

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

«УФИМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НЕФТЯНОЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

КАФЕДРА ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ И ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**  
к выполнению лабораторной работы  
**по Теоретическим основам электротехники**  
**«Электрические цепи постоянного тока»**

Уфа 2008

ББК 74.58

УДК 658.26(07)

Методические указания предназначены для студентов, изучающих курс «Теоретические основы электротехники»

Составитель: Чигвинцев С.В., доц., канд. тех. наук.

Рецензент:

## Лабораторная работа

### «Электрические цепи постоянного тока»

**Цель работы:** Анализ электрической цепи (ЭЦ) постоянного тока (ПТ) и ее моделирование в Electronics Workbench (EWB) - Multisim.

### 3 Моделирование электрической цепи в системе Electronics Workbench

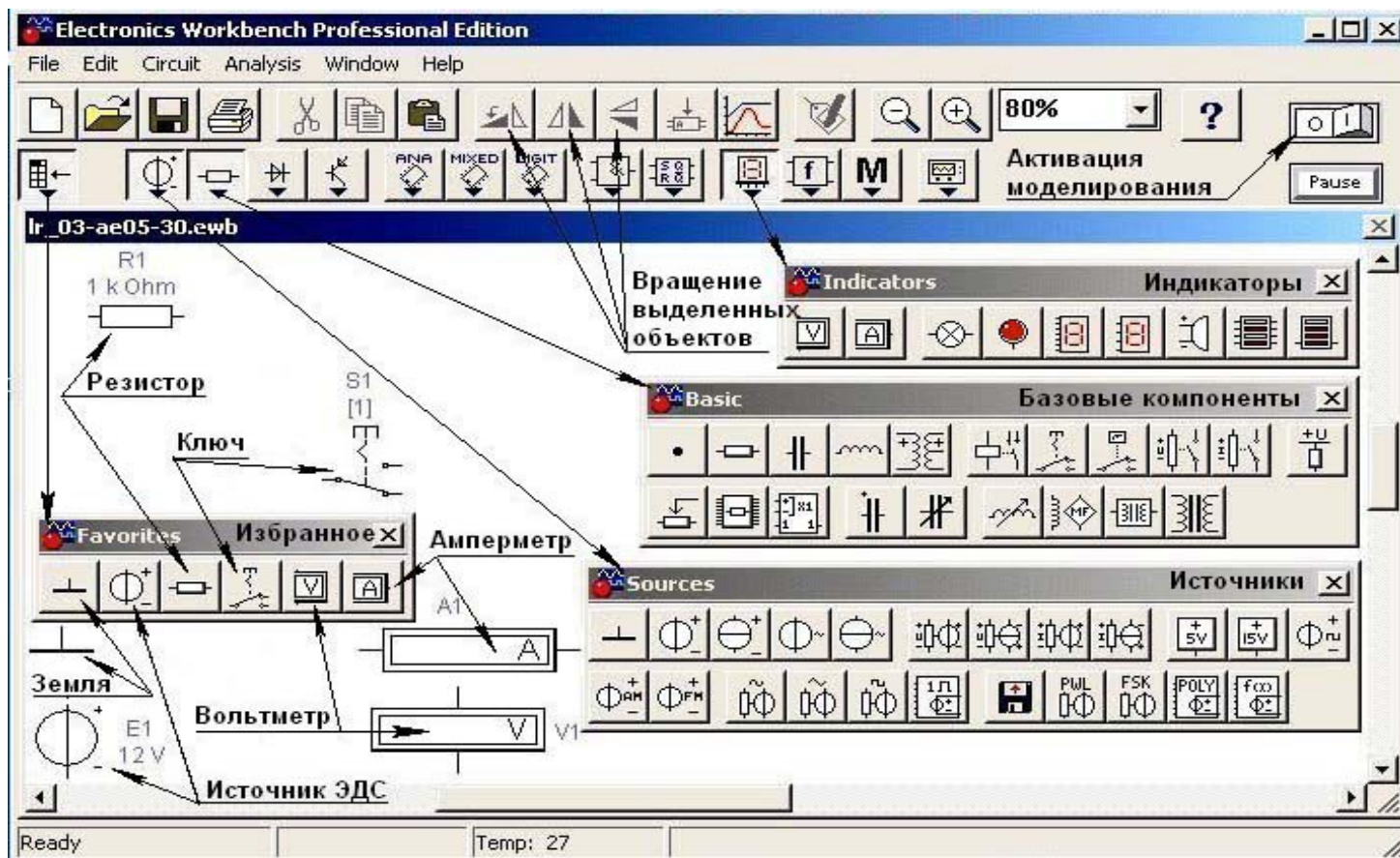



Рисунок 12 – Рабочий стол Electronics Workbench с панелями компонентов, которые необходимы для сборки моделируемой схемы (с комментариями)

Моделирование ЭЦ можно осуществить посредством физического или компьютерного эксперимента. Учитывая, что физический эксперимент требует больших материальных затрат, повышенного внимания при выполнении электрических соединений и строгого соблюдения правил техники безопасности, актуально компьютерное математическое моделирование процессов в ЭЦ и систем при помощи специализированных пакетов **Electronics Workbench, Micro-CAP, PSpice, ELCUT** и т.п.





