

## Лабораторная работа 3.02

# Характеристики источника тока

### Цель работы

1. Исследовать зависимость полной мощности, полезной мощности, мощности потерь, падения напряжения во внешней цепи и КПД источника от силы тока в цепи.
2. Найти значения параметров источника: электродвижущей силы и внутреннего сопротивления, оценить их погрешность.

### Введение

Если к источнику тока (рис. 1), обладающему внутренним сопротивлением  $r$  подключить внешнее сопротивление  $R$ , то напряжение на зажимах источника  $U$ , согласно закону Ома, для замкнутой цепи можно представить в виде:

$$U = \mathcal{E} - Ir, \quad (1)$$

где  $\mathcal{E}$  - электродвижущая сила, а  $I$  - сила тока в цепи.

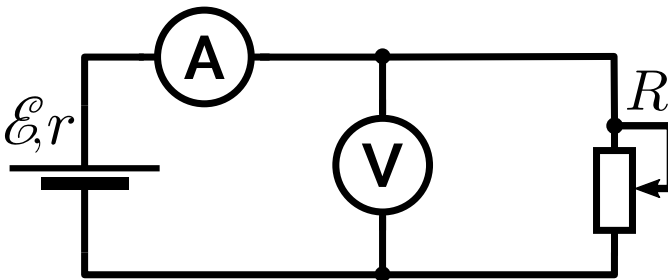


Рис. 1. Принципиальная электрическая схема лабораторной установки

График зависимости напряжения  $U$  от силы тока  $I$  показан на рис. 2. В идеальном случае график этой зависимости является прямой линией: (a). Пересечение графика с осью напряжений ( $I = 0$ ) происходит в точке  $\mathcal{E} = U$ , а точка пересечения графика с осью токов ( $U = 0$ ) дает значение силы тока короткого замыкания источника  $I_K = \frac{\mathcal{E}}{r}$ .

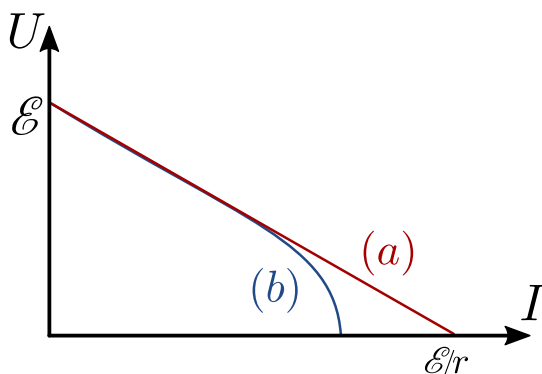


Рис. 2. График зависимости напряжения на нагрузке от силы тока

У реальных источников, при токах близких к  $I_K$ , линейный характер зависимости напряжения от силы тока нарушается (случай (b)). Это вызвано у одних источников уменьшением ЭДС при таких максимальных токах, у других увеличением внутреннего сопротивления, а у третьих одновременным влиянием двух этих причин.

Умножив обе части уравнения (1) на силу тока, протекающего по цепи, используя закон Ома для участка цепи  $U = IR$  получим следующее соотношение:

$$\mathcal{E}I = I^2R + I^2r, \quad (2)$$

которое можно представить в виде

$$P = P_R + P_S, \quad (3)$$

где  $P = \mathcal{E}I$  - полная мощность, развиваемая источником;  $P_R = I^2 R$  - полезная мощность, т.е. мощность, развиваемая источником во внешней цепи (на сопротивлении  $R$ );  $P_S = I^2 r$  - мощность потерь внутри источника (на сопротивлении  $r$ ).

