

ИЗУЧЕНИЕ РАБОТЫ 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.

Описание метода и установки

Электрическая схема измерительной установки (рис.1) состоит из внешнего сопротивлений R , источника постоянного напряжения с электродвижущей силой ε [1] и внутренним сопротивлением r . В схему включены амперметр и вольтметр, позволяющие измерять ток и падение напряжения во внешней цепи.

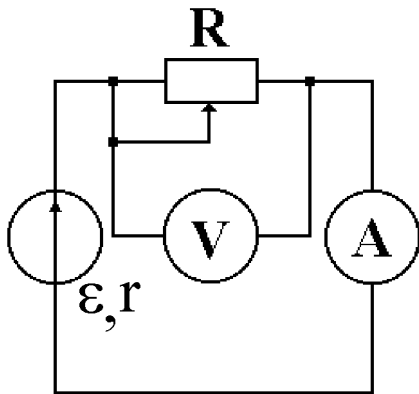


Рис. 1

Используя закон Ома, для этой замкнутой цепи можно получить выражение [1]

$$\varepsilon = IR + Ir, \quad (1)$$

где I - сила тока в цепи;

$U = IR$ - напряжение на сопротивлении R , измеряемое вольтметром (см. рис.1). Следовательно, ожидаемая зависимость напряжения U от силы тока I имеет вид

$$U = \varepsilon - Ir. \quad (1^a)$$

График этой зависимости является прямой линией (рис.2 «а»). Причем 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 $I = I_K$ (подробнее об этом токе смотри ниже). 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 [3] (рис.2 «б»). Это вызвано у одних источников уменьшением ЭДС при таких 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, получим

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

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.

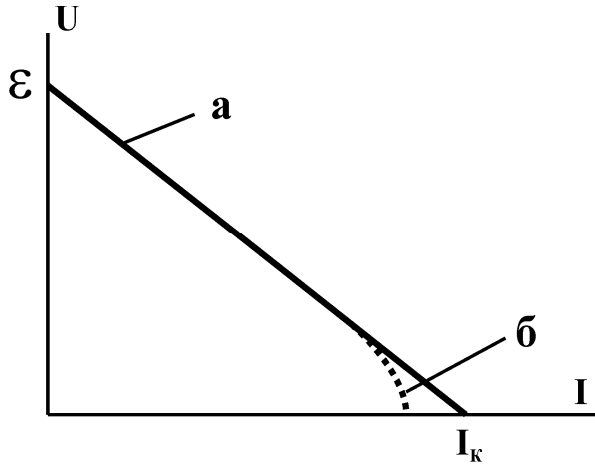


Рис.2

Полезная мощность из (2) может быть представлена в виде

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

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

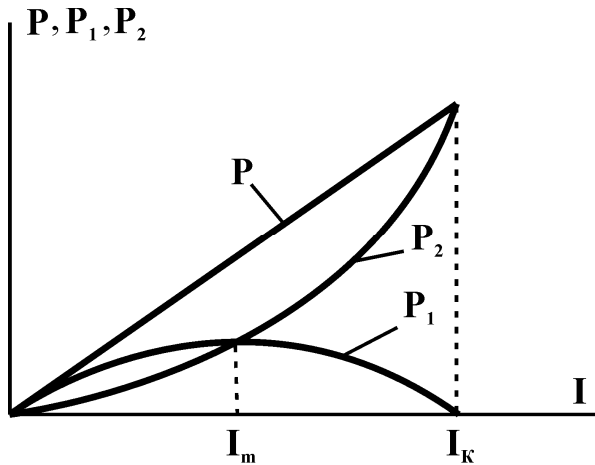


Рис. 3

$$P_{1\max} = \frac{\varepsilon^2}{4r}.$$

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

$$P_2 = I^2 r \quad (7)$$

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

$$\eta = \frac{P_1}{P} = \frac{IU}{I\varepsilon} = \frac{U}{\varepsilon}. \quad (8)$$

Представим выражение для U из (1^а) в (8)

$$\eta = \frac{\varepsilon - Ir}{\varepsilon} = 1 - I \frac{r}{\varepsilon}. \quad (9)$$

Из уравнения (9) 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

$$I_K = \frac{\varepsilon}{r}. \quad (10)$$

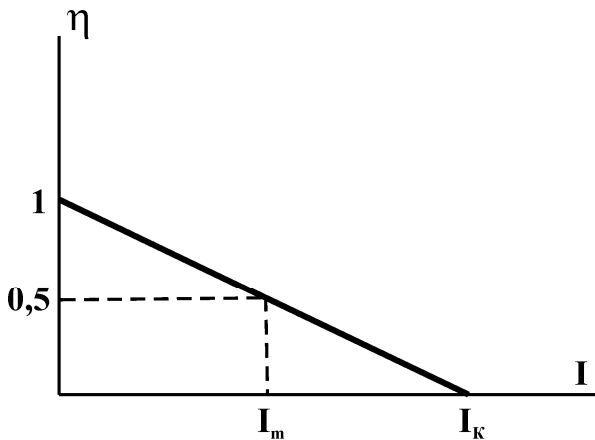


Рис.4

сопротивлении $R = 0$

Это значение тока – уже упомянутый выше ток «короткого замыкания» [1]. 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

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

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

$$\eta = \frac{U}{\varepsilon} = \frac{IR}{I(R+r)} = \frac{r}{2r} = 0,5 = 50\%. \quad (11)$$

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^а), 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

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

Задание к работе

1. Предварительно подготовьте протокол, в котором начертите таблицу для прямых и косвенных измерений.
2. Постройте на миллиметровой бумаге необходимые оси координат.
3. Соберите электрическую схему установки. В качестве источника с электродвижущей силой ε и внутренним сопротивлением r используйте

генератор постоянного напряжения ГПН с включенным тумблером «внутреннее сопротивление» R_{BH} на его передней панели.

4. Изменяя сопротивление R цепи, снимите зависимость U от I и постройте ее график. Определите по графику путем его экстраполяции (продолжения) до пересечения с осью координат U значение ЭДС, а с осью координат I - ток «короткого замыкания» I_K .

5. Определите по формуле (12) внутреннее сопротивление r источника тока.

6. Вычислите значения P , P_1 , P_2 , η .

7. Постройте зависимости этих величин от силы тока, экстраполируя кривые и прямые до пересечения с осями координат.

Контрольные вопросы

1. Закон Ома для замкнутой цепи. Физический смысл ЭДС.
2. Каким нужно сделать сопротивление вольтметра, чтобы измеренное им значение ЭДС было бы как можно ближе к истинному?
3. Дайте определение полной, полезной мощности и мощности потерь.
4. При каком условии полезная мощность будет максимальна? Докажите.
5. Проанализируйте зависимости мощностей P , P_1 , P_2 от силы тока.
6. Коэффициент полезного действия батареи. Проанализируйте зависимость $\eta = f(I)$.
7. Сравните полученные опытным путем зависимости с теоретическими.
8. Физический смысл напряжения, разности потенциалов.
9. Как определить силу тока короткого замыкания и ЭДС батареи, сняв зависимость напряжения от силы тока?

Список литературы

1. Калашников С.Г. Электричество. - М.: Наука, 1964
2. Савельев И.В. Курс общей физики. - М.: Наука, т. 2, 1978 и последующие издания этого курса.
3. Зевеке Г.В., Ионкин П.А., Нетушил А.В., Страхов С.В. Основы теории цепей. - М.: Энергоатомиздат, 1989