

ВВЕДЕНИЕ

Предлагаемое пособие предназначено для студентов, изучающих дисциплины «Электротехника», «Электротехника и электроника», «Общая электротехника и электроника», «Электротехника, электроника и схемотехника» и др. Изучаемые дисциплины отличаются объемом и содержанием, поэтому в пособие включены девять разделов по основным темам для строительных, горно-металлургических, машиностроительных и технологических вузов и факультетов.

Цель данного пособия — оказать помощь студентам при выполнении домашних заданий и контрольных работ.

Пособие содержит основные сведения из теории цепей постоянного и переменного токов в объеме, достаточном для понимания физических процессов и выполнения расчетов. Описание устройства и характеристик трансформаторов, машин постоянного тока, асинхронных машин, составляющих основное электротехническое оборудование предприятий, позволяет правильно оценить происходящие в них электромагнитные явления и рационально решить многие задачи электрификации различных объектов. Приведенные основные положения теории электропривода позволяют правильно выбрать двигатель для различных режимов работы, а описанные схемы автоматического управления двигателями — наиболее рациональную из них в соответствии с требованиями технологического процесса энергетического машинного устройства. Электронные устройства — широко распространенные выпрямители, усилители и др. — рассмотрены в объеме, позволяющем студенту-неэлектрику выполнять простейшие расчеты.

В пособие включены примеры и задачи по общим вопросам электротехники и основам электроники, а также задачи, имеющие практический интерес. Учебный материал изложен автором на основе многолетнего опыта преподавания в Донском государственном техническом университете.

Задачи, приведенные в пособии, отличаются условиями и данными, поэтому приемы их решения разнообразны. Однако можно рекомендовать следующий порядок решения большинства задач после изучения лекционного материала:

- прочитать условие задачи и установить, какие величины известны, а какие следует определить;
- записать числовые данные условия задачи и их единицы измерения, при необходимости привести к основным единицам системы СИ;
- записать величины, подлежащие определению;
- составить электрическую схему (если она не дана по условию задачи) и указать на ней направление напряжений и токов;
- найти и проанализировать необходимые для решения формулы, при необходимости сделать преобразования для определения искомой величины;
- выполнить вычисления по формулам с точностью до второго знака после запятой.

1. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

1.1. Области применения электрической энергии постоянного тока

1. Питание электродвигателей постоянного тока (трамвайных, троллейбусных, метро, различных подъемников, стартеров, стеклоочистителей, вентиляторов автомобилей, швейных машин и т. д.).
2. Технологические процессы, возможные только на постоянном токе (например, электролиз).
3. Зарядка аккумуляторных батарей.
4. Питание электромагнитов, ламп освещения и реле.

1.2. Основные понятия и определения

Совокупность соединенных друг с другом источников электрической энергии и приемников, по которым может протекать электрический ток, называется электрической цепью.

Изображение электрической цепи на рисунке с помощью условных обозначений называется электрической схемой.

Элементы электрических цепей подразделяются на пассивные (рис. 1.1 a – e) и активные (рис. 1.1 g – $ж$).

Следует заметить, что внутреннее сопротивление идеального источника ЭДС равно нулю ($r_0 = 0$), а внутреннее сопротивление идеального источника тока равно бесконечности ($r_0 = \infty$). При необходимости можно преобразовать источник ЭДС в источник тока, т. е. перейти от схемы $д$ к схеме $ж$ рисунка 1.1. Возможен и обратный переход. Эквивалентные преобразования осуществляются по следующим формулам:

$$I = \frac{E}{r_0} \text{ и } E = I \cdot r_0,$$

где I — ток источника тока;

E — ЭДС источника ЭДС.