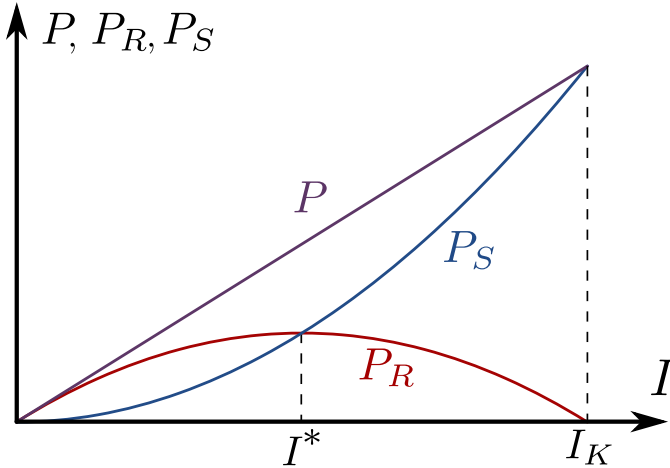


РИС. 3. Зависимости полной ( $P$ ), полезной ( $P_R$ ) мощности и мощности потерь ( $P_S$ ) от силы тока.

Исследуем зависимость этих мощностей от силы тока. График (см. рис. 3) зависимости полной мощности от силы тока  $P = \mathcal{E}I$  является прямой линией, проходящей через начало координат. Полезная мощность из (2) может быть представлена в виде:

$$P_R = \mathcal{E}I - I^2 r. \quad (4)$$

Эта зависимость является степенной функцией второго порядка, а ее график представляет из себя параболу. Легко найти те значения силы тока при которых полезная мощность обращается в ноль (это корни уравнения (4)):

$$I_{1,2} = \begin{cases} I_K = \frac{\mathcal{E}}{r}; \\ 0. \end{cases} \quad (5)$$

Ввиду симметричных свойств параболы ее вершина располагается на равном расстоянии от корней:

$$I^* = \frac{I_1 + I_2}{2} = \frac{\mathcal{E}}{2r}. \quad (6)$$

Именно при данном значении силы тока достигается максимум полезной мощности в нагрузке:

$$P_{Rmax} = P_R(I^*) = \frac{\mathcal{E}^2}{4r}. \quad (7)$$

Заметим, что из соотношения (6) и закона Ома для полной цепи  $I = \frac{\mathcal{E}}{R+r}$  следует, что при  $I = I^*$  выполняется равенство  $R = r$ , то есть полезная мощность  $P_R$  максимальна, когда сопротивление нагрузки равно внутреннему сопротивлению источника питания. Такая нагрузка называется *согласованной* с источником.

Потери мощности в источнике зависят от силы тока также по квадратичному закону:  $P_S = I^2 r$ . График этой зависимости (см. рис. 3) — парабола с вершиной в начале координат и ветвями направленными вверх. При физически осмысленных значениях  $r > 0$ , мы работаем с правой ветвью данной параболы.

Коэффициентом полезного действия (КПД)  $\eta$  источника тока называется величина, равная отношению полезной мощности к полной мощности источника:

$$\eta = \frac{P_R}{P} = \frac{UI}{\mathcal{E}I} = \frac{U}{\mathcal{E}}. \quad (8)$$

Подставив выражение для напряжения  $U$  из (1) в (8), найдем зависимость КПД от силы тока:

$$\eta = \frac{\mathcal{E} - Ir}{\mathcal{E}} = 1 - \frac{Ir}{\mathcal{E}}. \quad (9)$$

Из уравнения (9) следует, что зависимость КПД от силы тока изображается прямой линией (рис. 4), убывающей от значения  $\eta = 1$ , при токе  $I = 0$ , до значения  $\eta = 0$ , при силе тока  $I_K = \frac{\mathcal{E}}{r}$ .

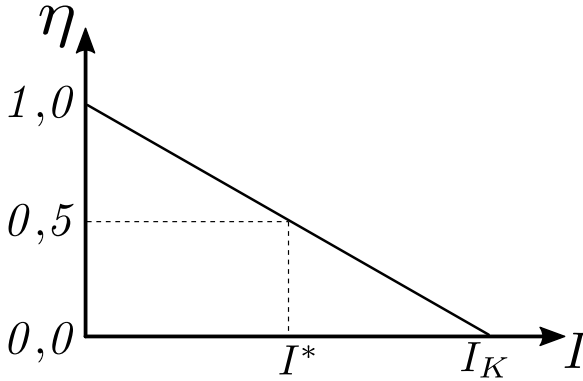


РИС. 4. Зависимость КПД источника от силы тока

Это значение тока — уже упомянутый выше ток «короткого замыкания». Из (1) следует, что при внешнем сопротивлении  $R = 0$  сила тока достигает наибольшего значения, а полезная мощность  $P_R$  убывает до нуля. Полная мощность источника  $P = \mathcal{E}I_K$  и мощность потерь  $P_S = I^2r$  при токе короткого замыкания  $I = I_K$  достигают наибольшего значения и равны друг другу:

$$P_{max} = P_{Smax} = \frac{\mathcal{E}^2}{r}. \quad (10)$$

Найдем значение КПД и соотношения между мощностями  $P$ ,  $P_R$ ,  $P_S$  при максимуме полезной мощности. Как было показано ранее, полезная мощность максимальна при условии  $R = r$ , КПД при этом равен:

$$\eta = \frac{U}{\mathcal{E}} = \frac{IR}{IR + Ir} = 50\%. \quad (11)$$

Таким образом, при максимальном токе  $I = I^*$ , полезная мощность равна  $P_R = 0,5P$  и с учетом (3) полезная мощность равна мощности потерь:  $P_R = P_S$ .

Из графиков зависимостей мощностей и КПД от силы тока (рис. 3,4) видим, что условия получения наибольшей полезной мощности и наибольшего КПД несовместимы. Когда полезная

мощность достигает наибольшего значения, сила тока равна  $I^*$  и  $\eta = 0,5 = 50\%$ . Когда же КПД близок к единице, полезная мощность мала по сравнению с максимальной мощностью, которая может быть передана нагрузке данным источником.

Прямолинейный характер зависимости напряжения  $U$  от силы тока  $I$ , позволяет следующим, так называемым, методом «короткого замыкания и холостого хода», определить параметры источника. Изменяя в некоторых пределах сопротивление  $R$ , измеряют соответствующие значения силы тока и напряжения. По измеренным значениям строят прямолинейную зависимость  $U$  от  $I$ . Продолжив ее до пересечения с осью напряжений, находят напряжение «холостого хода»  $U_X = \mathcal{E}$ , а продолжив до пересечения с осью токов, находят ток короткого замыкания  $I_K$ . Внутреннее сопротивление источника ЭДС определяют после этого по формуле:

$$r = \frac{I_K}{\mathcal{E}}. \quad (12)$$

## Лабораторная установка и проведение измерений

1. Измерительными приборами в данной лабораторной работе являются амперметр и вольтметр, содержащиеся в блоке **АВ1**. Резистор переменного сопротивления  $R = 0 \div 1,5$  кОм расположен на стенде с объектами исследования «СЗ-ЭМ01» в левом верхнем углу (см. рис. 5).

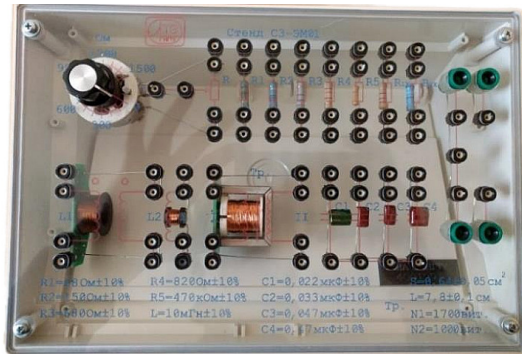


Рис. 5. Стенд «СЗ-ЭМ01»



Рис. 6. Генератор напряжения ГН1

2. В качестве источника ЭДС в лабораторной работе используется генератор регулируемого постоянного напряжения блока **ГН1** (см. рис. 6) с включенным внутренним сопротивлением (переключатель  $R_{ВН}$  должен быть **нажат**). В этом случае номинальное значение внутреннего сопротивления генератора равняется  $680 \text{ Ом} \pm 10\%$ .

3. Соберите установку в соответствии со схемой, представленной на рис. 7.

