

Работа 2. Принцип суперпозиции.

Цель работы – приобретение навыков составления расчетных схем для определения частных реакций, вычисления частных реакций с помощью коэффициентов передачи цепи, нахождения полной реакции как алгебраической суммы частных реакций.

1 Суть принципа суперпозиции / метода наложения.

Реакция цепи на действие независимого источника напряжения пропорциональна напряжению источника U_1

$$I_k = Y_{k1} \cdot U_1 \quad U_k = H_{k1}^{(u)} \cdot U_1 \quad (2.1)$$

Коэффициент пропорциональности Y_{k1} имеет смысл входной проводимости, если $k=1$, и смысл передаточной проводимости, если $k \neq 1$. Безразмерный коэффициент $H_{k1}^{(u)}$ носит название коэффициента передачи напряжения источника U_1 в ветвь с сопротивлением R_k . Коэффициенты передачи Y_{k1} и $H_{k1}^{(u)}$ выражаются через сопротивления ветвей цепи R_1, R_2, \dots, R_n

$$Y_{k1} = f_y(R_1, R_2, \dots, R_n) \quad H_{k1}^{(u)} = f_h(R_1, R_2, \dots, R_n)$$

При питании цепи от источника тока реакции пропорциональны току источника J_1

$$I_k = H_{k1}^{(i)} \cdot J_1 \quad U_k = Z_{k1} \cdot J_1 \quad (2.2)$$

Здесь Z_{k1} – входное сопротивление цепи, если $k=1$, или передаточное сопротивление, если $k \neq 1$. Безразмерный коэффициент $H_{k1}^{(i)}$ есть коэффициент передачи тока источника J_1 в ветвь с сопротивлением R_k .

При действии в цепи нескольких источников напряжения U_1, U_2, \dots, U_m и нескольких источников тока J_1, J_2, \dots, J_n реакции цепи I_k, U_k в соответствии с принципом суперпозиции находится как алгебраическая сумма частных реакций, число которых $p = m + n$. Под частной реакцией понимается реакция цепи на действие одного источника при равенстве нулю напряжения других источников напряжения и равенстве нулю тока остальных источников тока

$$I_k = \sum_{l=1}^n H_{kl}^{(i)} \cdot J_l + \sum_{f=1}^m Y_{kf} \cdot U_f \quad U_k = \sum_{l=1}^n Z_{kl} \cdot J_l + \sum_{f=1}^m H_{kf}^{(u)} \cdot U_f \quad (2.3)$$

Каждая частная реакция определяется по расчетной схеме, в которой действует только один источник. Другие источники учитываются в расчетной схеме их внутренними сопротивлениями. Источник напряжения при условии $U_k = 0$ заменяется внутренним сопротивлением $R_i = 0$ или элементом короткого замыкания (КЗ). Источник тока при условии $J_k = 0$ заменяется бесконечно большим внутренним сопротивлением $R_i \rightarrow \infty$ или элементом холостого хода

(XX). Знаки частных реакций зависят от направлений токов, которые определяются полярностью включения в цепь того или иного источника.

2.Задание.

- 1.Составить расчетные схемы для определения частных реакций и найти эти реакции.
- 2.Определить токи источников напряжения, токи сопротивлений, напряжения источников тока.
- 3.Определить режим работы активных элементов в цепи. Составить баланс мощностей.

3. Пример выполнения задания.

Структура цепи и параметры элементов заданы в таблице 2.1.

Таблица 2.1

Структура цепи и параметры элементов

Номер и тип элемента	$U_1, В$	$R_2, Ом$	$R_3, Ом$	$U_4, В$	$J_5, А$
Значение параметра	12	2	10	12	20
Узлы подключения элемента	4-1	1-2	2-4	3-2	3-4

Схема цепи и расчетные схемы для определения частных реакций приведены на рис. 2.1. Частные токи I'_2, I'_3 и напряжение U'_5 при действии в цепи только источника напряжения U_1 вычисляется по схеме, показанной на рисунке 2.1б. Эта схема получена из исходной схемы (рис. 2.1а) путем замены источника тока J_5 элементом XX, источника напряжения U_4 – элементом КЗ

$$I'_2 = I'_3 = \frac{U_1}{R_2 + R_3} = \frac{12}{2+2} = 3 \quad U'_5 = U_1 \cdot \frac{R_3}{R_2 + R_3} = 12 \cdot \frac{2}{2+2} = 6$$

