

## Лабораторная работа № 3.3

# ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ МОЩНОСТИ И КПД ИСТОЧНИКА ПОСТОЯННОГО ТОКА ОТ ВНЕШНЕЙ НАГРУЗКИ

### 3.3.1. Цель работы

Целью работы является знакомство с компьютерным моделированием цепей постоянного тока и исследование зависимости мощности и КПД источника постоянного тока от сопротивления внешней цепи.

### 3.3.2. Краткая теория

На рис. 3.3.1 изображена замкнутая электрическая цепь.

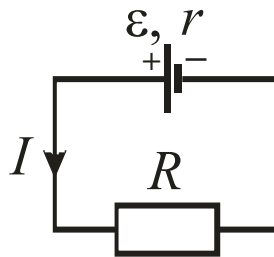


Рис. 3.3.1. Замкнутая (полная) цепь

По закону Ома для полной цепи сила тока в цепи прямо пропорциональна электродвижущей силе  $\varepsilon$  источника тока (ЭДС), включенного в цепь, и обратно пропорциональна сумме внешнего  $R$  сопротивления цепи и внутреннего  $r$  сопротивления источника тока.

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r}. \quad (3.3.1)$$

Мощность, выделяемая во внешней цепи

$$P_1 = I^2 R = \frac{\varepsilon^2}{(R + r)^2} R. \quad (3.3.2)$$

Из формулы (3.3.2) видно, что при коротком замыкании цепи ( $R \rightarrow 0$ ) и при  $R \rightarrow \infty$  эта мощность равна нулю. При всех других конечных значениях  $R$  мощность  $P_1 > 0$ . Следовательно, функция  $P_1$  имеет максимум. Значение  $R_0$ , соответствующее максимальной мощности, можно получить, дифференцируя  $P_1$  по  $R$  и приравнявая первую производную к нулю

$$\frac{dP_1}{dR} = \frac{\varepsilon^2[(R_0 + r)^2 - 2(R_0 + r)R]}{(R_0 + r)^4} = 0. \quad (3.3.3)$$

Из формулы (3.3.3) с учётом того, что  $R$  и  $r$  всегда положительны, а  $\varepsilon \neq 0$ , после несложных алгебраических преобразований получим:

$$R_0 = r. \quad (3.3.4)$$

Следовательно, *мощность, выделяемая во внешней цепи, достигает наибольшего значения при сопротивлении внешней цепи, равном внутреннему сопротивлению источника тока.*

При этом сила тока в цепи равна половине тока короткого замыкания.

$$I = \frac{\varepsilon}{2r} = \frac{I_{\text{кз}}}{2}. \quad (3.3.5)$$

Тогда мощность, выделяемая во внешней цепи, достигает своего максимального значения, равного

$$P_{1\text{max}} = \frac{\varepsilon^2}{4r}. \quad (3.3.6)$$

Когда источник замкнут на внешнее сопротивление, то ток протекает и внутри источника, при этом на внутреннем сопротивлении источника выделяется некоторое количество тепла. Мощность, затрачиваемая на выделение этого тепла

$$P_2 = I^2 r. \quad (3.3.7)$$

Следовательно, *полная мощность, выделяемая во всей цепи, определится формулой*

$$P_{\text{полн}} = P_1 + P_2 = I^2 R + I^2 r = I^2 (R + r) = I\varepsilon. \quad (3.3.8)$$

*Коэффициент полезного действия (КПД) источника тока*

$$\eta = \frac{P_1}{P_{\text{полн}}} = \frac{R}{R + r}. \quad (3.3.9)$$

Из формулы (3.3.8) следует, что

$$P_1 = P_{\text{полн}} - P_2 = \varepsilon I - I^2 r, \quad (3.3.10)$$

т. е.  $P_1$  меняется с изменением силы тока в цепи по параболическому закону и принимает нулевые значения при  $I = 0$  и при  $I = \frac{\varepsilon}{r}$ . Первое значение

соответствует разомкнутой цепи ( $R \gg r$ ), второе – короткому замыканию ( $R \ll r$ ). Зависимость КПД от силы тока в цепи с учётом формул ((3.3.8) – (3.3.10)) примет вид

$$\eta = \frac{P_1}{P_{\text{полн}}} = \frac{I\varepsilon - I^2r}{I\varepsilon} = 1 - \frac{r}{E}I. \quad (3.3.11)$$

Таким образом, КПД достигает наибольшего значения  $\eta = 1$  в случае разомкнутой цепи ( $I = 0$ ), а затем уменьшается по линейному закону, обращаясь в нуль при коротком замыкании.

Зависимость мощностей  $P_1$ ,  $P_{\text{полн}}$  и КПД источника тока от силы тока в цепи показаны на рис. 3.3.2.