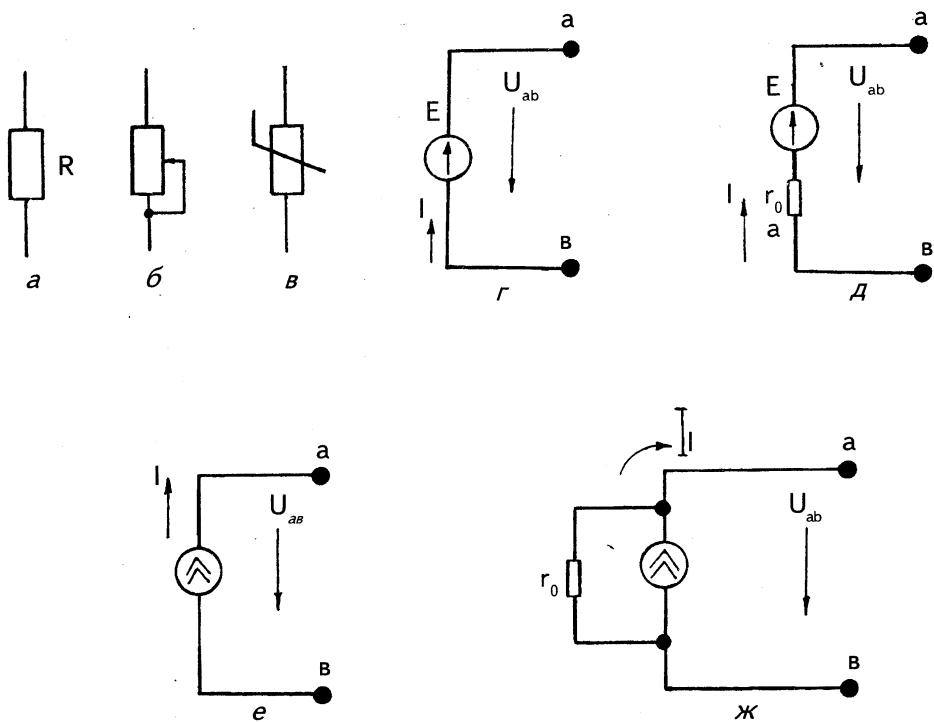


Рис. 1.1

Условные графические обозначения некоторых элементов электрических схем:

а — резистора; *б* — переменного резистора; *в* — нелинейного резистора; *г* — идеального источника электродвижущей схемы (ЭДС); *д* — реального источника ЭДС; *е* — идеального источника тока; *ж* — реального источника тока.

На практике чаще всего преобразуется источник тока в источник ЭДС для упрощения расчетов схемы.

Зависимость тока от напряжения называется вольт-амперной характеристикой. ВАХ изображают графически: по оси ординат откладывается ток, по оси абсцисс — напряжение.

Проанализировав ВАХ (рис. 1.2 и 1.3), можно сделать выводы, что напряжение на зажимах идеального источника ЭДС не зависит от тока, протекающего по источнику, а ток идеального источника тока не зависит от напряжения на его зажимах.

Линейными электрическими цепями называются цепи, состоящие из линейных элементов, т. е. элементов, имеющих ВАХ в виде прямой линии. Цепь,

содержащая хотя бы один нелинейный элемент, называется нелинейной. Нелинейные элементы имеют ВАХ в виде кривой линии.

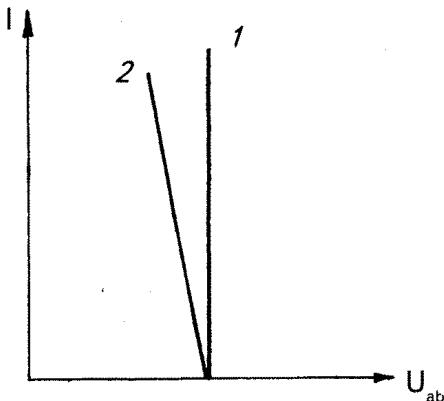


Рис. 1.2
ВАХ:

1 — идеального источника ЭДС; 2 — реального источника ЭДС.

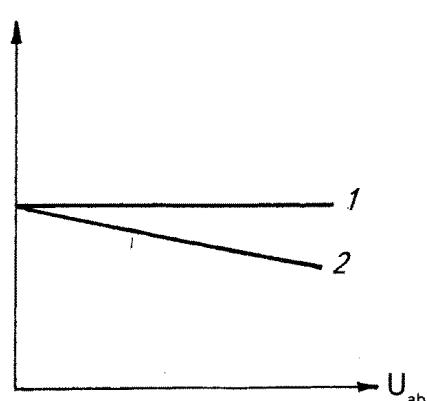


Рис. 1.3
ВАХ:

1 — идеального источника тока; 2 — реального источника тока.

Линейными электрическими цепями называются цепи, состоящие из линейных элементов, т. е. элементов, имеющих вольт-амперную характеристику (ВАХ) в виде прямой линии. Цепь, содержащая хотя бы один нелинейный элемент, называется нелинейной. Нелинейные элементы имеют ВАХ в виде кривой линии.

Электрические цепи подразделяются на неразветвленные и разветвленные. В неразветвленной цепи по всем ее элементам протекает один и тот же ток (рис. 1.4). В разветвленной цепи (рис. 1.5) ток I_1 разветвляется на два тока: I_2 и I_3 . Данная схема имеет два узла и три ветви.