Используя схему на рисунке 2.1в, найдем частные реакции на действие источника J_5

$$I_2'' = J_5 \cdot H_{2-5}^{(i)} = J_5 \cdot \frac{R_3}{R_2 + R_3} = 10 \cdot \frac{2}{2+2} = 5$$

$$I_3'' = J_5 \cdot H_{3-5}^{(i)} = J_5 \cdot \frac{R_2}{R_2 + R_3} = 10 \cdot \frac{2}{2+2} = 5 \quad U_5'' = J_5 \cdot \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3} = 10 \cdot \frac{2 \cdot 2}{2+2} = 10$$

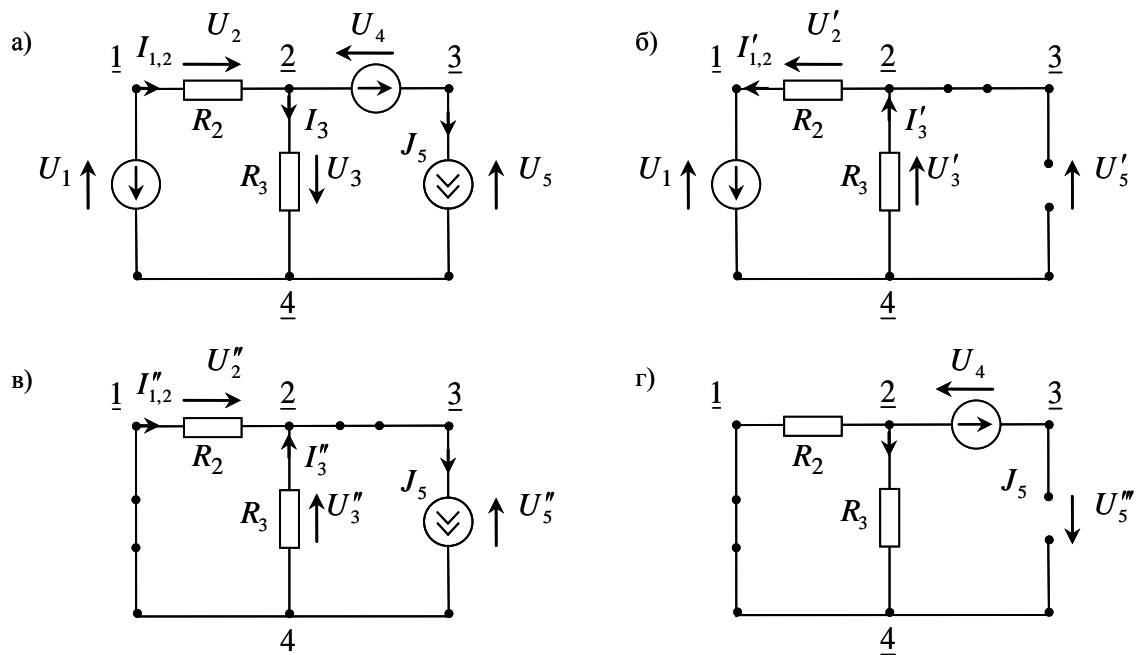


Рис.2.1. Схема цепи – а) и расчетные схемы для определения частных реакций на действие источника U_1 при $U_4 = 0, J_5 = 0$ – б), источника J_5 при $U_1 = 0, U_4 = 0$ – в), источника U_4 при $U_1 = 0, J_5 = 0$ – г).

Источник U_4 , как видно из рисунка 2.г, влияет только на напряжение источника тока

$$U_5''' = U_4 = 12, \quad I_2''' = I_3''' = 0.$$

Полные реакции находят как алгебраическую сумму частных реакций. Учитывая направления частных токов, получим искомый результат $I_2 = -I_2' + I_2'' = -3 + 5 = 2, \quad I_3 = I_3' + I_3'' = 3 + 5 = 8, \quad U_5 = U_5' + U_5'' - U_5''' = 6 + 10 - 12 = 4.$

Направления токов и напряжений источников U_4 и J_5 не согласованы, мощность отрицательна, активные элементы U_4 и J_5 работают в режиме генераторов электрической энергии.

