

Лабораторная работа

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ИСТОЧНИКА ТОКА.

Цель работы:

Исследовать зависимость полной мощности, полезной мощности, мощности потерь, падения напряжения во внешней цепи и КПД источника от силы тока в цепи.

Требуемое оборудование:

1. Блок генератора напряжений ГН1.
2. Амперметр-вольтметр АВ1.
3. Стенд с объектами исследования СЗ-ЭМ01.
4. Проводники Ш4/Ш1,6-60 см (4 шт.), Ш4/Ш4-60 см (1 шт).

Краткое теоретическое введение

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

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

где \mathcal{E} – электродвижущая сила источника (ЭДС); I – сила тока, текущего через источник.

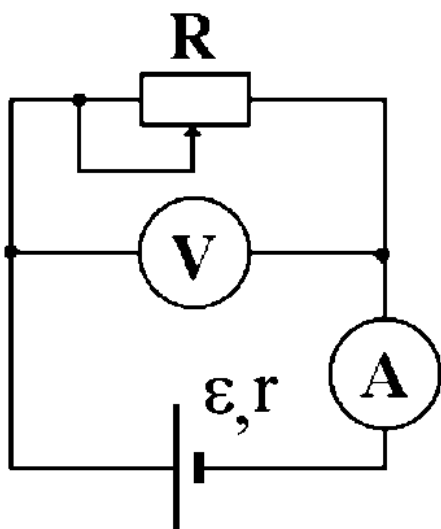


Рис. 1. Рабочая схема

График зависимости напряжения U от силы тока I показан на рисунке 2.

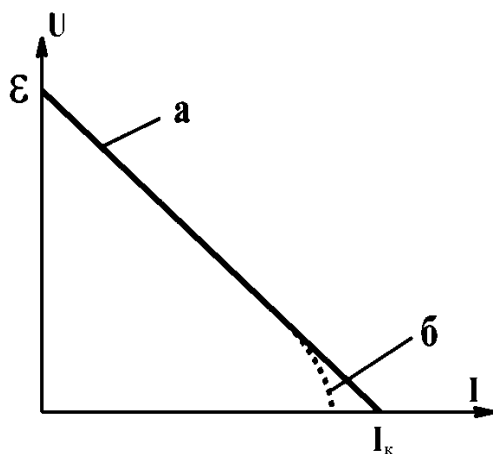


Рис. 2. График зависимости напряжения на источнике от силы тока в цепи

График этой зависимости представляет собой прямую линию (линия «а» на рис. 2). Пересечение графика с осью напряжений ($I = 0$) происходит в точке $U = \mathcal{E}$, а точка пересечения графика с осью токов (при $U = 0$) дает значение силы тока короткого замыкания источника I_k . Отметим, что последнее утверждение является идеализацией. В реальных источниках ЭДС, при токах близких к I_k , линейный характер зависимости напряжения U от силы тока I нарушается (кривая «б» на рис. 2). Это вызвано у одних источников уменьшением ЭДС при больших токах, у других увеличением внутреннего сопротивления, у третьих одновременным влиянием двух этих причин.

Умножив обе части уравнения (1) на силу тока, протекающего по цепи, получим следующее уравнение

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

которое можно представить в виде

$$P = P_1 + P_2. \quad (3)$$

Здесь $P = I\mathcal{E}$ – полная мощность, развиваемая источником; $P_1 = I^2 R = IU$ – полезная мощность, т.е. мощность, развиваемая источником во внешней цепи (на сопротивлении R); $P_2 = I^2 r$ – потери мощности внутри источника (на сопротивлении r).

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

$$P_1 = I\mathcal{E} - I^2 r. \quad (4)$$

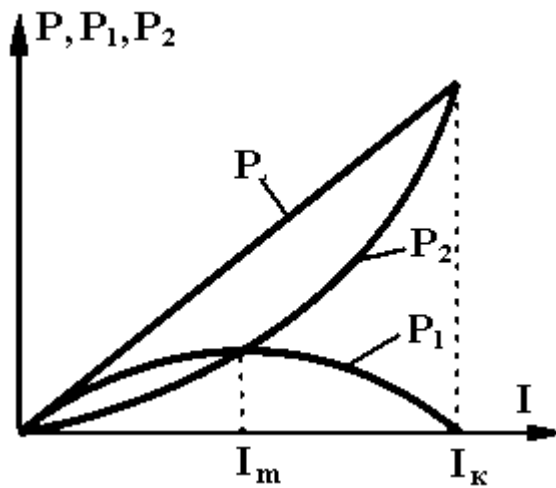


Рис. 3. Зависимости полной мощности (P), полезной мощности (P_1) и мощности потерь (P_2) от силы тока в замкнутой цепи