Узлом называется точка соединения трех и более ветвей.

Ветвью называется участок цепи, заключенный между двумя узлами, по которому протекает один и тот же ток. Различают активную ветвь и пассивную ветвь. Активная ветвь содержит источник или источники электрической энергии, пассивная ветвь не содержит источников ЭДС и тока.

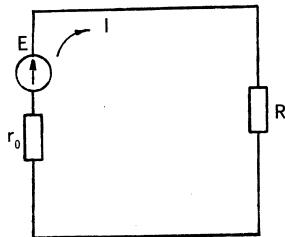


Рис. 1.4
Неразветвленная цепь

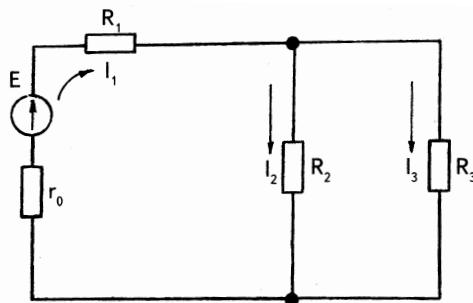


Рис. 1.5
Разветвленная цепь постоянного тока

1.3. Закон Ома для участка цепи, не содержащего ЭДС

Закон Ома устанавливает связь между током и напряжением на некотором участке цепи. Так, применительно к участку цепи (рис. 1.6) запишем:

$$I = \frac{\Phi_a - \Phi_b}{R} = \frac{U_{ab}}{R}.$$

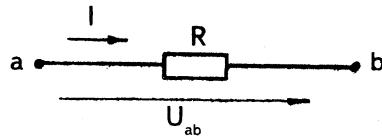


Рис. 1.6
Участок цепи, не содержащий ЭДС

1.4. Закон Ома для участка цепи, содержащего ЭДС

Закон Ома для участка цепи, содержащего ЭДС (рис. 1.7), позволяет найти ток по известной разности потенциалов ($\Phi_a - \Phi_c$) на концах участка цепи:

$$I = \frac{\Phi_a - \Phi_c + E}{R} = \frac{U_{ac} + E}{R}.$$

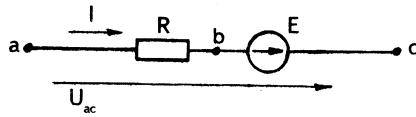


Рис. 1.7
Участок цепи, содержащий ЭДС

Если ЭДС E имеет противоположное направление, то

$$I = \frac{U_{ac} - E}{R}.$$

1.5. Первый закон Кирхгофа

Алгебраическая сумма токов в узле равняется нулю (рис. 1.8):

$$\Sigma I = 0,$$

$$I_1 - I_2 - I_3 - I_4 = 0 \text{ или } I_1 = I_2 + I_3 + I_4.$$

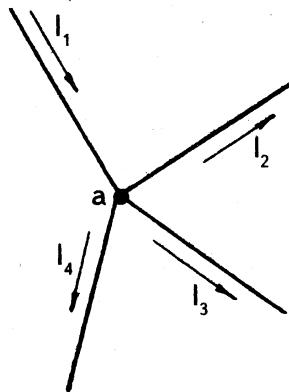


Рис. 1.8
Узел электрической цепи

1.6. Второй закон Кирхгофа

Алгебраическая сумма падений напряжений в любом замкнутом контуре равняется алгебраической сумме ЭДС вдоль того же контура:

$$\Sigma IR = \Sigma E,$$

или алгебраическая сумма напряжений вдоль любого замкнутого контура равна нулю:

$$\Sigma U_x = 0.$$

Любой замкнутый путь, проходящий по нескольким ветвям, называется контуром. Так, для схемы 1.9 имеем

$$I_3 R_3 + I_3 R_4 + I_1 R_1 - U_{da} = 0.$$

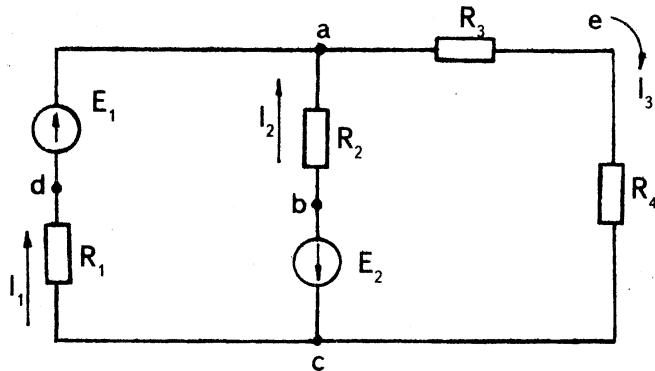


Рис. 1.9

Схема двухконтурной цепи постоянного тока

1.7. Составление уравнений для расчета токов в схемах при помощи законов Кирхгофа

