

010203. Исследование характеристик источника ЭДС.

Цель работы: Проверить теоретическую зависимость полной мощности, полезной мощности, мощности потерь, падения напряжения во внешней цепи и КПД источника ЭДС от силы тока.

Требуемое оборудование:

Модульный учебный комплекс МУК-ЭМ1 (МУК-ЭМ2).

Приборы:

Блок генератора напряжений ГН1

1 шт.

Амперметр-вольтметр АВ1

1 шт.

Стенд с объектами исследования СЗ-ЭМ01

1 шт.

Проводники Ш4/Ш1,6-60 см

4 шт.

Ш4/Ш4-60 см

1 шт.

Краткое теоретическое введение

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

$$U = \varepsilon - Ir \quad (1)$$

где ε – значение ЭДС;

I значение тока в цепи;

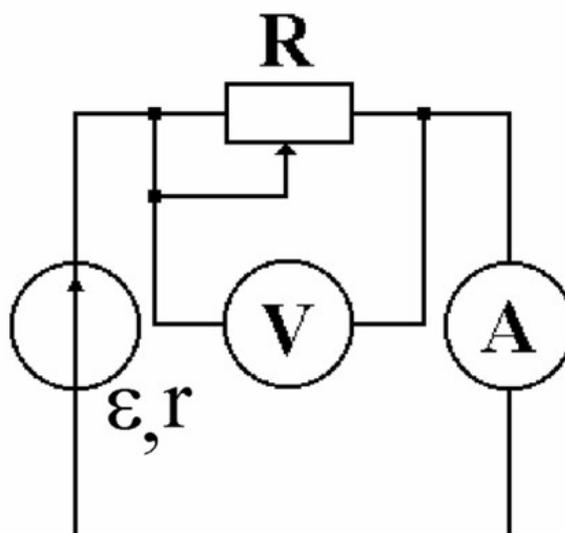


Рис. 1

Следовательно, ожидаемая зависимость напряжения U от силы тока I имеет вид

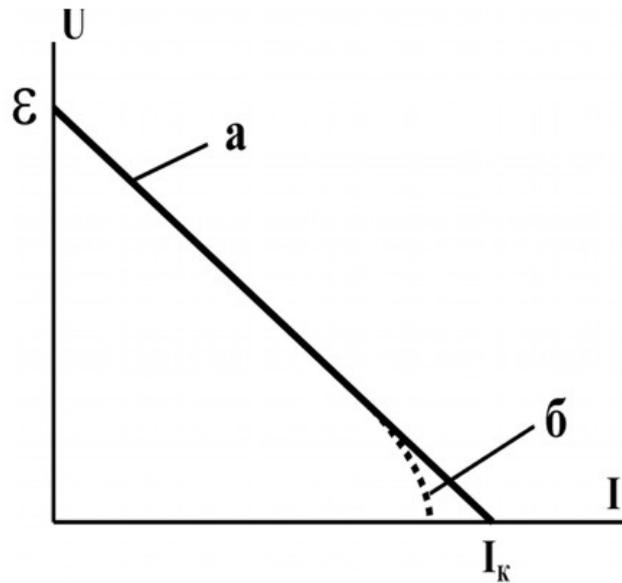


Рис. 2

График этой зависимости является прямой линией (кривая «а»). Пересечение графика с осью напряжений ($I = 0$) происходит в точке $U = \varepsilon$, а точка пересечения графика с осью токов ($U = 0$) дает значение силы тока короткого замыкания источника $I = I_K$. Важно отметить, 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»). Это вызвано у одних источников уменьшением ЭДС при таких токах, у других увеличением внутреннего сопротивления, а у третьих одновременным влиянием двух этих причин.

Предварительно умножив обе части уравнения (1) на силу тока, протекающего по цепи, можно получить:

$$I\varepsilon = I^2 R + I^2 r. \quad (2)$$

Уравнение (2) представим в виде

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

где $P = I\varepsilon$ - 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).

Установим зависимость этих мощностей от силы тока.

Графически (рис.3) зависимость полной мощности от силы тока $P = I\varepsilon$ выражается прямой линией, проходящей через начало координат.