Эта зависимость изображается параболой. Найдем значение тока I_m , при котором полезная мощность максимальна. Для этого, взяв первую производную от полезной мощности по силе тока, приравняем её к нулю:

$$\frac{dP_1}{dI} = \mathcal{E} - 2Ir = 0. \quad (5)$$

Откуда получим:

$$I_m = \frac{\mathcal{E}}{2r}. \quad (6)$$

Вторая производная $\frac{d^2P_1}{dI^2} = -2r$ отрицательна, так как при значении силы тока I_m полезная мощность имеет максимум $P_{1\max}$. Подставляя выражение (6) в уравнение (4) находим максимальное значение полезной мощности:

$$P_{1\max} = \frac{\mathcal{E}^2}{4r}. \quad (7)$$

Заметим, что из уравнения (1) с учетом $U = IR$ следует, что

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}. \quad (8)$$

Сравнивая это выражение с выражением (6), видим, что при $I = I_m$ выполняется равенство $R = r$. Следовательно, полезная мощность P_1 максимальна тогда, когда сопротивление нагрузки равно внутреннему сопротивлению источника питания $R = r$.

Потери мощности в источнике зависят от силы тока по формуле

$$P_2 = I^2 r. \quad (9)$$

Графически эта зависимость (см. рис. 3) – парабола с вершиной в начале координат и ветвями направленными вверх. При физически осмысленных значениях $r > 0$, мы видим правую ветвь этой параболы.

Коэффициентом полезного действия (КПД) η источника тока называется величина, равная отношению полезной мощности к полной мощности, затрачиваемой источником:

$$\eta = \frac{P_1}{P} = \frac{IU}{I\mathcal{E}} = \frac{U}{\mathcal{E}}. \quad (10)$$

Представив выражение для U из (1) в (10), находим зависимость КПД от силы тока:

$$\eta = \frac{\mathcal{E} - Ir}{\mathcal{E}} = 1 - I \frac{r}{\mathcal{E}}. \quad (11)$$

Из уравнения (11) видно, что зависимость КПД от силы тока в цепи изображается прямой линией (см. рис. 4), убывающей от значения $\eta = 1$, при токе $I = 0$, до значения $\eta = 0$, при силе тока

$$I_k = \mathcal{E}/r. \quad (12)$$

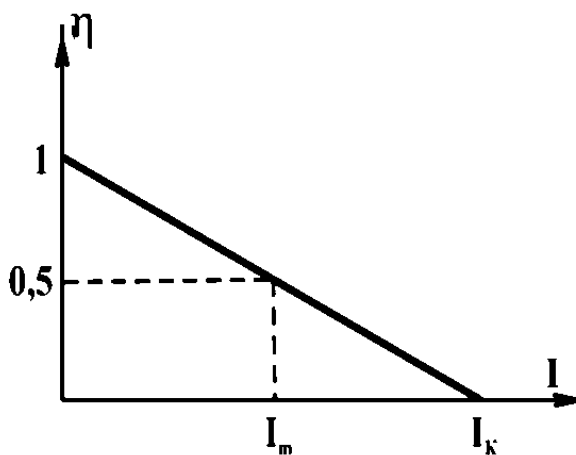


Рис. 4. Зависимость КПД источника от силы тока в замкнутой цепи

Это значение тока — уже упомянутый выше ток короткого замыкания. Действительно, при $R = 0$ («короткое замыкание» источника, при этом $U = 0$) из (1) видно, что сила тока достигает наибольшего значения, даваемого формулой (12). Полезная мощность P_1 при этом убывает до нуля (см. рис. 3), так как при сопротивлении $R = 0$ получаем $P_1 = I_k U = I_k^2 R = 0$.

