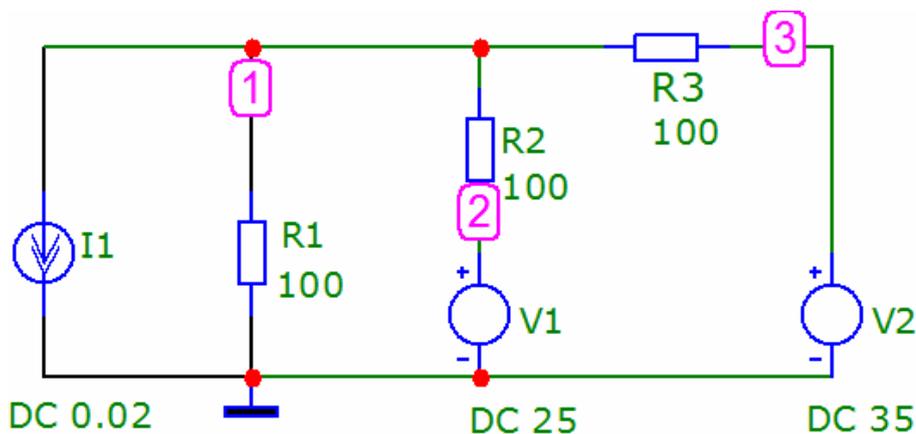


Рис. 2. Схема цепи (вариант 32)

После этого приступайте к выполнению разделов исследований.

- исследование проявления свойства пропорциональности;
- исследование проявления свойства аддитивности (принципа суперпозиции);
- исследование свойств эквивалентного генератора и возможности его использования.

3.1. Исследование проявления свойства пропорциональности

В цепи оставляем только один источник из заданных. Каждый студент сам определяет, какой источник поставить в цепь.

Автор методических указаний выбрал источник тока (рис. 2) типа *Current Source* в функции *None* и провел исследование режимов при трех значениях тока этого источника, используя в среде ПК *Micro-Cap 12* режим анализа *Dynamic DC*.

Результаты исследований показаны на рис. 3, рис. 4, рис. 5 и сведены в таблице 3.