Законы Кирхгофа используются для нахождения токов в ветвях схемы. Так как в каждой ветви схемы протекает свой ток, то число неизвестных токов равняется числу ветвей схем. Перед тем как составлять уравнения, необходимо:

- 1) произвольно выбрать положительные направления токов в ветвях и обозначить их на схеме;
- 2) выбрать положительные направления обхода контуров для составления уравнений по второму закону Кирхгофа.

Для единства рекомендуется положительные направления обхода контуров выбрать одинаковыми для всех контуров, например по часовой стрелке.

Обозначим число ветвей схем буквой b , а число узлов — u . Для того чтобы получить линейно-независимые уравнения, по первому закону Кирхгофа составляется число уравнений, равное числу узлов минус единица, т. е. $u - 1$. По второму закону Кирхгофа составляется число уравнений, равное числу ветвей за

вычетом числа уравнений, составленных по первому закону Кирхгофа, т. е. $b - (y - 1)$.

При составлении уравнений по второму закону Кирхгофа необходимо следить за тем, чтобы были охвачены все ветви схемы.

Рассмотрим применение законов Кирхгофа для схемы (рис. 1.9). Произвольно выбираем положительные направления токов и обозначаем их на схеме. В схеме два узла, следовательно, по первому закону Кирхгофа достаточно составить только одно уравнение

$$I_1 + I_2 = I_3.$$

По второму закону Кирхгофа необходимо составить два уравнения: $b - (y - 1) = 3 - (2 - 1)$. Положительные направления обхода контуров выбираем по часовой стрелке.

Для контура $R_1 E_1 R_2 E_2$: $I_1 R_1 - I_2 R_2 = E_1 + E_2$.

Знак «плюс» перед $I_1 R_1$ взят потому, что направление тока I_1 совпадает с направлением обхода контура. Знак «минус» перед $I_2 R_2$ — потому, что направление I_2 встречно обходу контура. Для контура $E_2 R_2 R_3 R_4$:

$$I_2 R_2 + I_3 (R_3 + R_4) = -E_2.$$

Поскольку положительные направления токов выбираются произвольно, то в результате расчета один или несколько токов могут оказаться отрицательными, т. е. в реальной схеме эти токи протекают в обратном направлении.

1.8. Энергетический баланс в электрических цепях

На основании закона сохранения энергии количество тепла, выделяющегося в единицу времени в резисторах схемы, должно равняться энергии, доставляемой за это же время источником питания:

$$\sum P_{\text{потр}} = \sum P_{\text{ист}}.$$

Мощность потребителей вычисляется по следующим формулам:

$$P_{\text{потреб}} = I^2 R = \frac{U^2}{R} = UI,$$

где R — сопротивление потребителя;

I — ток, проходящий по потребителю;

U — напряжение на потребителе.

Например, для схемы на рисунке 1.10 уравнение баланса мощностей имеет вид

$$I_2 (R_1 + R_2 + R_3) = (E_1 + E_2) I.$$

Если схема питается не только от источников ЭДС, но и от источников тока, то при составлении энергетического баланса необходимо учитывать энергию, доставленную источниками тока.

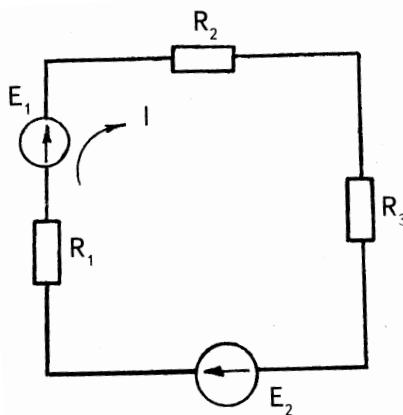


Рис. 1.10

Цепь постоянного тока с двумя источниками питания
и тремя потребителями

1.9. Методы преобразования электрических схем

Методы преобразования применяются для упрощения расчетов электрических схем. Если два резистора соединены последовательно (рис. 1.11), то их можно представить одним эквивалентным (рис. 1.12):

