

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

### ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ПОЛНОЙ МОЩНОСТИ, ПОЛЕЗНОЙ МОЩНОСТИ И К.П.Д. ИСТОЧНИКА ТОКА ОТ НАГРУЗКИ

**Цель работы:** Научиться определять зависимость полной мощности, полезной мощности и К.П.Д. источника тока от нагрузки и определить оптимальные условия эксплуатации источников.

**Оборудование:**

Стенд со сменной панелью НТЦ-22.03/02; цифровой мультиметр

**Краткая теория.**

Если в проводнике создать электрическое поле и не принять мер для его поддержания, то перемещение носителей тока приведет очень быстро к тому, что поле внутри проводника исчезнет и ток прекратится. Для того чтобы поддерживать ток достаточно долгое время, нужно от конца проводника с меньшим потенциалом (носители тока предполагаются положительными) непрерывно отводить приносимые сюда током заряды, а к концу с большим потенциалом непрерывно их подводить. Иными словами, необходимо осуществить круговорот зарядов, при котором они двигались бы по замкнутому пути. Это согласуется с тем, что линии постоянного тока замкнуты.

Циркуляция вектора напряженности электростатического поля равна нулю. Поэтому в замкнутой цепи наряду с участками, на которых положительные носители движутся в сторону убывания потенциала  $\varphi$ , т. е. против сил электростатического поля. Перемещение носителей на этих участках возможно лишь с помощью сил неэлектростатического происхождения, называемых *сторонними силами*. Таким образом, для поддержания тока необходимы сторонние силы, действующие либо на всем протяжении цепи, либо на отдельных её участках.

Эти силы могут быть обусловлены химическими процессами, диффузией носителей тока в неоднородной среде или через границу двух разнородных веществ, электрическими (но не электростатическими) полями, порождаемыми меняющимися во времени магнитными полями, и т. д. Сторонние силы можно охарактеризовать работой, которую они совершают над перемещающимися по цепи зарядами. Величина, равная работе сторонних сил над единичным положительным зарядом, называется *электродвижущей силой* (э.д.с.).

Аккумуляторная батарея, как и всякий иной источник тока, обладает определенной *электродвижущей силой* (э.д.с)  $\varepsilon$ .

Из закона Ома для полной цепи следует, что

$$U = \varepsilon - I \cdot r_i \quad (1)$$

где  $I$  - сила тока в цепи,  $r_i$  - внутреннее сопротивление батареи,  $U$  - напряжение во внешней цепи.

Внутреннее сопротивление батареи  $r_i$  есть практически постоянная величина, отличная от нуля. Поэтому величина  $I \cdot r_i$  растет прямо пропорционально силе тока  $I$ , а величина  $U$  уменьшается с увеличением силы тока.

Электрическая цепь состоит, как правило, из источника тока, подводящих проводов и потребителя тока (нагрузки). Если сопротивление подводящих проводов пренебрежимо мало, то согласно закону Ома ток в цепи

$$I = \frac{\varepsilon}{R_n + r_i} \quad (2)$$

где  $\varepsilon$  - ЭДС источника тока,  $r_i$  - внутреннее сопротивление источника тока,  $R_n$  - сопротивление нагрузки.

Напряжение на нагрузке (совпадающее с напряжением на зажимах ЭДС) равно:

$$U = I \cdot R_n = \varepsilon \frac{R_n}{R_n + r_i} \quad (3)$$

и меньше величины  $\varepsilon$ .

При  $R_n \Rightarrow \infty$  (когда цепь разомкнута)  $U$  становится равным  $\varepsilon$ , т. е. напряжение на зажимах разомкнутого источника тока равно его электродвижущей силе (ЭДС).

Известно, что мощность, развиваемая источником тока, равна

$$P = U \cdot I = \varepsilon \cdot I \quad (4)$$

Подставив в (4) выражение для тока (2), получим для **полной мощности**  $P_{полн}$ , выделяющейся во всей цепи

$$P_{полн} = \frac{\varepsilon^2}{R_n + r_i} \quad (5)$$

**Полезной мощностью**  $P_n$  называют ту часть этой мощности, которая выделяется на нагрузке  $R_n$ :

$$P_n = R_n \cdot I^2 = \frac{\varepsilon^2}{(R_n + r_i)^2} \cdot R_n = \frac{\varepsilon^2}{(R_n + r_i)} \cdot \frac{R_n}{(R_n + r_i)} \quad (6)$$

Здесь величины  $\varepsilon$  и  $r_i$  - постоянные, таким образом, полезная мощность  $P_n$  является функцией только внешнего сопротивления  $P_n = f(R_n)$ .