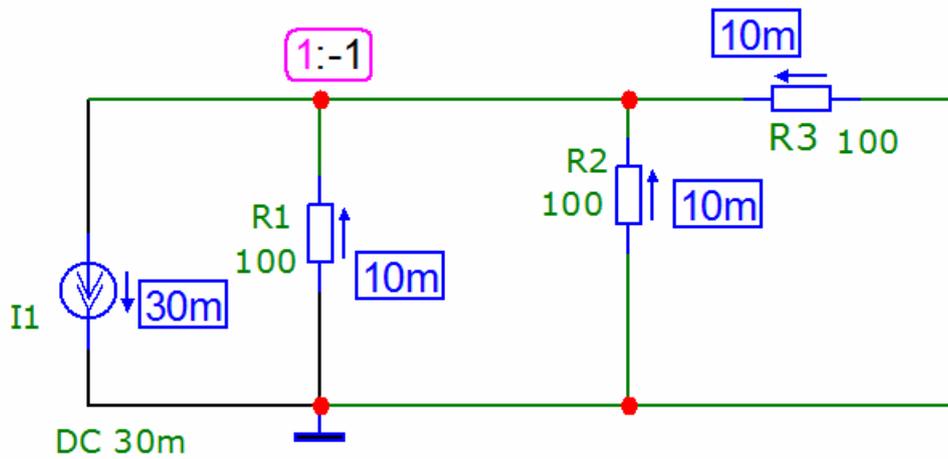


Рис. 3. Режим в цепи с источником тока 30 мА

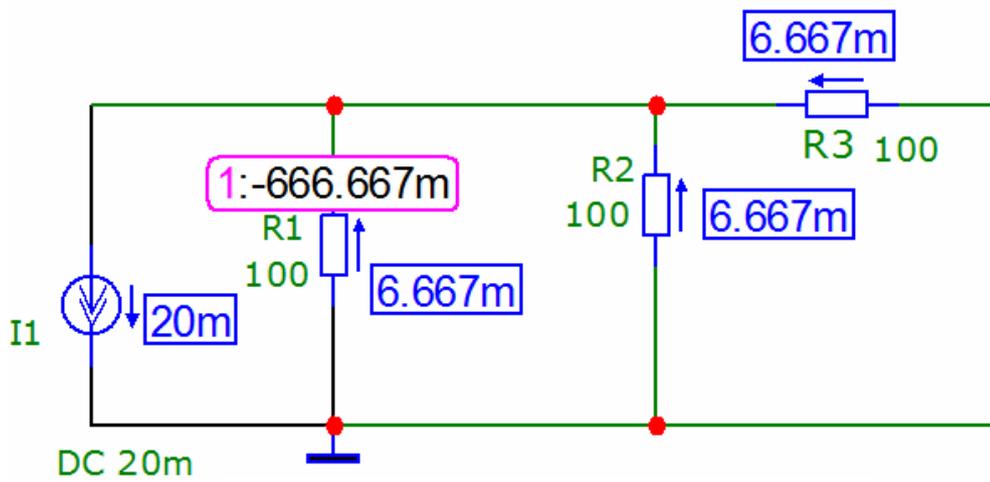


Рис. 4. Режим в цепи с источником тока 20 мА

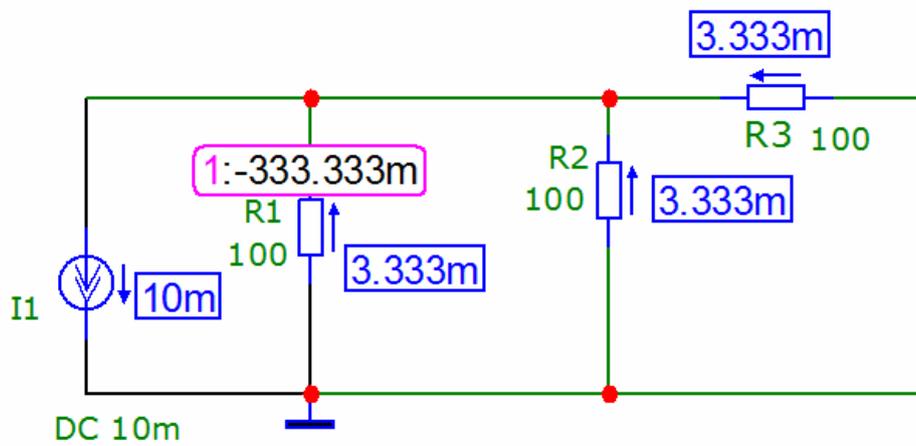


Рис. 5. Режим в цепи с источником тока 10 мА

Ток источника I1, мА	Напряжение узла U1, В	Токи в ветвях, мА		
		I_{R1} , мА	I_{R2} , мА	I_{R3} , мА
30	-1	10	10	10
20	-666.667 m	6.667	6.667	6.667
10	-333.333 m	3.333	3.333	3.333

Анализ числовых значений токов и напряжений в разных строках таблицы 3 дает возможность сделать вывод: **линейная цепь действительно обладает свойством пропорциональности.**

3.2. Исследование проявления свойства аддитивности (принципа суперпозиции)

Рассматриваем электрическую цепь с тремя заданными источниками (рис. 6).

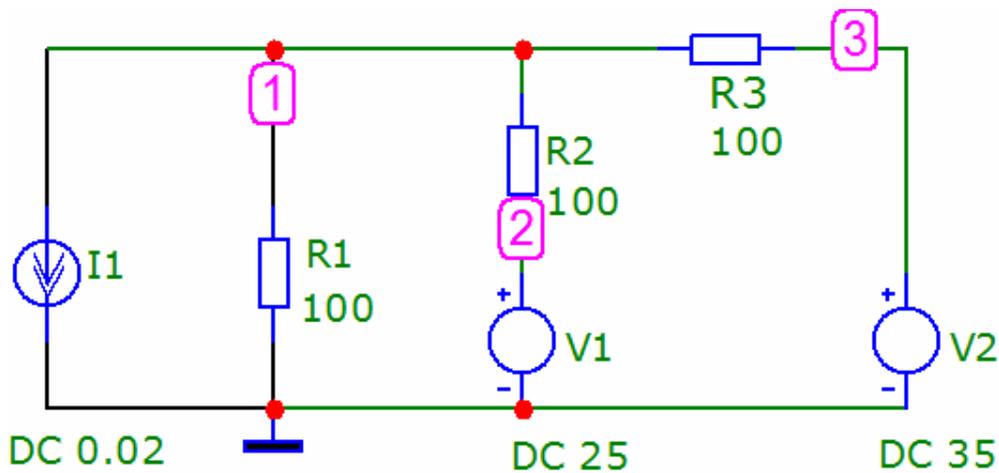


Рис. 6. Схема цепи со всеми источниками (вариант 32)

Определяем токи и напряжения в этой цепи (рис. 7), используя в среде ПК *Micro-Cap 12* режим анализа *Dynamic DC*.

Направления токов в этом режиме будем считать положительными.