$$R_{\text{экв}} = R_1 + R_2.$$

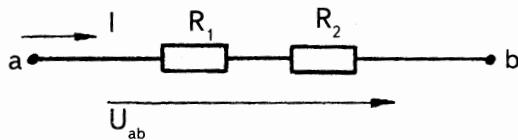


Рис. 1.11

Последовательное соединение резисторов

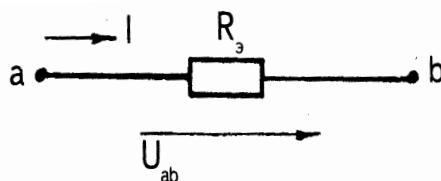


Рис. 1.12

Эквивалентная схема

При этом ток I в данной ветви не изменяется. Аналогичным образом производится расчет при соединении трех и более резисторов.

Если два резистора соединены параллельно (рис. 1.13), то их также можно представить одним эквивалентным (рис. 1.14):

$$\frac{1}{R_s} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}; R_s = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}.$$

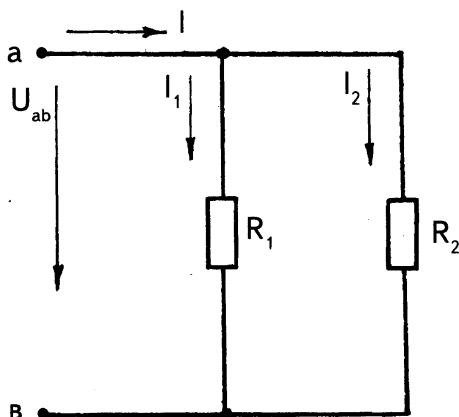


Рис. 1.13

Параллельное соединение

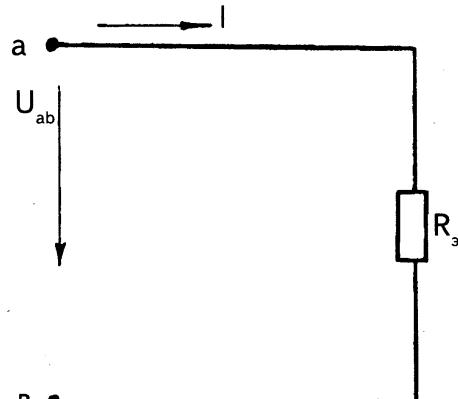


Рис. 1.14

Эквивалентная схема резисторов

1.10. Эквивалентные преобразования звезды и треугольника резисторов

При расчете электрических цепей часто возникает необходимость в переходе от трехлучевой звезды резисторов (рис. 1.15) к треугольнику резисторов (рис. 1.16) и обратно.

Это преобразование должно быть эквивалентным, т. е. сопротивления между точками цепи 1 и 2, 2 и 3, 3 и 1 должны быть соответственно одинаковыми в обоих видах соединений.

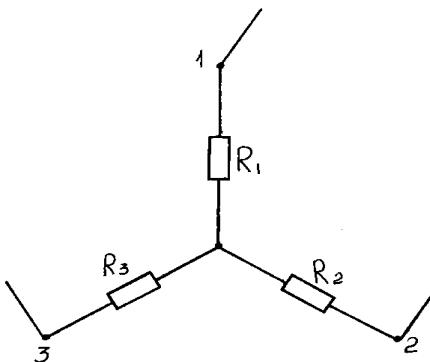


Рис. 1.15
Звезда резисторов

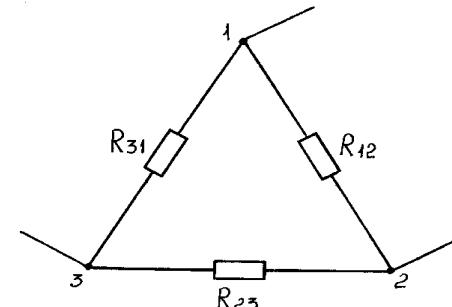


Рис. 1.16
Треугольник резисторов

Для схем на рисунках 1.15 и 1.16 получаем:

$$R_1 = \frac{R_{12} \cdot R_{31}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}; \quad R_{12} = R_1 + R_2 + \frac{R_1 \cdot R_2}{R_3};$$

$$R_2 = \frac{R_{23} \cdot R_{12}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}; \quad R_{23} = R_2 + R_3 + \frac{R_2 \cdot R_3}{R_1};$$

$$R_3 = \frac{R_{31} \cdot R_{23}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}; \quad R_{31} = R_3 + R_1 + \frac{R_3 \cdot R_1}{R_2}.$$

1.11. Замена нескольких параллельных ветвей, содержащих источники ЭДС, одной эквивалентной

Участок цепи на рисунке 1.17 эквивалентен участку цепи на рисунке 1.18, если при любых значениях тока I , проходящего по не показанной на рисунках части схемы, напряжение на зажимах a и b в обеих схемах будет одинаковым.