3.1 Сборка схемы ЭЦ (рисунок 1) и подключение измерительных приборов осуществляется в среде EWB (рисунок 12).








#### 3.1.1 Запись рабочего файла.

После загрузки EWB следует задать имя файла, в котором будет сохранена схема моделирования. Для этого следует щелкнуть мышкой по иконке  и в появившемся окне **Save Circuit File** выбрать диск, папку, тип файла (.EWB по умолчанию) и его имя. Для однозначной идентификации исполнителя имя файла шифруется по шаблону: <аббревиатура дисциплины>-<порядковый номер работы>\_<группа>-<вариант (номер по списку)>, например, **toe\_lr-03\_ae06-30**. Имя этого файла появится на верхней панели рабочего поля после нажатия клавиши **Ok**.

### 3.1.2 Формирование панели избранных компонентов.

Для сборки схемы ЭЦ и подключения приборов (рисунок 8) необходимо ограниченное количество компонентов (земля, источники ЭДС и тока, резисторы, ключи, амперметры и вольтметры). Они находятся (рисунок 9) в трех панелях: **Sources – Источники**, **Basic – Базовые компоненты** и **Indicators – Индикаторы**. С целью ускорения сборки схемы, целесообразно нужные компоненты поместить в панель **Favorites – Избранное**.

Формирование панели **Favorites** осуществляется это следующим образом. Нажать на кнопку **Sources**  панели наборов компонентов. В появившейся панели поместить указатель мышки на нужный компонент (**Ground - Земля** , **Battery – Источник ЭДС** , **DC Current Source – Источник тока** ) и нажать правую кнопку мыши. В появившемся ниспадающем меню переместить указатель мыши на строку **Add to favorites – Добавить в избранное** и нажать на левую кнопку.


Аналогичные действия проделать в панелях **Basic**  и **Indicators**  для компонентов **Resistor** , **Switch**  и **Voltmeter** , **Ammeter** . После нажатия мышкой на кнопку **Favorites**  появится панель избранных компонентов. Захватив левый край этой панели можно придать удобный вид, вытянув ее горизонтально.

### 3.1.3 Построение сетки

Для удобства размещения элементов схемы желательно строить ее с привязкой к сетке рабочего поля. Для этого поместить мышку на рабочее поле и нажать правую кнопку. В ниспадающем меню выбрать строку **Schematic Options... - Свойства схемы**. В появившемся одноименном окне выбрать закладку **Grid – Сетка**, в которой отметить галочками ☒ опции **Show grid – Показать сетку** и **Use grid – Использовать сетку**. В результате на рабочем поле появится сетка.




### 3.1.4 Установка, перемещение копирование, вырезание и удаление компонента

Компоненты на рабочее поле вытягиваются мышкой из панелей компонентов. Для этого указатель мышки помещается на иконку нужного элемента, нажимается и удерживается левая кнопка мыши, перемещением которой выбранный компонент помещается в предназначенное для него место рабочего поля и отпускается кнопка мыши.

Если необходимо дополнительно переместить компонент, то следует поместить на него указатель мыши и, когда он примет вид руки , нажать левую клавишу и, удерживая ее, переместить компонент в нужное место.

Для вырезания, копирования или удаления объекта следует выделить его, нажать правую кнопку мыши и выбрать в ниспадающем меню соответственно строку **Cut**, **Copy** или **Delete**.

### 3.1.5 Ориентация (вращение) компонентов.

Ориентация компонента (выделенного красным цветом) осуществляется нажатием на кнопки панели инструментов **Rotrte – Вращать** , **Flip Horizontal – Отразить горизонтально**  и **Flip Vertical – Отразить вертикально** .

Второй вариант вращения. Если переместить мышь на компонент, то ее указатель принимает вид руки и после нажатия правой кнопки в ниспадающем меню для требуемой ориентации выбирается соответствующая строка.

### 3.1.6 Свойства компонента (основные)

Поместить на компонент указатель мыши и, когда он примет вид руки, нажать правую кнопку. В выпадающем меню выбрать строку **Component Properties... - Свойства компонента**.