Затем анализируем режим в цепи при поочередном воздействии только одного источника, оставляя один и исключая другие посредством обнуления величины напряжения (у источников типа *Voltage Source*) или тока (у источников типа *Current Source*). Результаты исследований (рис. 8, рис. 9 и рис. 10) сгруппированы в таблице 4.

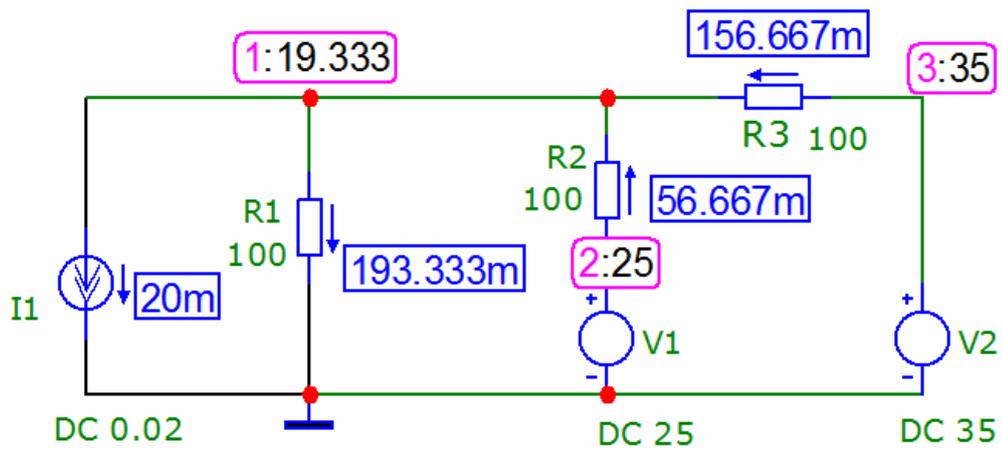


Рис. 7. Режим в цепи при действии всех источников

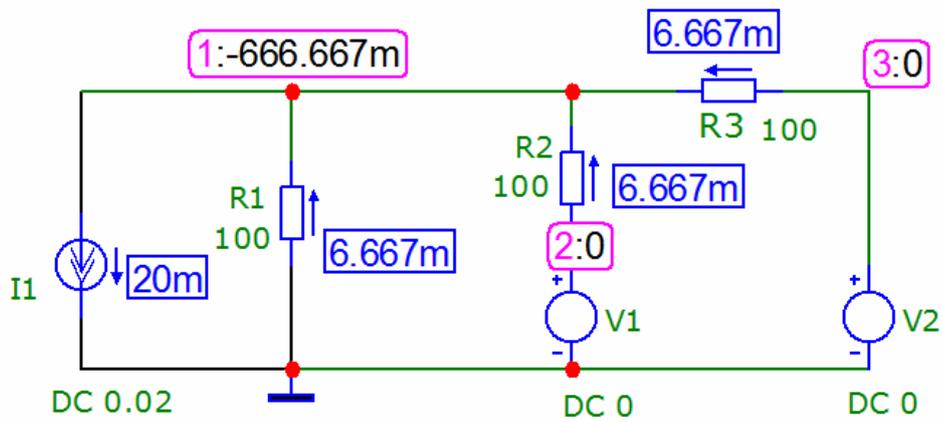


Рис. 8. Режим в цепи при действии только источника тока

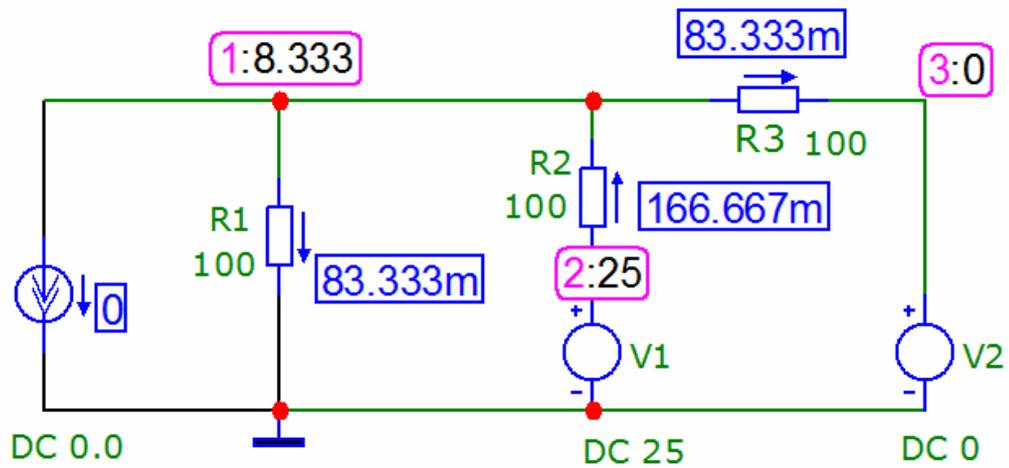


Рис. 9. Режим при действии источника ЭДС во второй ветви

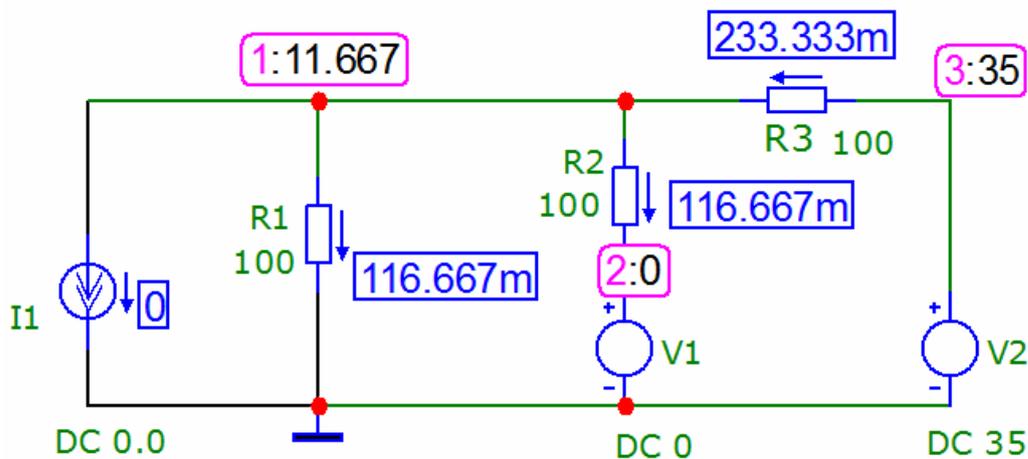


Рис. 10. Режим при действии источника ЭДС в третьей ветви

Результаты исследования цепи с тремя источниками при раздельном и совместном действии

Таблица 4

Источники			Напряжения узлов, В			Токи в ветвях, мА		
I1, А	V1, В	V2, В	U1, В	U2, В	U3, В	IR1, мА	IR2, мА	IR3, мА
0,02	нет	нет	-0,667	0	0	-6,667	6,667	6,667
нет	25	нет	8,333	25	0	83,333	166,667	-83,333