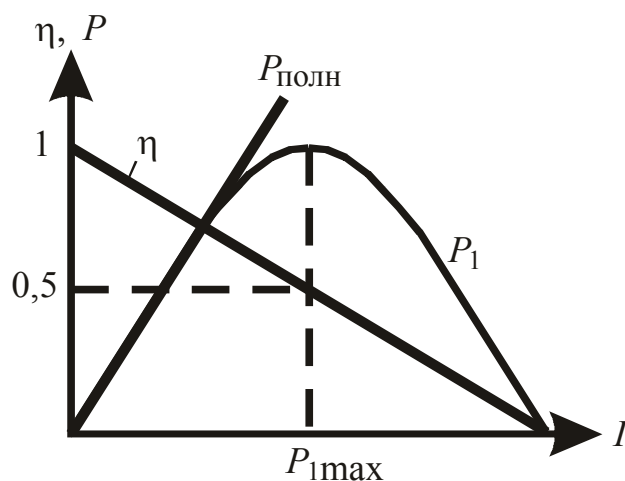


Рис. 3.3.2. Зависимости мощности и КПД источника тока от силы тока

*Из графиков видно, что получить одновременно максимальные значения полезной мощности и КПД невозможно. Когда мощность  $P_1$ , выделяемая на внешнем участке цепи, достигает наибольшего значения, то КПД в этот момент равен 50 %.*

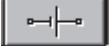
### 3.3.3. Порядок выполнения работы




Запустите программу «Открытая физика 1.1». Выберите «Электричество и магнетизм» и «Цепи постоянного тока». Нажмите вверху внутреннего окна кнопку с изображением страницы. Прочитайте краткие теоретические сведения. Закройте окно теории, нажав кнопку с крестом в правом верхнем углу внутреннего окна.


1. Соберите на экране цепь, показанную на рис. 3.3.3. В компьютерной модели ЭДС источника тока обозначена буквой  $E$ , а в теоретической части –  $\varepsilon$ .




Рис. 3.3.3. Электрическая цепь постоянного тока

Для этого сначала щелкните левой кнопкой мыши над кнопкой  (ЭДС) в нижней части экрана. Переместите маркер мыши на рабочую часть экрана, где расположены точки. Щелкните левой кнопкой мыши между точками, где будет расположен источник ЭДС.

Разместите далее последовательно с источником резистор, изображающий его внутреннее сопротивление (нажав предварительно кнопку  в нижней части экрана), и амперметр (кнопка  там же). Затем расположите аналогичным образом резисторы нагрузки и вольтметр , измеряющий напряжение на нагрузке.

Подключите соединительные провода. Для этого нажмите кнопку провода  внизу экрана, после чего переместите маркер мыши в рабочую зону схемы. Щелкайте левой кнопкой мыши между точками, где должны находиться соединительные провода.

2. Установите значения ЭДС и внутреннего  $r$  сопротивления цепи. Для этого щелкните левой кнопкой мыши на кнопке со стрелкой . Затем щелкните на нужном элементе. Подведите маркер мыши к движку появившегося регулятора, нажмите на левую кнопку мыши и, удерживая ее в

нажатом состоянии, меняйте величину параметра и установите числовое значение, указанное в табл. 3.3.1 для вашей бригады. Запишите установленные значения под заголовком табл. 3.3.2.

Таблица 3.3.1

### Исходные параметры электрической цепи

Номер бригады	1	2	3	4	5	6	7	8
$E, В$	10,0	9,5	9,0	8,5	8,0	8,5	9,0	9,5
$r, Ом$	4,8	5,7	6,6	7,5	6,4	7,3	8,2	9,1

3. Заполните таблицу регулируемых величин (см. с. 6).

4. Внешнее сопротивление  $R$  состоит из двух резисторов, соединенных последовательно. Установите сопротивление внешней цепи 2 Ом, равное сумме двух сопротивлений (по 1 Ом). Нажмите кнопку «Счёт» и запишите показания вольтметра и амперметра в соответствующие строки табл. 3.3.2.

5. Последовательно увеличивайте с помощью движка регулятора сопротивление сначала одного, а затем второго резистора внешней цепи на 1 Ом от 2 до 20 Ом и, нажимая кнопку «Счёт», записывайте показания электроизмерительных приборов в таблицу 3.3.2.

6. Последнее измерение проведите для  $R = r$ . Численное значение  $r$  из табл. 3.3.1 запишите в последней строке табл. 3.3.2.

### 3.2.4. Обработка результатов измерений

1. Вычислите по формулам (3.3.2), (3.3.7) – (3.3.9)  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_{\text{полн}}$  и  $\eta$  для каждой пары показаний вольтметра и амперметра и запишите рассчитанные значения в табл. 3.3.2.

2. Постройте на одном листе миллиметровой бумаги графики зависимости мощностей и КПД от внешнего сопротивления:  $P_1 = f(R)$ ,  $P_2 = f(R)$ ,  $P_{\text{полн}} = f(R)$ ,  $\eta = f(R)$ .

3. Проанализируйте графики и сделайте выводы.

**Результаты измерений и расчётов** $(E = \text{_____ В}, \quad r = \text{_____ Ом})$ 

$R, \text{ Ом}$	$U, \text{ В}$	$I, \text{ А}$	$P_1, \text{ Вт}$	$P_2, \text{ Вт}$	$P_{\text{полн}}, \text{ Вт}$	$\eta$
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
$r = \text{_____}$						

**КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Нарисуйте полную цепь. Запишите и сформулируйте закон Ома для полной цепи.
2. Что такое ток короткого замыкания?
3. Как вычисляется мощность, выделяемая во внешней цепи? При каком условии она достигает наибольшего значения?
4. Что такое полная мощность?
5. Как вычисляется КПД источника тока?
6. Верно ли утверждение, что мощность, выделяемая во внутренней части цепи, постоянна для данного источника?
7. Чему равно КПД источника тока, когда мощность, выделяемая во внешней цепи, достигает наибольшего значения?