#### 3.1.6.1 Свойства источника ЭДС (Battery Properties)

**Label - Обозначение:**

**Label**  - задается согласно обозначению на схеме;

**Reference ID – Идентификатор**  - устанавливается системой.

**Value – Значение:**

**Voltage (V) – Напряжение (В)**   - задается согласно варианту схемы;

**Voltage tolerance – Погрешность**  % - общая установка системы.

#### 3.1.6.2 Свойства источника тока (DC Current Source Properties)

**Label - Обозначение:**

**Label**  - задается согласно обозначению на схеме;

**Reference ID – Идентификатор**  - устанавливается системой.

**Value – Значение:**

**Current (I) – Ток (А)**   - задается согласно варианту схемы;

**Current tolerance – Погрешность**  % - общая установка системы.

#### 3.1.6.3 Свойства резистора (Resistor Properties)

**Label - Обозначение:**

**Label**  - задается согласно обозначению на схеме;

**Reference ID – Идентификатор**  - устанавливается системой.

**Value – Значение:**

**Resistance (R) – Сопротивление**   - задается согласно варианту схемы;

**Resistance tolerance – Погрешность**  % - общая установка.

#### 3.1.6.4 Свойства ключа (Switch Properties)

**Label - Обозначение:**

**Label**  - задается согласно обозначению на схеме;

**Reference ID – Идентификатор**  - устанавливается системой.

**Value – Значение:**

**Key – Клавиша**  - клавиша, нажатие которой переключает ключ, (назначается пользователем или по умолчанию системой – **Space – Пробел**).

#### 3.1.6.5 Свойства вольтметра (Voltmeter Properties)

**Label - Обозначение:**

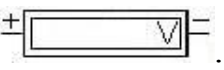
**Label**  - задается согласно обозначению на схеме;

**Reference ID – Идентификатор**  - устанавливается системой.

**Value – Значение:**

**Resistance (R) – Сопротивление**   - задается согласно модели (это внутреннее сопротивление вольтметра и чем он больше тем меньше влияние вольтметра на исследуемую ЭЦ);

**Mode - Режим**  - Direct Current (постоянный ток) по умолчанию.

Клемма со стороны жирной линии – отрицательная .



### 3.1.6.6 Свойства амперметра (Ammeter Properties)

**Label - Обозначение:**

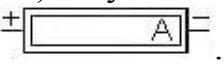
**Label**  - задается согласно обозначению на схеме;

**Reference ID – Идентификатор**  - устанавливается системой.




**Value – Значение:**

**Resistance (R) – Сопротивление**   - задается согласно модели (это внутреннее сопротивление амперметра и чем оно меньше тем незначительнее влияние амперметра на моделируемую ЭЦ);

**Mode - Режим**  - Direct Current (постоянный ток) по умолчанию.

Клемма со стороны жирной линии – отрицательная .

## 3.2 Соединение и вставка компонентов в существующую линию

Для подсоединения вывода компонента к другому или к линии следует подвести указатель мыши  к его выводу и, когда появится точка , нажать левую клавишу, удерживая которую вытянуть соединительную линию до вывода следующего компонента или линии. В точке подсоединения к линии появляется узел “”. Если точка, к которой вытянута линия, находится близко к выводу компонента, то соединительная линия не подключается и узел не образуется.

Компонент можно вставить в существующую линию, если позволяет расстояние между соседними компонентами.

Для вставки компонента необходимо сориентировать его выводы параллельно линии, а затем переместить компонент до совпадения его выводов с линией.






Проверку соединения можно осуществить перемещением компонента. При этом линии вытягиваются, но не отрываются.




## 3.3 Сборка исходной схемы

Сборка моделируемой ЭЦ (рисунок 1), в нотации EWB (рисунок 13), выполняется следующим образом.

Для идентификации модели и исходной схемы ЭЦ желательно обеспечить геометрическое сходство их топологий.

Для измерения токов в каждую ветвь следует установить амперметр.

3.3.1 Компоненты ветвей (резисторы, источники и измерительные приборы) следует нумеровать согласно номеру ветви и устанавливать значения их величин согласно исходной схеме. Например, вытянув из панели компонентов **Basic**  на рабочий стол **Resistor** , который соответствует резистору  $R'_1$ , следует задать его местоположение и ориентацию, перемещая мышкой в предполагаемое место на схеме и вращая или отражая его вертикально либо горизонтально. Затем необходимо установить значение сопротивления резистора   и обозначение .

3.3.2 Установить в требуемом местоположении следующий компонент, например, резистор, соответствующий  $R''_1$ , сориентировать его и задать его свойства (например, значение сопротивления   и обозначение .