нет	нет	35	11,667	0	35	116,667	-116,667	233,333
Суперпозиция (суммируем значения в предыдущих строках)			19,333	25	35	193,333	56,667	156,667
Совместное действие источников								
0,02	25	35	19,333	25	35	193,333	56,667	156,667

Сопоставляя значения токов и напряжений в цепи при совместном действии всех заданных источников с результатами суперпозиции режимов при раздельном воздействии, убеждаемся в проявлении свойства аддитивности.

3.3. Исследование свойств эквивалентного генератора и возможности его использования

Исключаем из цепи ветвь с номером "2", оставив на рисунке схемы кусочек проводника. Все, что осталось на рисунке, образует активную линейную часть (двухполюсник с выводами "черточка"-"корпус"). Будем представлять ее в виде эквивалентного генератора, определяя его параметры. На рис. 11 представлен режим холостого хода: $U_{ab} = U_1 = 16.5 \text{ В}$.

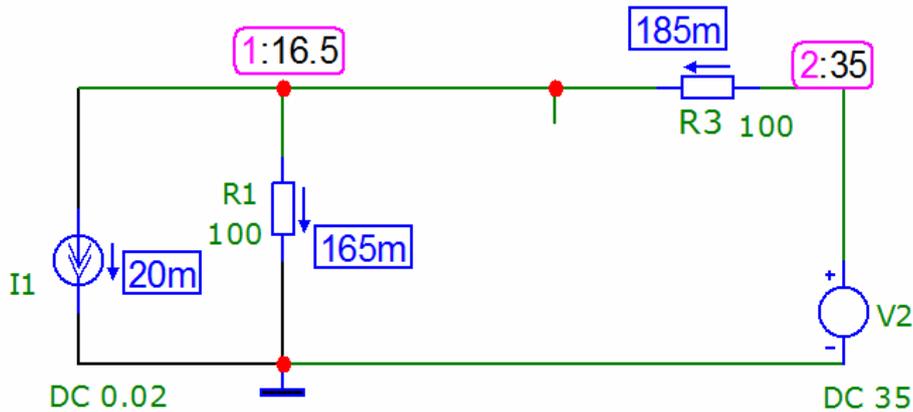


Рис. 11. Активный двухполюсник в режиме «холостого хода»: $U_{xx}=U_1=16.5 \text{ В}$