На активном элементе U_1 направления напряжения и тока согласованы, элемент работает в режиме потребления энергии. Резистивные элементы R_2, R_3 всегда являются потребителями энергии. Запишем баланс мощностей элементов цепи

$$P_4 + P_5 = P_1 + P_2 + P_3 \quad \text{или} \quad -P_4 - P_5 + P_1 + P_2 + P_3 = 0;$$

$$U_4 \cdot I_4 + U_5 \cdot J_5 = U_1 \cdot I_1 + I_2^2 \cdot R_2 + I_3^2 \cdot R_3;$$

$$12 \cdot 10 + 4 \cdot 10 = 12 \cdot 2 + 2^2 \cdot 2 + 8^2 \cdot 2; \quad 160 = 160$$

Расчет показывает, что в цепи с несколькими источниками активные элементы могут работать как в режиме генерирования, так и режиме потребления электрической энергии.

Проверка результатов расчета на рабочем столе Electronics Workbench с помощью измерительных приборов показана на рисунке 2.2.

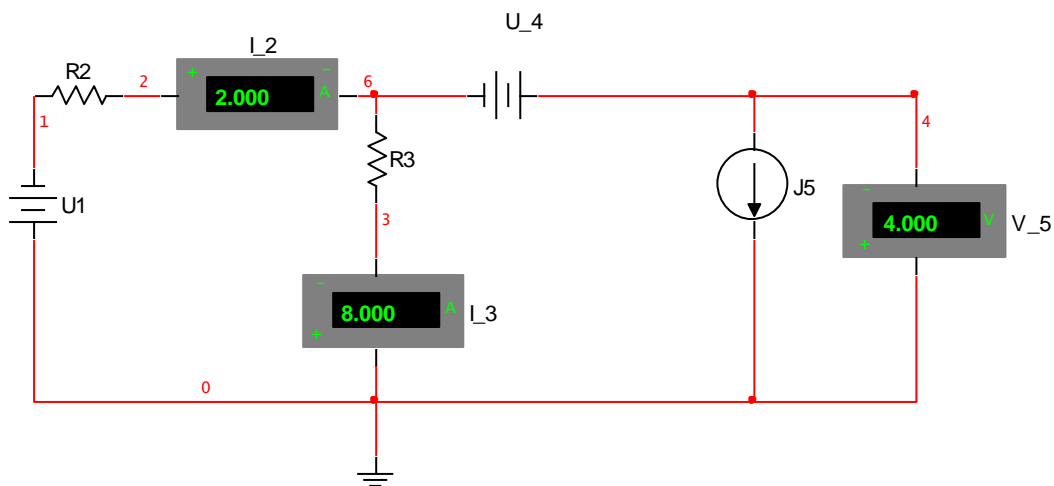


Рис.2.2. Модель цепи в среде Electronics Workbench

4. Таблица вариантов заданий к работе №2

Таблица №2.2

Варианты заданий

№ варианта	Значение параметра и номера узлов элемента				
	1	2	3	4	5
1	$E_1 = 40\text{В}$, 3-1	$J_2 = 2\text{А}$, 3-1	$R_3 = 10\text{Ом}$, 1-2	$J_4 = 8\text{А}$, 3-2	$R_5 = 10\text{Ом}$, 2-3
2	$E_1 = 50\text{В}$, 1-3	$J_2 = 4\text{А}$, 3-1	$R_3 = 15\text{Ом}$, 1-2	$R_4 = 10\text{Ом}$, 2-3	$J_5 = 5\text{А}$, 2-3
3	$R_1 = 12\text{Ом}$, 1-3	$E_2 = 20\text{В}$, 1-2	$J_3 = 3\text{А}$, 1-2	$R_4 = 8\text{Ом}$, 2-3	$J_5 = 5\text{А}$, 2-3
4	$E_1 = 60\text{В}$, 1-3	$R_2 = 8\text{Ом}$, 1-2	$R_3 = 12\text{Ом}$, 2-3	$J_4 = 5\text{А}$, 3-2	$J_5 = 5\text{А}$, 1-3
5	$J_1 = 1\text{А}$, 1-3	$R_2 = 12\text{Ом}$, 1-2	$J_3 = 10\text{А}$, 3-2	$R_4 = 18\text{Ом}$, 2-3	$E_5 = 30\text{В}$, 3-1
6	$J_1 = 10\text{А}$, 1-3	$R_2 = 8\text{Ом}$, 1-3	$R_3 = 12\text{Ом}$, 1-2	$J_4 = 4\text{А}$, 2-3	$E_5 = 20\text{В}$, 3-2
7	$R_1 = 6\text{Ом}$, 1-3	$J_2 = 10\text{А}$, 1-2	$R_3 = 4\text{Ом}$, 1-2	$E_4 = 40\text{В}$, 3-2	$J_5 = 2\text{А}$, 3-2
8	$J_1 = 3\text{А}$, 3-1	$R_2 = 5\text{Ом}$, 1-3	$J_3 = 9\text{А}$, 2-1	$R_4 = 10\text{Ом}$, 1-2	$E_5 = 30\text{В}$, 2-3