3.3.3 Вытянуть на рабочий стол амперметр для измерения тока в первой ветви. Сориентировать его выводы, учитывая полярность.

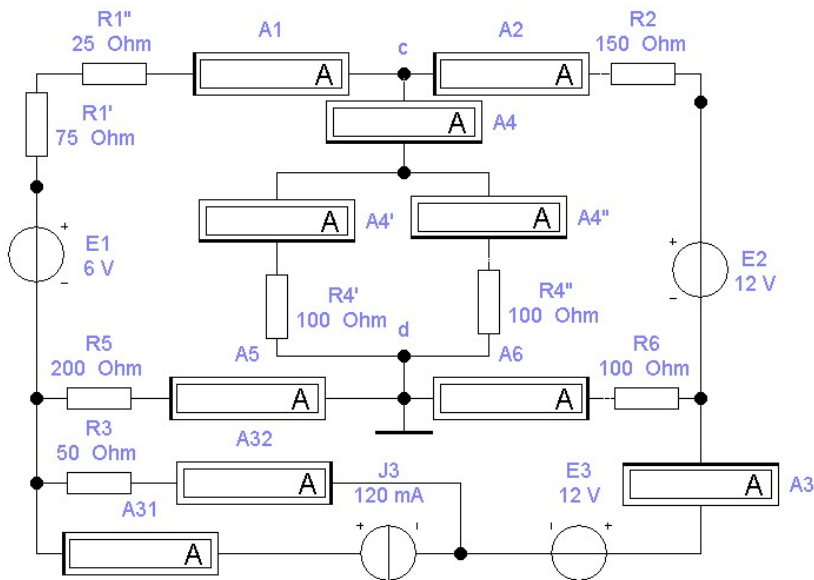


Рисунок 13 – Схема модели ЭЦ в EWB

Действуя таким образом поместить на рабочий стол компоненты ветвей.

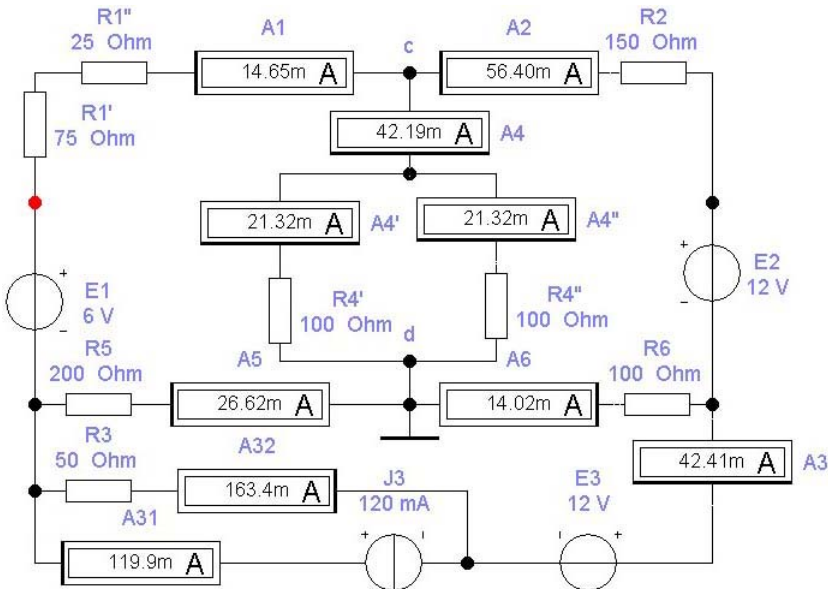


Рисунок 14 – Результаты моделирования

Поместить указатель мыши на установленный амперметр и задать его свойства (обозначение **A1** и внутреннее сопротивление **1 pΩ**).

3.3.4 Поместить на поле чертежа источник ЭДС  $E_1$  и задать его свойства (значение напряжения 6 В, обозначение **E1**).

3.3.5 Соединить компоненты первой ветви согласно пп. 3.2 (подвести его выводу указатель мыши ↖ к и, когда появится точка ●, нажать левую клавишу, удерживая которую вытянуть соединительную линию до вывода следующего компонента или линии).

Соединить элементы ветвей между собой и ветви друг с другом в соответствии с исходной схемой.


3.3.6 По окончании сборки схемы необходимо активировать моделирование, нажав кнопку **1** клавиши **Activate simulation** , и, когда показания приборов установятся (рисунок 14), остановить моделирование, нажав **0** этой же клавиши, или приостановить, щелкнув по клавише **Pause**. Показания измерительных приборов занести в таблицу 3 и сравнить с результатами расчетов по относительной погрешности.