Полезная мощность из (2) может быть представлена в виде:

$$P_1 = \varepsilon \cdot I - I^2 \cdot r. \quad (4)$$

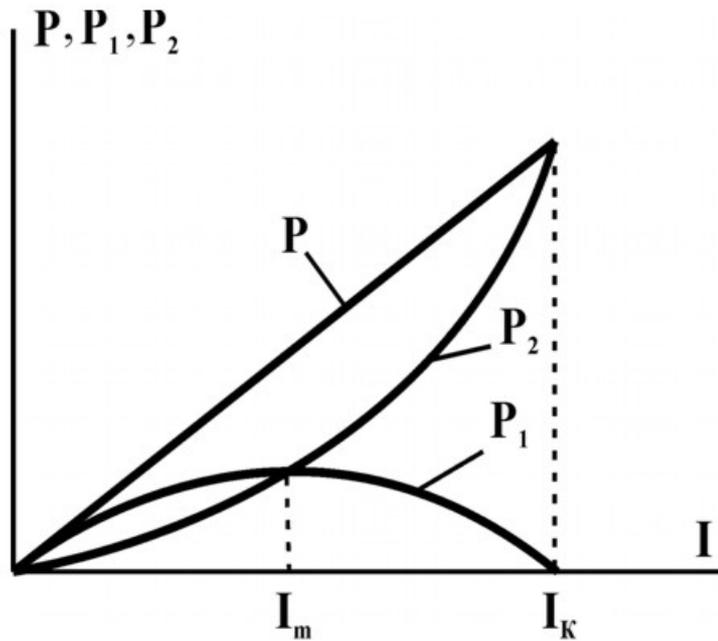


Рис. 3

Эта зависимость выражается параболой. Найдем значение тока, при котором полезная мощность максимальна. Для этого, взяв первую производную $\frac{dP_1}{dI}$, приравняем ее нулю

$$\frac{dP_1}{dI} = \varepsilon - 2Ir, \quad (5)$$

откуда, при $\frac{dP_1}{dI} = 0$, получим:

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

Так как вторая производная $\frac{d^2 P_1}{d^2 I} = -2r$ отрицательна, то при значении силы тока I_m полезная мощность имеет максимум $P_{1\max}$, величина которого после подстановки (6) в (4) оказывается равной

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

Сравнивая это выражение с ранее полученным $P_1 = I^2 R$, видим, что при $I = I_m$ выполняется равенство $R = r$. Следовательно, полезная мощность P_1 максимальна при условии, что сопротивление нагрузки равно внутреннему сопротивлению источника питания $R = r$.

Потери мощности определяются зависимостью:

$$P_2 = I^2 r \quad (8)$$

Графически зависимость P_2 от I - парабола с вершиной в начале координат, а ее ветвь направлена вверх (рис.3).

Коэффициентом полезного действия η источника ЭДС называется величина, равная отношению полезной мощности к соответствующей полной мощности

$$\eta = \frac{P_1}{P} = \frac{IU}{I\varepsilon} = \frac{U}{\varepsilon}. \quad (9)$$

Представим выражение для U из (1) в (9)

$$\eta = \frac{\varepsilon - Ir}{\varepsilon} = 1 - I \frac{r}{\varepsilon}. \quad (10)$$

Из уравнения (10) видно, что зависимость η от I выражается прямой линией (рис.4), убывающей от значения $\eta = 1$, при токе $I = 0$, до значения $\eta = 0$, при токе

$$I_K = \frac{\varepsilon}{r}. \quad (11)$$

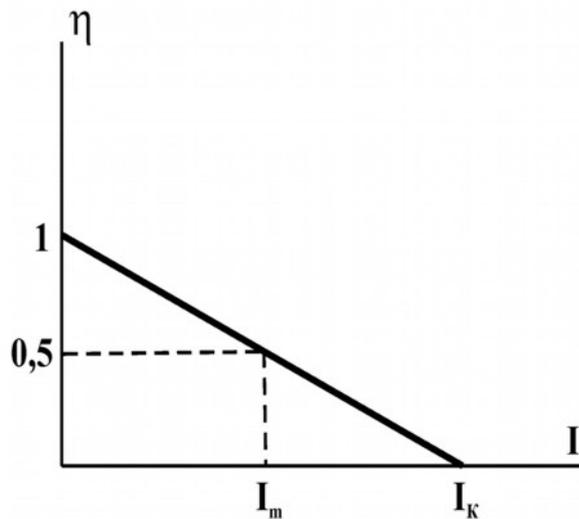


Рис. 4

Это значение тока – уже упомянутый выше ток «короткого замыкания». Действительно, из (1) видно, что при внешнем сопротивлении $R = 0$ («короткое замыкание» источника) сила тока достигает наибольшего значения, даваемого формулой (10). Полезная мощность P_1 при этом убывает до нуля (рис.3), так как при сопротивлении $R = 0$

$$P_1 = I_K U = I_K^2 R = 0.$$

Полная мощность $P = \varepsilon I_K$ и потери мощности $P_2 = I_K^2 \cdot r$ при токе короткого замыкания $I = I_K$ достигают наибольшего значения и равны друг другу

$$P_{\max} = P_{2\max} = \frac{\varepsilon^2}{r}.$$

Найдем значение КПД и соотношения между мощностями P , P_1 , P_2 при максимуме полезной мощности $P_1 = P_{1\max}$. Так как полезная мощность максимальна при условии, что $R = r$, то КПД при этом равен

$$\eta = \frac{U}{\varepsilon} = \frac{IR}{I(R+r)} = \frac{r}{2r} = 0,5 = 50\%. \quad (12)$$