Из уравнения (6) видно, что при  $R_n = 0$  и при разомкнутой цепи  $P_n = 0$ . Если же  $R_n$  - конечная положительная величина, то  $P_n > 0$ . Проанализируем, при каких условиях  $P_n = f(R_n)$  будет иметь максимальное значение  $P_n = P_{макс}$ . Для этого необходимо отыскать максимум функции

$$P_n = R_n \cdot I^2 = \frac{\varepsilon^2}{(R_n + r_i)^2} \cdot R_n,$$

т.е. определить, при каких условиях

$$\frac{dP_n}{dR} = \frac{\varepsilon^2 (R_n + r_i)^2 - \varepsilon^2 \cdot R \cdot 2 \cdot (R_n + r_i)}{(R_n + r_i)^4} = 0 \quad (7)$$

Знаменатель здесь не равен бесконечности, значит максимум имеет место тогда, когда числитель равен нулю, т.е.

$$\varepsilon^2 (R_n + r_i)^2 - \varepsilon^2 \cdot R \cdot 2 \cdot (R_n + r_i) = \varepsilon (R_n + r_i) (R_n + r_i - 2R_n) = 0 \quad (8)$$

Равенство (8) осуществляется только тогда, когда  $R_n = r_i$ . Таким образом, полезная мощность батареи становится наибольшей, когда внешнее сопротивление цепи равно внутреннему сопротивлению батареи.

Отношение полезной мощности к полной мощности, развиваемой ЭДС в цепи, определяет такую важную в практическом смысле величину как коэффициент полезного действия (КПД) источника тока:

$$\eta = \frac{P_n}{P_{полн}} = \frac{U \cdot I}{\varepsilon \cdot I} = \frac{U}{\varepsilon} \quad (9)$$

КПД можно определить еще так:

$$\eta = \frac{P_n}{P_{полн}} = \frac{I^2 R_n}{I^2 (R_n + r_i)} = \frac{R_n}{R_n + r_i} \quad (10)$$

Из формулы (10) следует, что КПД источника тем выше, чем больше  $R_n$  по сравнению с внутренним сопротивлением  $r_i$  элемента. (Поэтому  $r_i$  источника тока стремятся делать как можно меньше).

Полезная мощность  $P_n$  имеет максимальное значение при  $R_n = r_i$  (другое решение  $R_n = \infty$  соответствует минимуму  $P_n$ ). Следовательно, чтобы отбирать от данной ЭДС **наибольшую полезную мощность**, нужно соблюдать условие  $R_n = r_i$ . В этом случае КПД получаем из формулы (10)

$$\eta = \frac{R_n}{R_n + r_i} = \frac{R_n}{2R_n} = \frac{1}{2} \quad (10)$$

В этом случае, согласно (10), КПД  $\eta = 0,5$  (50%).

Из уравнения (8) можно написать, что

$$\eta = \frac{U}{\varepsilon} = \frac{\varepsilon - I \cdot r_i}{\varepsilon} \quad (11)$$

При анализе этой формулы видно, что  $\eta = 1$ , когда  $I = 0$ . Затем при увеличении силы тока величина  $\eta$  уменьшается, спадая до нуля при  $R = 0$ , т.е. при коротком замыкании батареи.

Для исследования зависимости полезной мощности и КПД аккумулятора от нагрузки собирают схему представленную на рис. 1.

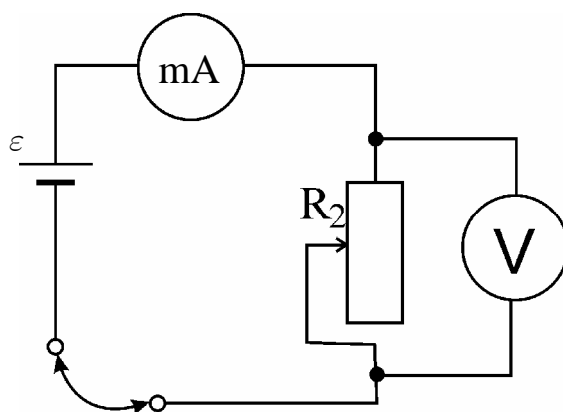


Рис. 1.

На схеме  $\varepsilon$  аккумуляторная батарея,  $V$  и  $mA$  вольтметр и амперметр постоянного тока,  $R_2$  - реостат.

### Порядок выполнения лабораторной работы:

1. Установить сменную панель НТЦ-22.03/02 в разъем станда.