Полная мощность источника $P = I_k \mathcal{E}$ и потери мощности $P_2 = I_k^2 r$ при токе короткого замыкания $I = I_k$ достигают наибольшего значения и равны друг другу:

$$P_{\max} = P_{2\max} = \frac{\mathcal{E}^2}{r}. \quad (13)$$

Найдем значение КПД и соотношения между мощностями P , P_1 , P_2 при максимуме полезной мощности $P_1 = P_{1\max}$. Полезная мощность максимальна при условии $R = r$, КПД (10) при этом равен

$$\eta = \frac{U}{\mathcal{E}} = \frac{IR}{I(R+r)} = 0.5 = 50\% . \quad (14)$$

Отсюда, при токе $I = I_m$, полезная максимальная мощность равна $P_{1\max} = 0.5 P$ и с учетом (3) полезная мощность равна мощности потерь: $P_{1\max} = P_2$.

Из графиков зависимостей мощностей и КПД от силы тока (рис. 3, 4) видим, что условия получения наибольшей полезной мощности $P_{1\max}$ и наибольшего КПД несовместимы. Когда P_1 достигает наибольшего значения, сила тока равна I_m и $\eta = 0.5$ или 50%. Когда же КПД близок к единице, полезная мощность P_1 мала по сравнению с максимальной мощностью $P_{1\max}$, которую мог бы развить данный источник.

Прямолинейный характер зависимости напряжения U от силы тока I (см формулу (1) и рис. 2), позволяя 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

$$r = \frac{\mathcal{E}}{I_k}, \quad (15)$$

полученной из уравнения (12).

Порядок выполнения работы

1. Соберите установку в соответствии со схемой, представленной на рисунке 5. В качестве источника ЭДС используйте генератор регулируемого постоянного напряжения блока ГН1 с включенным внутренним сопротивлением (переключатель R_{BH} нажат). В качестве измерительных приборов используйте амперметр и вольтметр, содержащиеся в блоке АВ1. Переменное сопротивление находится на стенде с объектами исследования СЗ-ЭМ01.

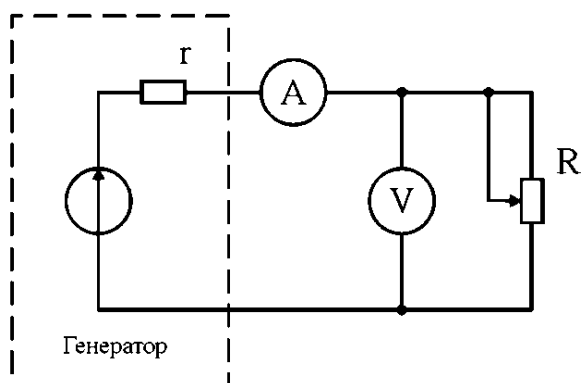


Рис.5. Электрическая схема лабораторной установки

2. Ручку регулировки выходного напряжения на генераторе постоянного напряжения (блока ГН1) установите в положение около восьми делений. Изменяя переменное сопротивление R (от 100 Ом до 1500 Ом с шагом 100 Ом), снимите зависимость напряжения U от силы тока I .
3. Постройте график этой зависимости. Определите, экстраполируя график до пересечения с осями координат, ЭДС источника \mathcal{E} и силу тока короткого замыкания I_k .
4. Рассчитайте внутренне сопротивление источника r .
5. Рассчитайте мощности P , P_1 , P_2 и КПД η для измеренных значений силы тока. Постройте графики зависимостей этих величин от силы тока, причем для мощностей сделайте построение на одном листе. Продолжите графики $P_1(I)$ и $\eta(I)$ до пересечения с осями координат. Сравните полученные результаты с теоретическими зависимостями, изображенными на рис. 3, 4.
6. С помощью построенных графиков найдите значения сопротивления R , при которых наблюдаются максимум полезной мощности и $\eta = 0.5$. Сравните эти значения с теоретическим значением.

Литература

1. Детлаф А. А., Яворский Б. М. Курс физики.— 8-е изд., стер. — М. : Издательский центр "Академия", 2009 .
2. Курепин В.В., Баранов И.В. Обработка экспериментальных данных: Методические указания к лабораторным работам. – СПб, 2003.-57 с.