Таблица 3 – Результаты расчетов и моделирования

Метод	$I_1$ , мА	$I_2$ , мА	$I_3$ , мА	$I_4$ , мА	$I_5$ , мА	$I_6$ , мА
ЗК <sub>Maple</sub>	14.69387756	56.32653061	41.63265308	41.63265305	26.93877552	14.69387753
EWB	14.65000000	56.40000000	42.41000000	42.19000000	26.62000000	14.02000000
$\epsilon_{EWB}$	0.002986112	-0.001304348	-0.018671568	-0.013387255	0.011833334	0.045861110

Сравнение результатов расчета и моделирования показывает, что относительная погрешность моделирования менее 0.04586111 или 4.59 %.

### 3.4 Опыты холостого хода и короткого замыкания

Для сравнения результатов расчета тока в первой ветви по МЭГ необходимо выполнить опыты хода и короткого замыкания. С этой целью из схемы удаляются резистор или резисторы (в варианте «Тест» резисторы  $R'_1$  и  $R''_1$ ) и устанавливаются ключ и вольтметр (например, **S1** и **V1** (рисунки 15). Если при помощи ключа с узлом е соединен вольтметр **V1**, то это будет соответствовать ОХХ, а если амперметр **A1**, то ОКЗ.



Таблица 5 - Результаты расчета и измерения потенциалов

Узел	d≡4	a≡1	e	c≡2	f	b≡3	d≡4
R, Ом	0	200	100	300	450	450	550
$\varphi_{Maple}$ , В	0	-5.387755104	0.612244896	2.081632652	10.53061224	-1.469387760	$-7 \cdot 10^{-9}$
$\varphi_{EWB}$ , В	0	-5.324000000	0.670300000	2.145000000	10.630000000	-1.402000000	0
$\varepsilon_{EWB}$	0	0.003005259	-0.031926003	-0.004662005	-0.005644403	0.020684736	-

По данным таблицы 4 видно, что относительная погрешность моделирования не превышает 0.031926003 или 3.19 %.

#### 4 Требования к содержанию отчетов

##### 4.2 Отчет по лабораторной работе, сдается в электронном виде в формате Word.

###### 4.2.1 Отчет включает в себя:

- 1) титульный лист;
- 2) цель работы;
- 3) исходная схема ЭЦ до упрощения с показаниями амперметров (рисунок 14);
- 4) таблица с результатами расчетов ЭЦ в РГР, моделирования и расчета относительной погрешности моделирования (таблица 3);
- 5) схемы опытов ХХ и КЗ с показаниями измерительных приборов (рисунки 15);
- 6) таблица с результатами расчетов ЭЦ в РГР по МЭГ, моделирования опытов ХХ и КЗ, и расчета относительной погрешности моделирования (таблица 4);
- 7) схема измерения потенциалов (рисунок 16);
- 8) таблица с результатами расчетов ПД в РГР, измерения потенциалов в EWB, и расчета относительной погрешности моделирования (таблица 5).
- 9) выводы по сравнению результатов расчетов аналитических (в РГР) и моделирования в EWB (по таблицам 3 – 5).

###### 4.2.2 К отчету прилагаются файлы EWB со схемами:

- измерения токов (рисунок 14);
- опытов ХХ и КЗ (рисунок 15);
- измерения потенциалов (рисунок 16).

**5 Контрольные вопросы и тесты** к защите расчетно-графической и лабораторной работ составлены на основе применения к расчету ЭЦ:

- законов Ома и Кирхгофа;
- эквивалентных преобразований пассивных и активных ЭЦ;
- методов контурных токов, узловых потенциалов, эквивалентного генератора и наложения.
- баланса мощностей;
- анализа режимов работы простейшей цепи постоянного тока (активного двухполюсника).

#### 6 Литература

- 1 Панфилов Д.И. и др. Электротехника и электроника в экспериментах и упражнениях: Лаборатория на компьютере: В 2 т./Под общ. ред. И.Панфилова. – Т.1: Электротехника.- 2-е изд.-М.: Изд-во МЭИ, 2004.-304 с.
- 2 Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи: Учебник для вузов.-9-е изд. перераб., доп.-М.: Высш.шк.,1996.-638 с.: ил.
- 3 Сборник задач по ТОЭ: Учеб. пособие для вузов/ Под ред. Л.А. Бессонова.- 4-е изд., перераб.-М.:Высш.шк.,2000.-528 с.: ил.
- 4 Зевеке Г.В. Основы теории цепей: Учебник для вузов. - 5-е изд., перераб.- М.: Энергоатомиздат, 1989.-528 с.ил.