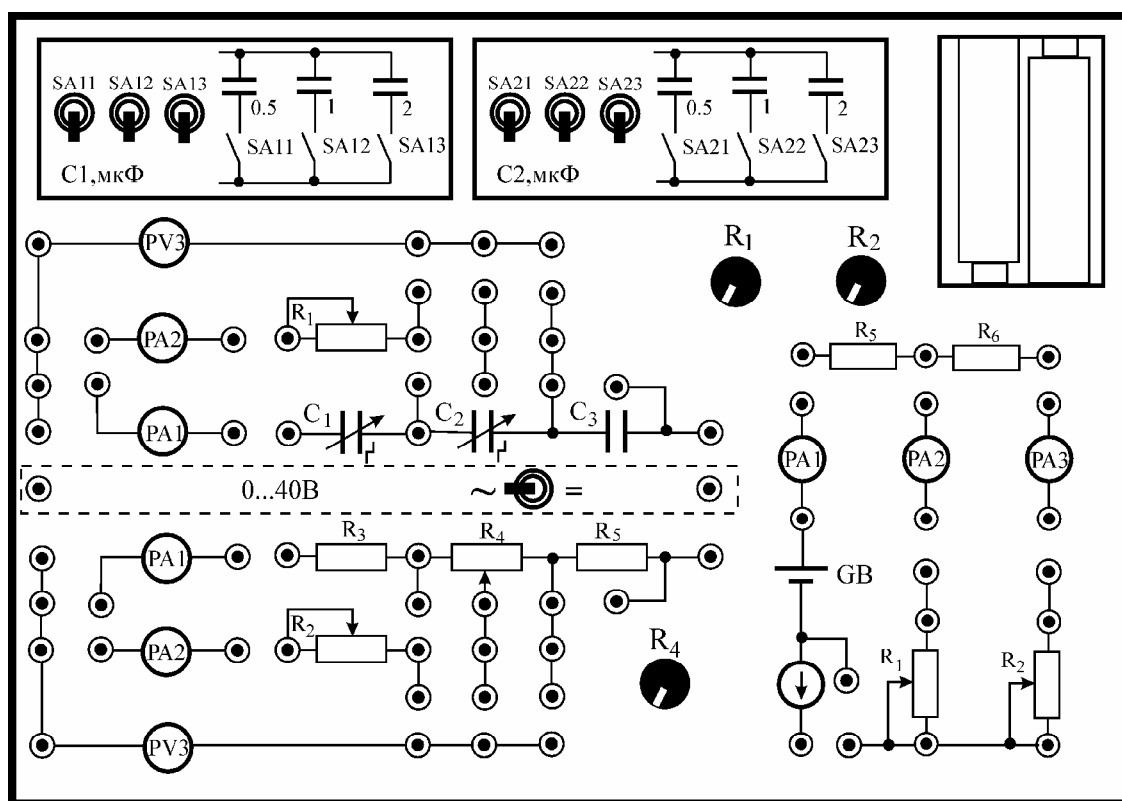


Рис. 2.

2. Установите элементы питания в батарейный отсек на сменной панели.
3. Измерить напряжение батареи без нагрузки (использовать мультиметр) и записать показание вольтметра. Величину, показываемую вольтметром можно считать равной электродвижущей силе (ЭДС) аккумуляторов  $\varepsilon$ .

4. Собрать схему, как показано на рис. 1 используя монтажную схему (рис. 2). В цепь вместо вольтметра необходимо включить мультиметр в режиме измерения напряжения (предел измерения 20В), а амперметр встроен в съемную панель РА1, его значения отображаются на индикаторе стенда РА1. При сборке схемы используйте рис. 3.

