



030102. Исследование электрической цепи источника ЭДС.

Цель работы: определение электродвижущей силы источника (ЭДС), внутреннего сопротивления источника ЭДС, исследование зависимостей полезной и полной мощности, развиваемых источником ЭДС, и его коэффициента полезного действия (КПД) от тока нагрузки.

Требуемое оборудование:

Модульный учебный комплекс МУК-ЭТ1.

Приборы:

Блок генератора напряжений ГН2	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

Рассмотрим источник ЭДС, обладающим внутренним сопротивлением r , подключенный ко внешнему сопротивлению R (рис. 1). Такое включение описывается законом Ома для замкнутой цепи.

$$I = \frac{E}{R+r}, \quad (1)$$

где E – значение ЭДС;

I – значение тока в цепи.

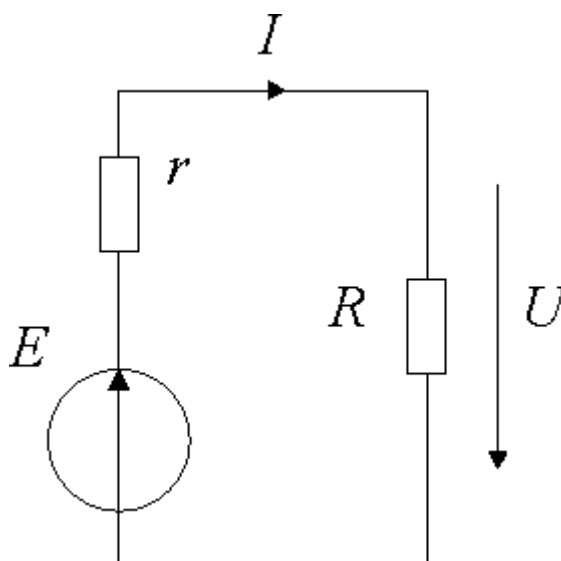


Рис. 1

Если представить выражение 1 в виде $I(R+r)=E$, то видно, что при уменьшении сопротивления R возрастает ток I . Учитывая, что напряжение U на сопротивлении R можно вычислить как $U=IR$, то выражение 1 можно представить в виде:

$$U = E - Ir, \quad (2)$$

Следовательно, ожидаемая зависимость напряжения U от силы тока I при изменении сопротивления R имеет вид, показанный на рис. 2

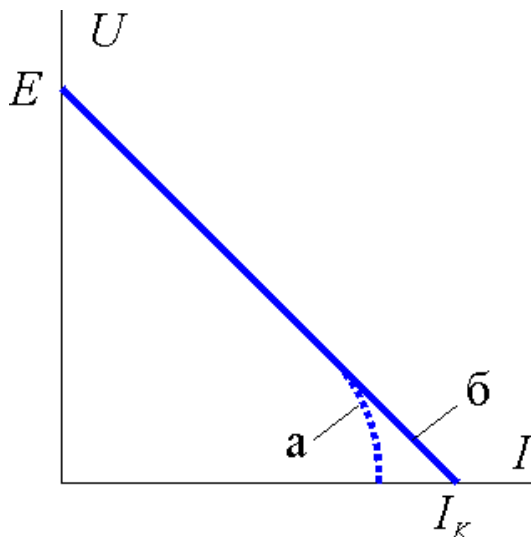


Рис. 2

График этой зависимости является прямой линией (кривая «а»). Пересечение графика с осью напряжений ($I=0$) происходит в точке $U=E$, 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 (2) на силу тока, протекающего по цепи, можно получить:

$$IE = I^2 R + I^2 r. \quad (3)$$

Уравнение (3) представим в виде

$$P = P_1 + P_2, \quad (4)$$

где $P = IE$ - 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).

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

Полезная мощность из (3) может быть представлена в виде:

$$P_1 = E \cdot I - I^2 \cdot r. \quad (5)$$

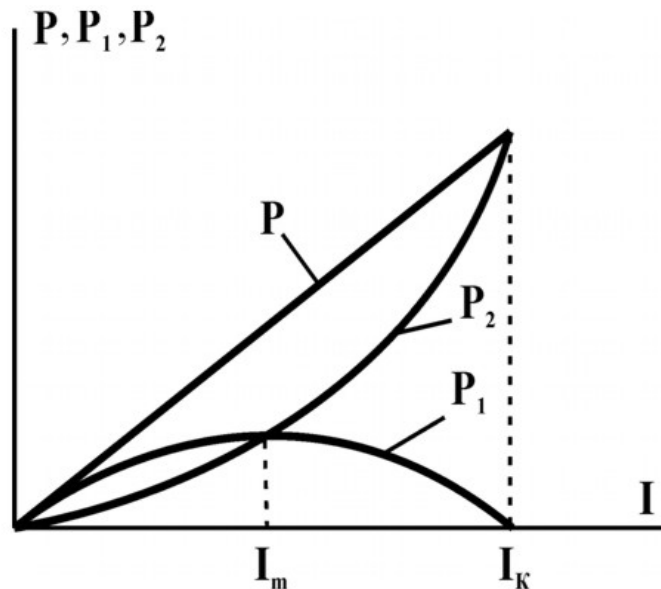


Рис. 3

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

$$\frac{dP_1}{dI} = E - 2Ir, \quad (6)$$

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

$$I_m = \frac{E}{2r}. \quad (7)$$

Так как вторая производная $\frac{d^2P_1}{d^2I} = -2r$ отрицательна, то при значении силы тока I_m полезная мощность имеет максимум $P_{1\max}$, величина которого после подстановки (7) в (5) оказывается равной

$$P_{1\max} = \frac{E^2}{4r}. \quad (8)$$

Сравнивая это выражение с ранее полученным $P_1 = I^2R$, 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:

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

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

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

Представим выражение для U из (2) в (10)

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

Из уравнения (11) 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

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

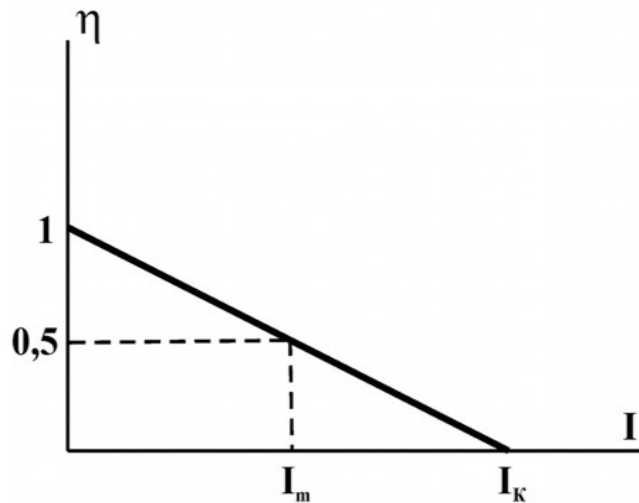


Рис. 4

Это значение тока – уже упомянутый выше ток «короткого замыкания». Действительно, из (2) видно, что при внешнем сопротивлении $R = 0$ («короткое замыкание» источника) сила тока достигает наибольшего значения, даваемого формулой (11). 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 $P = EI_K$ и потери мощности $P_2 = I_K^2 \cdot r$ при токе короткого замыкания $I = I_K$ достигают наибольшего значения и равны друг другу

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

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

$$\eta = \frac{U}{E} = \frac{IR}{I(R+r)} = \frac{r}{2r} = 0,5 = 50\% . \quad (13)$$

Отсюда, при токе $I = I_m$, полезная максимальная мощность равна $P_{1\max} = 0,5P$. Используя (4), 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 $U = E - Ir$, 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 $E = U_x$, так называемый метод «короткого замыкания и холостого хода», является простым методом, позволяющим, не измеряя, определить I_K и E .

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 $U_x = E$, а продолжив до пересечения с осью тока I , находят ток I_K . Внутреннее сопротивление источника ЭДС определяют после этого по формуле

$$r = \frac{E}{I_K} . \quad (14)$$

Методика эксперимента

На рис. 5 представлена электрическая схема. В качестве источника ЭДС используется генератор регулируемого постоянного напряжения блока ГН2 с включенным внутренним сопротивлением (переключатель $R_{ВН}$ нажать). В качестве измерительных приборов используются амперметр и вольтметр, содержащиеся в блоке АВ1. Переменное сопротивление R находится на стенде с объектами исследования СЗ-ЭМ01.

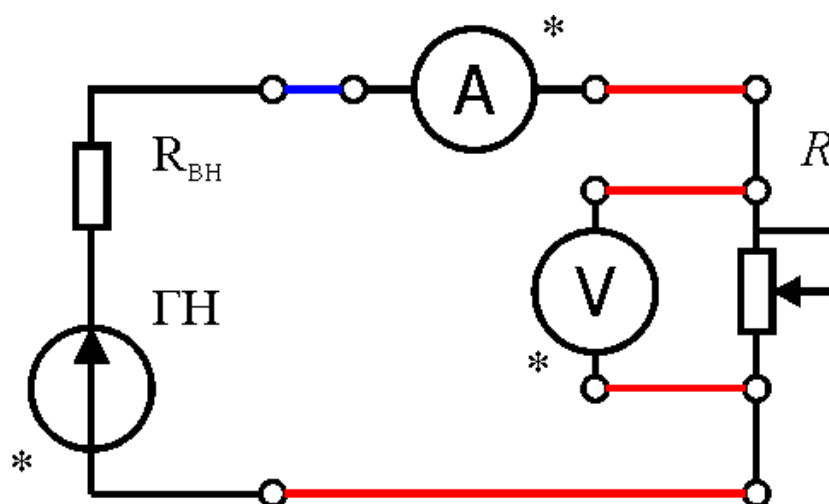


Рис.5

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 E и силу тока короткого замыкания I_K .
4. Определите внутренне сопротивление источника r и затем мощности P , P_1 , P_2 и η .
5. Постройте зависимости этих величин от силы тока.
6. По графику $P_1=f(I)$ найдите значение тока, при котором наблюдается максимум полезной мощности I_{max} . Убедитесь, что значению I_{max} соответствует точка пересечения графиков функций $P_1=f(I)$ и $P_2=f(I)$.
7. По графику функции $U=f(I)$ найдите значение U_{max} соответствующее I_{max} . Пользуясь законом Ома для участка цепи, найдите такое сопротивление, при котором наблюдается максимум полезной мощности. Сравните его с теоретическим, полученным исходя из условия $R=r$.
8. По графику функции $P_1=f(I)$ найдите значение P_{1max} , соответствующее I_{max} . Сравните его с расчетным значением, полученным по формуле (8).
9. По графику функции $\eta=f(I)$ найдите значение η , соответствующее I_{max} . Сравните его с теоретическим, определенным по формуле (13)

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.