Приложение А  
Обязательное  
Таблица П1 – Варианты исходных данных

Вариант	Рисунок	$R_1$	$R_2$	$R_3$	$R_4$	$R_5$	$R_6$	$R_7$	$R_8$	$E_1$	$E_2$	$E_3$	$J_1$	$J_2$	$J_3$
		Ом								В			А		
1	1.15	19,5	7,5	13,5	21	21	15	4	2	—	9	45	—	0,8	0
2	1.1	19,5	7,5	3	1	11	16,5	30	90	—	12	30	—	0,8	0
3	1.16	6	12	9	10	5	19,5	16	240	—	21	22,5	—	2	0
4	1.11	30	120	150	210	70	225	12	48	—	90	375	—	0,5	0
5	1.17	15	27	7,5	14	1	12	13,5	27	—	16,5	52,5	—	0,5	0
6	1.3	6	19,5	13,5	10	5	7,5	36	12	—	16,2	15	—	0,4	0
7	1.7	195	60	90	150	600	165	40	27,5	10,2	37,5	—	0,04	0	—
8	1.20	9	7,5	12	22,5	315	10,5	0	12	—	15	33	—	2	0
9	1.8	82,5	120	150	20	40	105	504	280	—	25,5	22,5	—	0,1	0
10	1.10	165	90	67,5	25	200	120	100	300	21	21	—	0,1	0	—
11	1.9	10,5	18	6	10	3,5	22,5	15	60	—	12	15	—	1	0
12	1.18	45	60	33	60	20	21	50	25	—	16,5	22,5	—	0,3	0
13	1.12	22,5	18	15	135	15	12	5,5	5	15	30	—	0,2	0	—
14	1.4	18	52,5	33	6	3	15	90	30	—	9	18	—	0,4	0
15	1.13	6	10,5	15	11	7	30	16,5	16,5	—	9	30	—	2	0
16	1.5	6	16,5	7,5	6	12	10,5	36	18	25,5	15	—	2	0	—
17	1.14	13,5	30	24	90	180	45	12	21	—	15	27	—	1	0
18	1.6	7,5	15	18	5	5,5	12	24	360	—	15	37,5	—	0,5	0
19	1.19	7,5	10,5	15	5	1	22,5	42	105	15	—	45	1	—	0
20	1.2	12	15	9	36	60	31,5	31	8	25,5	—	30	1	—	0
21	1.15	6,5	2,5	4,5	3,5	∞	5	1	1	—	4	15	—	0,4	0
22	1.1	6,5	2,5	1	4	0	5,5	10	30	—	5	10	—	0,4	0
23	1.16	2	4	3	2	3	6,5	7	17,5	—	11	7,5	—	1	0
24	1.11	10	40	50	140	20	75	15	5	—	34	125	—	0,4	0
25	1.17	5	9	2,5	3	2	4	9	4,5	—	8,2	17,5	—	0,2	0
26	1.3	2	6,5	4,5	1	4	2,5	7,5	5	—	6,7	5	—	0,2	0
27	1.7	65	20	30	60	120	55	12,5	10	4,7	12,5	—	0,02	0	—
28	1.20	3	2,5	4	105	7,5	3,5	2	2	—	7,5	11	—	1	0
29	1.8	27,5	40	50	12	8	35	150	100	—	6,5	7,5	—	0,15	0
30	1.10	55	30	22,5	60	15	40	50	50	8,1	7	—	0,08	0	—
31	1.9	3,5	6	2	3	1,5	7,5	12	6	—	7	5	—	0,5	0
32	1.18	15	20	11	30	6	7	10	15	—	7,5	7,5	—	0,2	0
33	1.12	7,5	6	5	5	45	4	1,5	2	3,5	10	—	0,4	0	—
34	1.4	6	17,5	11	2	1	5	30	10	—	6,5	6	—	0,2	0
35	1.13	2	3,5	5	5	1	10	∞	2,75	—	6,5	10	—	1	0
36	1.5	2	5,5	2,5	0	6	3,5	12	6	10,5	5	—	1	0	—
37	1.14	4,5	10	8	100	25	15	6	5	—	10	9	—	0,5	—
38	1.6	2,5	5	6	2	1,5	4	∞	7,5	—	6	12,5	—	0,3	0
39	1.19	2,5	3,5	5	1	1	7,5	14	35	7	—	15	0,2	—	0
40	1.2	4	5	3	12	20	10,5	9	4	10,5	—	10	0,5	—	0
41	1.15	26	10	18	26,25	30	20	3	5	—	20	24	—	0	2
42	1.1	26	10	4	12	4	22	40	120	—	24	32	—	0	2
43	1.16	8	16	12	10	10	26	220	22	—	60	24	—	0	0,5
44	1.11	40	160	200	120	168	300	40	40	—	200	200	—	0	1,5
45	1.17	20	36	10	8	12	16	18	36	—	40	40	—	0	3
46	1.3	8	26	18	17	3	10	60	15	—	32	11	—	0	0,5
47	1.7	260	80	120	200	800	220	70	20	24	34	—	0	0,2	—
48	1.20	12	10	16	420	30	14	15	1	—	40	12	—	0	2
49	1.8	110	160	200	60	20	140	360	720	—	50	22	—	0	0,04
50	1.10	220	120	90	150	150	160	100	∞	50	22	—	0	0,05	—
51	1.9	14	24	8	11	7	30	80	20	—	40	12	—	0	1
52	1.18	60	80	44	40	40	28	50	50	—	46	8	—	0	0,5
53	1.12	30	24	20	180	20	16	10	4	26	28	—	0	0,5	—
54	1.4	24	70	44	5	7	20	40	120	—	40	19,6	—	0	0,1
55	1.13	8	14	20	10	14	40	132	12	—	40	10	—	0	1,5
56	1.5	8	22	10	10	14	14	16	∞	50	16,6	—	0	0,2	—
57	1.14	18	40	32	160	160	60	20	24	—	60	28	—	0	0,25
58	1.6	10	20	24	6	8	16	32	480	—	30	38	—	0	0,5
59	1.19	10	14	20	2	6	30	∞	40	30	—	20	0	—	2
60	1.2	16	20	12	80	48	42	25	27	50	—	34	0	—	0,5