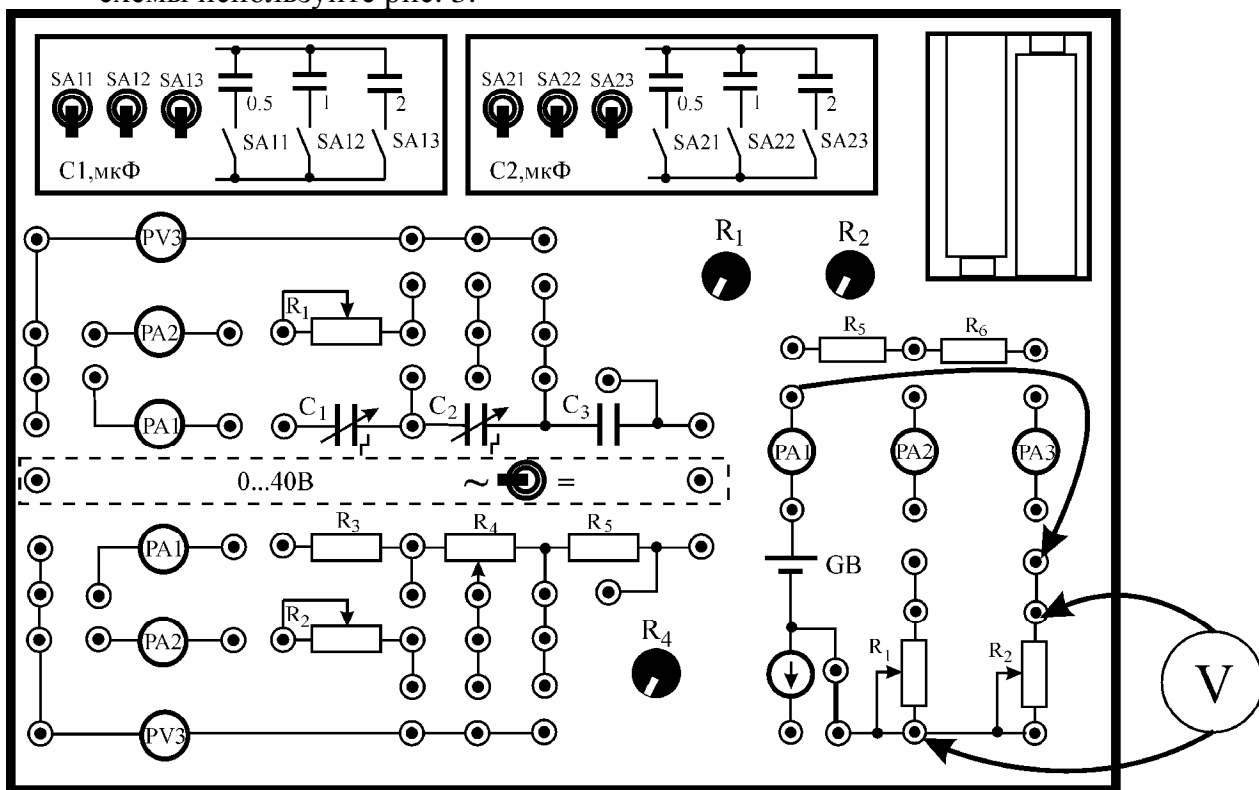


Рис. 3

5. После проверки схемы преподавателем или лаборантом убедитесь, что на панели стенда присутствуют только необходимые для проведения данного опыта переключки, все тумблеры и выключатели находятся в нижнем положении («ВЫКЛЮЧЕНО»), а все галетные переключатели и потенциометры в крайнем левом положении.
6. Включить питание стенда (три автоматических выключателя «СЕТЬ»).
7. Установите номер профиля индикации **2**. Для смены профиля необходимо войти в меню выбора профилей: для этого нажать кнопку энкодера «МЕНЮ» и удерживать 2...3 секунды, пока отображаемый на индикаторе профиль не начнет мигать. После этого вращением ручки SA100 «ЗАДАНИЕ» влево/вправо установить номер профиля индикации **2** и кратковременно нажать кнопку энкодера «МЕНЮ». Выбранный профиль после этого должен отображаться на служебном индикаторе.
8. Установить реостат  $R_2$  в максимальное левое положение. С помощью реостата установить силу тока 0,03А на панели стенда РА1, записать показания вольтметра. Затем, увеличивая последовательно силу тока через 0.01 А, доводят ее до максимального значения. При изменении силы тока записать показания вольтметра, снимая 10-12 точек и записывая в таблицу 1.

Таблица 1

№ п.п.	Измерено		Вычислено		
	I, А	U, В	R, Ом	P, Вт	$\eta$
1.					
2.					
...					

9. Все тумблеры и выключатели установить в нижнее положение («ВЫКЛЮЧИТЬ»), а все галетные переключатели в крайнее левое положение.
10. Выключить питание стенда, разобрать схему.
11. Используя полученные значения I и U, вычислить для каждого значения силы тока величины,  $R = \frac{U}{I}$ ,  $P = I \cdot U$  и  $\eta = \frac{U}{\varepsilon}$  и записать в соответствующие графы таблицы 1.
12. По полученным данным построить график зависимости напряжения от силы тока  $U = f(I)$ .
13. По полученным данным в одних и тех же осях построить графики зависимости полезной мощности от силы тока  $P = f(I)$  и КПД от силы тока  $\eta = f(I)$ .
14. По полученным данным в одних и тех же осях построить графики зависимости полезной мощности от сопротивления  $P = f(R)$  и КПД от сопротивления  $\eta = f(R)$ .

#### Контрольные вопросы.

1. Что называется полезной мощностью аккумулятора?
2. Что называется полной мощностью аккумулятора?
3. Что называется КПД аккумулятора?
4. Покажите, что условие (11) является условием максимума.

#### Список литературы

1. Электрические измерения: Учебник для вузов / под ред. Фремис А.В., Душина Е.М. – Л.: Энергия, 1980. – С. 39.
2. А.Н. Матвеев. Электричество и магнетизм. Учеб. пособие для студ. вузов.- М. : ОНИКС 21 век: Мир и Образование , 2005.- 463с
3. Д.В. Сивухин. Общий курс физики. Электричество. : учеб. пособие для студ. физических спец. вузов- 4-е изд., стереотип.- М. : Физматлит: МФТИ , 2002.- 656с.
4. И.Е. Иродов. Электромагнетизм. Основные законы. М., ЛБЗ, 2001