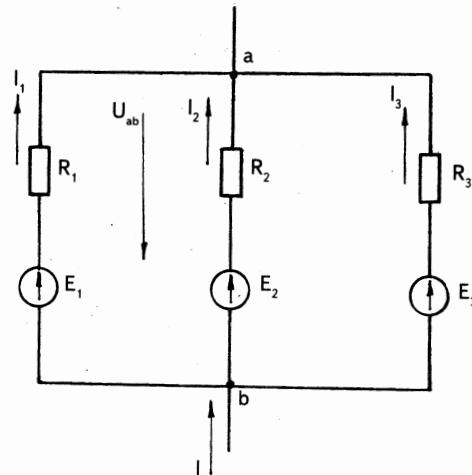


Рис. 1.17

Участок цепи постоянного тока
с тремя источниками ЭДС



Рис. 1.18

Эквивалентная схема

Эквивалентная проводимость равна сумме проводимостей всех ветвей:

$$g_s = g_1 + g_2 + g_3 = \sum_{k=1}^n g_k,$$

а эквивалентное сопротивление:

$$R_s = \frac{1}{g_s}.$$

Эквивалентная ЭДС:

$$E_s = \frac{E_1 g_1 + E_2 g_2 + E_3 g_3}{g_1 + g_2 + g_3} = \frac{\sum_{k=1}^n E_k g_k}{\sum_{k=1}^n g_k}.$$

1.12. Замена нескольких параллельных ветвей, содержащих источники тока, одной эквивалентной

Если несколько источников тока соединены параллельно (рис. 1.19), то они могут быть представлены одним эквивалентным (рис. 1.20):

$$I_s = I_1 - I_2 + I_3 = \sum_{k=1}^n I_k.$$

Эквивалентная проводимость цепи:

$$g_s = g_1 + g_2 + g_3 = \sum_{k=1}^n g_k.$$

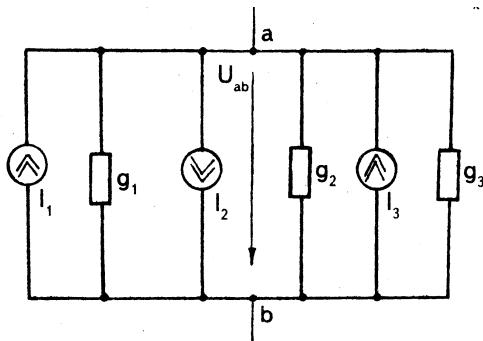


Рис. 1.19

Участок цепи постоянного тока

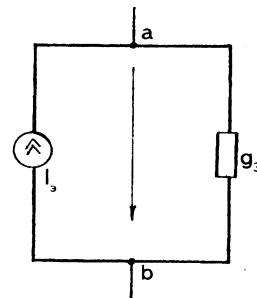


Рис. 1.20

Эквивалентная схема с тремя источниками тока

1.13. Режимы работы электрической цепи (линии электропередачи)

Основными режимами работы электрической цепи (рис. 1.21) являются следующие:

- 1) режим номинальной нагрузки (номинальный режим);
- 2) режим холостого хода;
- 3) согласованный режим;
- 4) режим короткого замыкания.

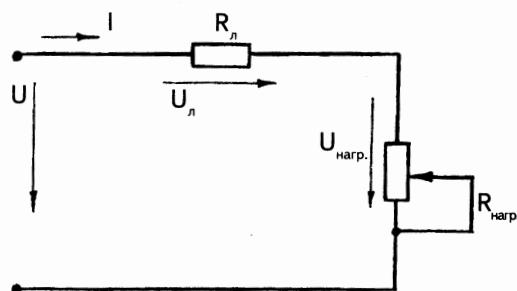


Рис. 1.21

Линия электропередачи постоянного тока

Остальные режимы являются промежуточными. Для всех режимов работы справедливы следующие уравнения.

Конец ознакомительного фрагмента.
Приобрести книгу можно
в интернет-магазине
«Электронный универс»
e-Univers.ru