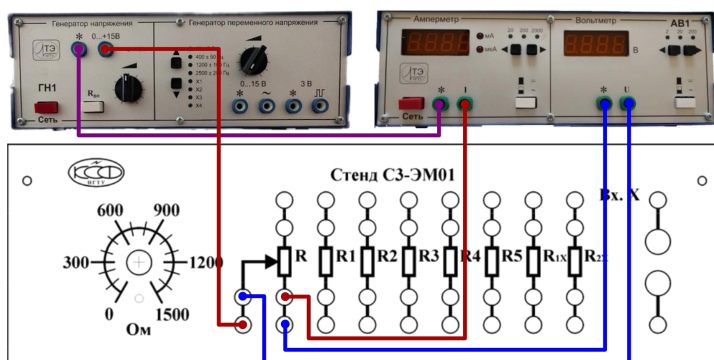


Рис. 7. Схема соединений источника, измерительных приборов и измерительного стенда

4. Соедините гнезда (\*) на лицевых панелях амперметра и генератора между собой проводником. Среднюю пару контактов (обозначены стрелочкой) переменного резистора  $R$  подключите к контакту «0...+15 В» генератора и к контакту «U» вольтметра.
5. Нижнюю пару контактов переменного резистора  $R$  подключите к контакту «I» амперметра, и к контакту (\*) вольтметра.
6. Перед включением установки внимательно проверьте правильность и надежность всех соединений.
7. На блоке ГН1 регулятор генератора постоянного напряжения «0...+15 В» установите в среднее положение (пятое-шестое деление шкалы). Кнопочными переключателями блока амперметра-вольтметра AB1 «◀» и «▶» установите диапазоны измерений амперметра: «20 мА» и вольтметра: «20 В».
8. Изменяя переменное сопротивление  $R$  (от 100 Ом до 1500 Ом с шагом около 100 Ом), проведите измерение зависимости напряжения от силы тока  $U = U(I)$  и заполните первые две колонки Таблицы 1 (см. Приложение).
9. После проведения измерений выключите генератор и блок AB1.



## Обработка результатов измерений

1. По результатам измерений постройте график зависимости  $U(I)$ . Визуально убедитесь в его линейности.
2. С помощью любого стандартного метода нахождения параметров линейных зависимостей (МНК, метод парных точек) найдите параметры полученной зависимости: угловой коэффициент - модулю его значения соответствует внутреннее сопротивление источника  $r$  и смещение относительно начала координат - ему соответствует электродвижущая сила  $\mathcal{E}$ . Оцените погрешности данных величин. Сравните величину внутреннего сопротивления с ее номинальным значением.
3. Используя результаты измерений напряжения  $U$  и силы тока  $I$  (см. Табл. 1) и найденные ранее величины  $\mathcal{E}$  и  $r$ , вычислите и внесите в таблицу значения полезной  $P_R = UI$ , полной  $P = \mathcal{E}I$  мощности, а также мощности потерь  $P_S = I^2 r$ .
4. Постройте графики зависимостей всех мощностей от силы тока, причем построение сделайте в одном и тот же графическом поле. С помощью графика зависимости  $P_R = P_R(I)$  найдите значение силы тока  $I^*$  при котором полезная мощность достигает максимального значения.
5. Подставив в формулу  $P_R = I^2 R$  значения  $P_{Rmax}$  и  $I^*$ , найдите сопротивление  $R$ , соответствующее режиму согласования нагрузки и источника. Сравните это сопротивление с внутренним сопротивлением источника  $r$ .
6. Найдите значения КПД  $\eta = \frac{P_R}{P}$ , как функции силы тока и постройте соответствующий график, экстраполируя его до пересечения с осями координат.
7. По графику  $\eta = \eta(I)$  определите значение тока  $I^*$ , соответствующее  $\eta = 0,5$  и сравните его с полученным в п. 4 результатом.

## Приложение

**Таблица 1:** Результаты прямых измерений и их обработка

№	$U, В$	$I, мА$	$P_R, мВт$	$P_S, мВт$	$P, мВт$	$\eta$
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						