Отсюда, при токе $I = I_m$, полезная максимальная мощность равна $P_{1\max} = 0,5P$. Используя (3), получим, при токе $I = I_m$, равенство полезной мощности и 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 η_{\max} 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.

Выразив напряжение $U = \varepsilon - Ir$ (1^a), построим зависимость $U = f(I)$ (рис.2). Это - прямая, спадающая от значения U_X (напряжение «холостого хода»), равного $U_X = \varepsilon$, до нуля при токе равном току «короткого замыкания». Графический метод определения тока «короткого замыкания» I_K и ЭДС $\varepsilon = U_X$, так называемый метод «короткого замыкания и холостого хода», является простым методом, позволяющим, не измеряя, определить I_K и ε .

На практике он используется следующим образом. Изменяя в некоторых пределах сопротивление R , измеряют несколько значений тока I и соответствующие значения напряжения U . На чертеже строят зависимость $U = f(I)$, графиком которой будет прямая линия. Продолжив ее до пересечения с осью напряжения U , находят значение $U_X = \varepsilon$, а продолжив до пересечения с осью тока I , находят ток I_K . Внутреннее сопротивление источника ЭДС определяют после этого по формуле

$$r = \frac{\varepsilon}{I_K}. \quad (13)$$

Методика эксперимента

На рис. 5 представлена электрическая схема. В качестве источника ЭДС используется генератор регулируемого постоянного напряжения блока ГН1 с включенным внутренним сопротивлением (переключатель $R_{ВН}$ нажат). В качестве измерительных приборов используются амперметр и вольтметр, содержащиеся в блоке АВ1. Переменное сопротивление находится на стенде с объектами исследования СЗ-ЭМ01.

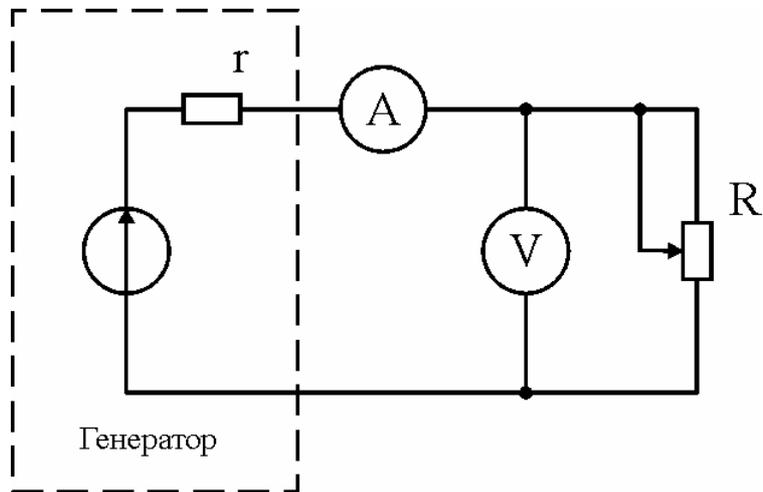


Рис.5

Рекомендуемое задание к работе

1. Соберите схему. Внутренне сопротивление генератора постоянного напряжения следует включить.
2. Изменяя переменное сопротивление R (от 100 Ом до 1500 Ом), снимите зависимость напряжения U от силы тока I .
3. Постройте график этой зависимости. Определите, экстраполируя график до пересечения с осями координат, ЭДС источника ε и силу тока короткого замыкания I_K .
4. Определите внутренне сопротивление источника r и затем мощности P , P_l , P_2 и η .
5. Постройте зависимости этих величин от силы тока, экстраполируя графики до пересечения с осями координат.
6. Найдите такое сопротивление, при котором наблюдается максимум полезной мощности. Сравните его с теоретическим.

Список использованных источников

1. Электричество и магнетизм. Методические указания к лабораторным работам №10, 12, 13, 15, 16, 19 для студентов 1 и 2 курсов (всех специальностей) всех форм обучения./ Сост.: А.В.Морозов, В.В.Христофоров, А.А.Шевченко и др. – Новосибирск: НГТУ, 2006.