Для измерения тока короткого замыкания активного двухполюсника на место второй ветви ставим маленькое сопротивление $R_4 = 1.0 \text{ мкОм}$. Это эквивалентно измерению этого тока амперметром. Режим КЗ представлен на рис. 12: $I_{KЗ} = 330 \text{ мА}$

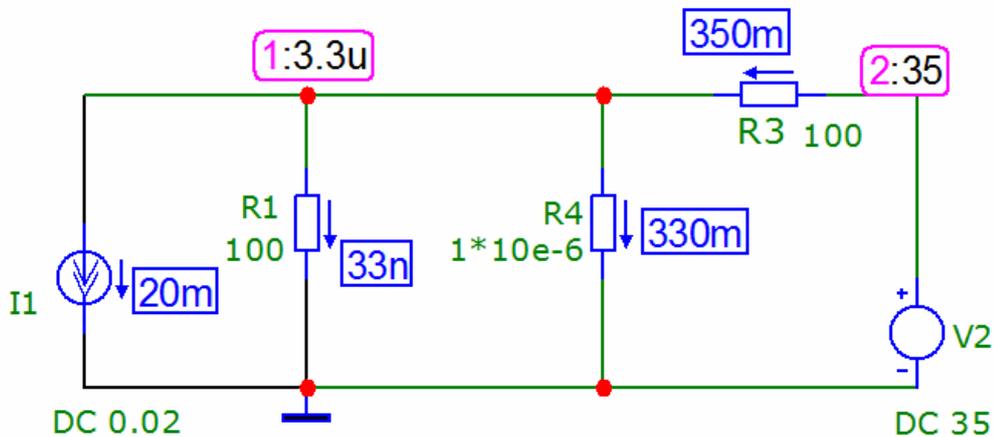


Рис. 12. Определение тока короткого замыкания ($I_A=330 \text{ мА}$)

Рассчитываем внутреннее сопротивление эквивалентного генератора

$$R_{\text{внутр}} = \frac{U_{ab}}{I_{KЗ}} = \frac{16,5}{0,33} = 50,0 \text{ Ом}$$

Составляем эквивалентную цепь, включая эквивалентный генератор с ЭДС $V_{\text{екв}}$ и внутренним сопротивлением $R_{\text{ген}}$ последовательно с элементами второй ветви V_1 и R_2 (рис. 13)

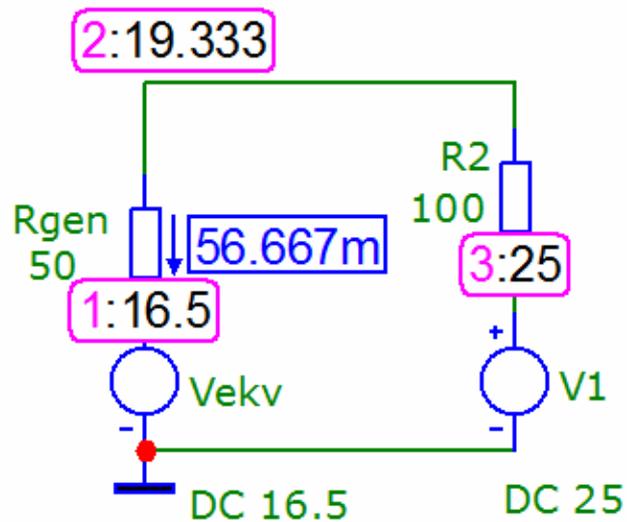


Рис. 13. Режим в цепи с эквивалентным генератором

Сравнивая режим второй ветви на рис. 13 с режимом этой ветви в полной схеме цепи на рис. 7, убеждается в совпадении значений тока $I_2 = 56.667 \text{ mA}$ и напряжения $U_2 = 19.333 \text{ В}$

Таким образом, утверждение теоремы об эквивалентном генераторе **подтверждено**. Следовательно, метод эквивалентного генератора для расчета режима в одной ветви сложной цепи можно уверенно использовать.



Министерство цифрового развития, связи
и массовых коммуникаций Российской Федерации
Ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения высшего образования
«Московский технический университет связи и информатики»
Волго-Вятский филиал

Кафедра инфокоммуникационных
и профессиональных дисциплин

Дисциплины: «Теоретические основы электротехники» и
«Основы компьютерного анализа электрических цепей»

Лабораторная работа № 3

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ЛИНЕЙНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Выполнил студент гр. БИНз-21

_____ В.А. Симаков

Принял доцент кафедры ИКиПД

_____ М.Г. Тылес

Нижний Новгород
2022