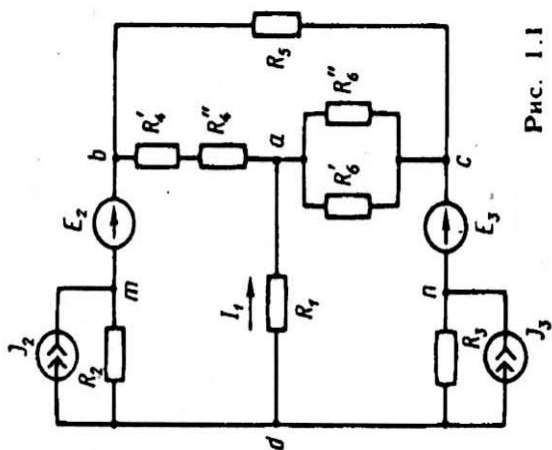


Рис. 1.1

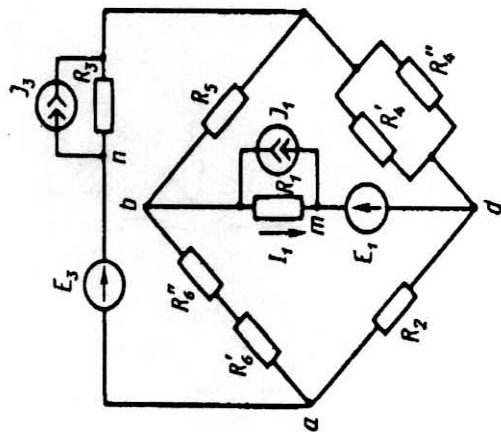


Рис. 1.2

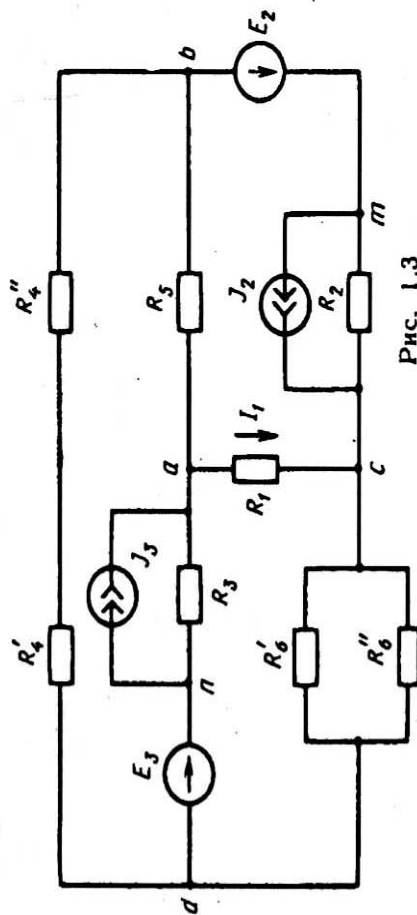


Рис. 1.3

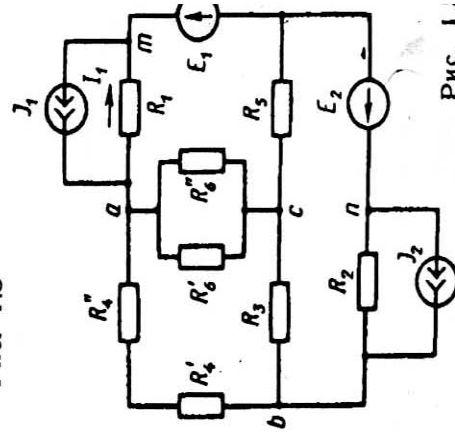


Рис. 1.4

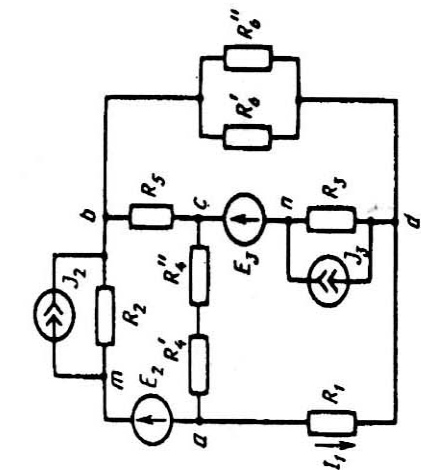