9	$J_1 = 6A,$ 3-1	$R_2 = 100M,$ 1-3	$E_3 = 60B,$ 1-2	$R_4 = 200M,$ 2-3	$J_5 = 18A,$ 2-3
10	$J_1 = 2A,$ 2-1	$R_2 = 120M,$ 1-2	$R_3 = 120M,$ 1-3	$J_4 = 2A,$ 1-3	$E_5 = 24B,$ 2-3
11	$E_1 = 20B,$ 1-2	$R_2 = 40M,$ 1-3	$J_3 = 5A,$ 3-1	$J_4 = 5A,$ 2-3	$R_5 = 60M,$ 2-3
12	$J_1 = 3A,$ 3-1	$R_2 = 50M,$ 1-3	$E_3 = 15B,$ 2-1	$J_4 = 9A,$ 3-2	$R_5 = 100M,$ 2-3
13	$E_1 = 50B,$ 1-3	$R_2 = 50M,$ 1-2	$J_3 = 6A,$ 2-1	$J_4 = 4A,$ 3-2	$R_5 = 50M,$ 2-3
14	$E_1 = 40B,$ 1-4	$R_2 = 80M,$ 1-2	$R_3 = 120M,$ 2-4	$E_4 = 16B,$ 3-2	$J_5 = 5A,$ 4-3
15	$R_1 = 40M,$ 1-2	$E_2 = 20B,$ 1-3	$R_3 = 60M,$ 2-3	$E_4 = 2B,$ 3-4	$J_5 = 5A,$ 4-2
16	$R_1 = 500M,$ 1-2	$R_2 = 100M,$ 1-4	$R_3 = 150M,$ 2-4	$E_4 = 20B,$ 4-3	$J_5 = 5A,$ 1-3
17	$J_1 = 5A,$ 4-1	$E_2 = 10B,$ 1-2	$R_3 = 150M,$ 2-4	$R_4 = 100M,$ 2-3	$E_5 = 50B,$ 3-4
18	$E_1 = 60B,$ 4-1	$R_2 = 120M,$ 3-4	$R_3 = 180M,$ 1-3	$E_4 = 24B,$ 1-2	$J_5 = 5A,$ 3-2
19	$E_1 = 20B,$ 1-3	$J_2 = 4A,$ 1-3	$R_3 = 120M,$ 1-2	$R_4 = 80M,$ 2-3	$J_5 = 5A,$ 2-3
20	$E_1 = 70B,$ 2-1	$R_2 = 100M,$ 2-4	$R_3 = 50M,$ 1-3	$J_4 = 14A,$ 4-3	$R_5 = 250M,$ 1-4
21	$E_1 = 30B,$ 2-1	$R_2 = 60M,$ 1-3	$R_3 = 90M,$ 2-3	$R_4 = 120M,$ 2-4	$J_5 = 5A,$ 4-3
22	$R_1 = 40M,$ 1-2	$E_2 = 32B,$ 3-2	$R_3 = 120M,$ 1-3	$J_4 = 4A,$ 3-4	$R_5 = 200M,$ 1-4

23	$E_1 = 60\text{B},$ 1-4	$R_2 = 60\text{M},$ 1-2	$R_3 = 60\text{M},$ 2-4	$R_4 = 60\text{M},$ 2-3	$J_5 = 6\text{A},$ 4-3
24	$R_1 = 80\text{M},$ 1-4	$E_2 = 48\text{B},$ 1-2	$E_3 = 48\text{B},$ 2-3	$J_4 = 10\text{A},$ 3-4	$R_5 = 80\text{M},$ 2-4
25	$E_1 = 60\text{B},$ 4-1	$R_2 = 100\text{M},$ 1-2	$R_3 = 100\text{M},$ 2-4	$E_4 = 60\text{B},$ 3-2	$J_5 = 10\text{A},$ 3-4