Рис. 1.6

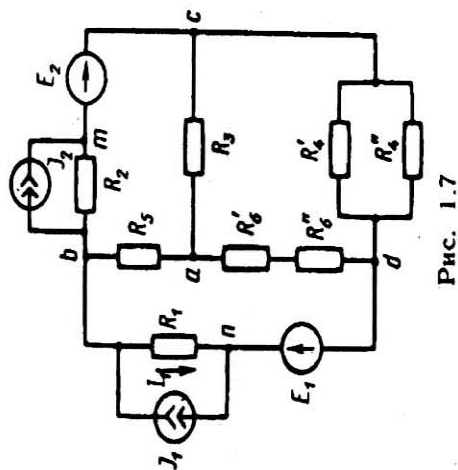


Рис. 1.7

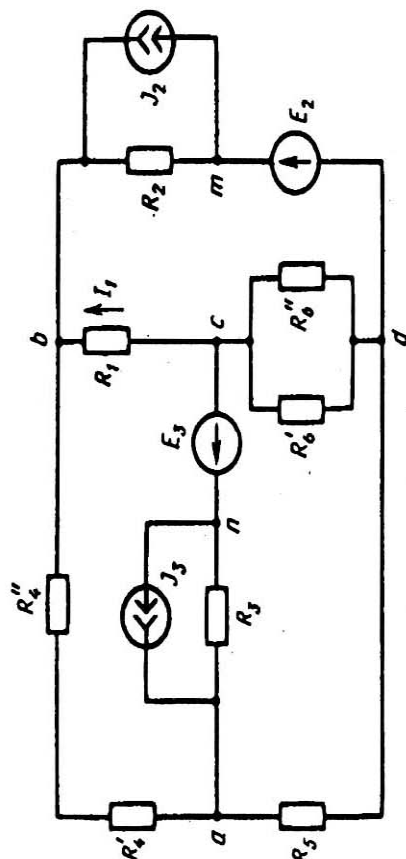


Рис. 1.8

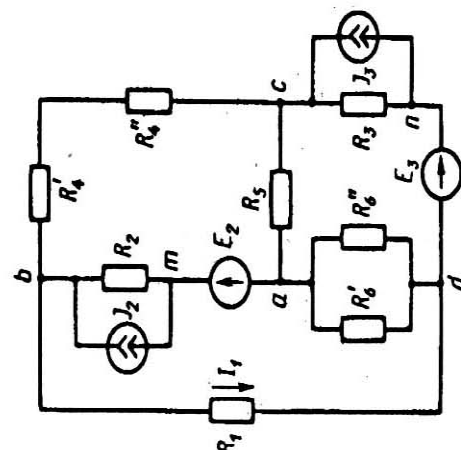


Рис. 1.9

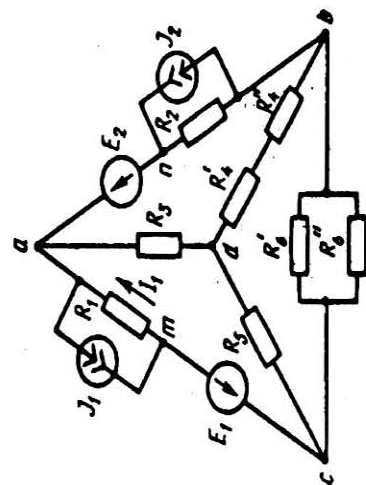


Рис. 1.10

