

Министерство образования Российской Федерации

Томский государственный педагогический университет

И.С. Кашинская

Счетчик электрической энергии

методическое указание

Томск 2003

УДК 621.3

Печатается по решению
редакционно-издательского совета
Томского государственного
педагогического университета

Кашинская И.С. Счетчик электрической энергии. Методическое указание. Томск: Центр учебно-методической литературы Томского государственного педагогического университета, 2003. 16 с.

Соответствует государственному образовательному стандарту.

Издание представляет собой теоретическое изложение и описание лабораторной работы.

Методическое указание предназначено для студентов, изучающих курс «Электротехника»

Табл. 1. Ил. 6.

Рецензент: д.ф.-м.н., проф. Л.В. Горчаков

© Кашинская И.С., 2003
© ТГПУ, 2003

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ИНДУКЦИОННОГО СЧЕТЧИКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ	6
ЗАДАНИЕ	13

ВВЕДЕНИЕ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучить устройство и принцип действия индукционного счетчика электрической энергии.

Определить параметры счетчика, рассчитать погрешность измерений.

ЛИТЕРАТУРА

- 1) Евсюков А.А. Электротехника, М.: «Просвещение», 1979.
- 2) Касаткин А.С. Основы электротехники, М.: «Энергия», 1981.
- 3) Китунович Ф.Г. Электротехника, Минск: «Вышэйшая школа», 1981.

ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ

к лабораторной работе N 12

1. Перед началом работы:

- 1) проверить исправность приборов, соединительных проводов, заземляющих устройств;
- 2) при сборке электрической схемы необходимо обеспечить надежность контактов всех разъемных соединений;
- 3) по возможности избегать пересечения проводов;

ВНИМАНИЕ!

ПЕРВОЕ ОПРОБОВАНИЕ СОБРАННОЙ СХЕМЫ ПРОИЗВОДИТЬ ТОЛЬКО С РАЗРЕШЕНИЯ РУКОВОДИТЕЛЯ ЛАБОРАТОРНОГО ЗАНЯТИЯ.

2. Последовательность включения установки:

- 1) подключить к сети 220 В источник питания;
- 2) включить источник питания;
- 3) убедиться в правильности собранной схемы с помощью регулятора напряжения.

3. Любые переключения в схеме производить только с разрешения преподавателя при отключенном источнике питания, а при наличии в схеме конденсаторов — после их предварительной разрядки.

4. По окончании работы:

- 1) выключить установку в порядке, обратном включению;
- 2) с разрешения преподавателя разобрать схему и расставить приборы по своим местам.

УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ИНДУКЦИОННОГО СЧЕТЧИКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Принцип действия приборов индукционной системы основан на взаимодействии переменного магнитного потока с индукционным током.

В настоящее время промышленность выпускает лишь индукционные счетчики, поэтому при изучении приборов индукционной системы ограничимся рассмотрением только такого счетчика.

При этом отметим, что **индукционные приборы по принципу их действия пригодны лишь для переменных токов, так как в диске или цилиндре ток может индуцироваться лишь под действием переменного магнитного потока.**

Если на пути переменного магнитного потока поместить, например, край алюминиевого диска, способного вращаться вокруг некоторого центра, то в диске будет наводиться переменный индукционный ток, взаимодействующий с этим потоком.

Однако, применив правило левой руки, легко убедиться, что результирующая сила, действующая на диск, равна нулю.

В результате взаимодействия диск будет растягиваться (или сжиматься).

Поэтому для создания вращающего момента часто используют два магнитных потока, сдвинутых относительно друг друга по фазе на некоторый угол (например, на $\pi/2$). При этом возникает вращающееся магнитное поле.

Индукционный счетчик имеет две катушки с сердечниками: токовую катушку и катушку напряжения.

Токовую катушку (Рис. 1) навивают толстым проводом на стальной сердечник и включают последовательно с нагрузкой.

Магнитный поток в ней Φ_I пропорционален току нагрузки.

Катушку напряжения (Рис. 2) обычно навивают большим числом витков тонкого провода на стальной сердечник. Индуктивное сопротивление X_L этого электромагнита много больше активного сопротивления

$R - (X_L \gg R)$, поэтому эту цепь можно считать чисто индуктивной и, следовательно, ток I_U в катушке напряжения отстает по фазе от напряжения на $\pi / 2$.

Край алюминиевого диска одновременно пронизывается обеими потоками:

- дважды потоком Φ_I токовой катушки
- один раз потоком Φ_U катушки напряжения.

Эти потоки индуцируют в диске токи – I_{qI} и I_{qU} соответственно.

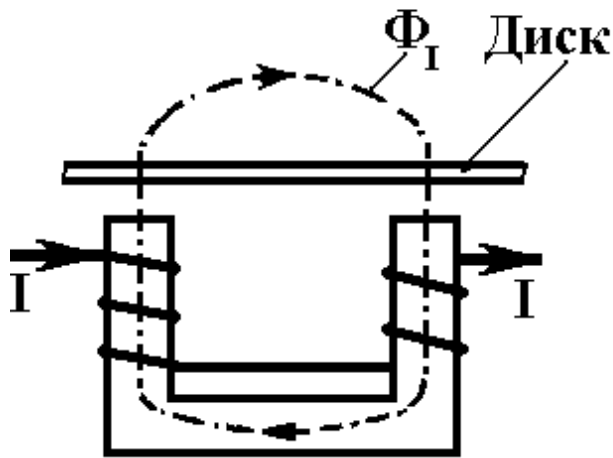


Рис. 1

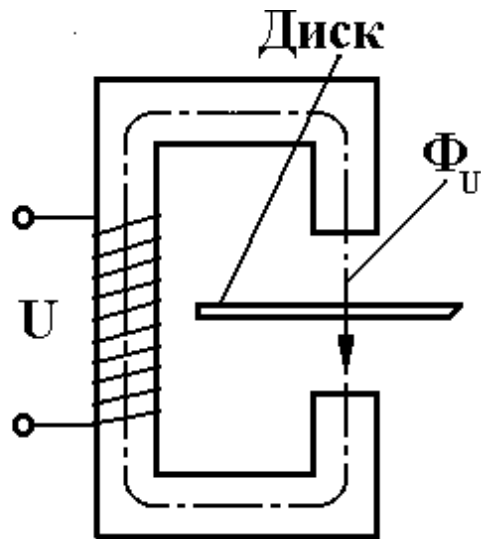


Рис. 2

При этом происходит взаимодействие:

- 1) ток I_{qI} взаимодействует с потоком Φ_U ;
- 2) ток I_{qU} взаимодействует с потоком Φ_I .

Направление индукционных токов I_{qI} и I_{qU} зависит от того, возрастает или убывает создающий в данный момент поток. Это нужно учесть при определении направления действующих на диск сил F_1 и F_2 .

Учитывая изменение токов I_{qI} и I_{qU} , используя правило Ленца и применяя правило левой руки, находим, что силы F_1 и F_2 , создающие вращающий момент, имеют одинаковое направление — от опережающего потока к отстающему.

Найдем значения сил F_1 и F_2 .

По закону Ампера:

$$F = B I l \sin \alpha,$$

где:

$$B = \frac{\Phi}{S}, \quad \sin \alpha = 1,$$

B и I — переменные величины.

Тогда мгновенное значение силы f равно:

$$f = c i \Phi,$$

где:

$$c = \frac{1}{S}$$

Для мгновенных значений сил f_1 и f_2 можно записать:

$$f_1 = c_1 i_{qU} \Phi_I$$

$$f_2 = c_2 i_{qI} \Phi_U$$

Построим векторную диаграмму (Рис. 3):

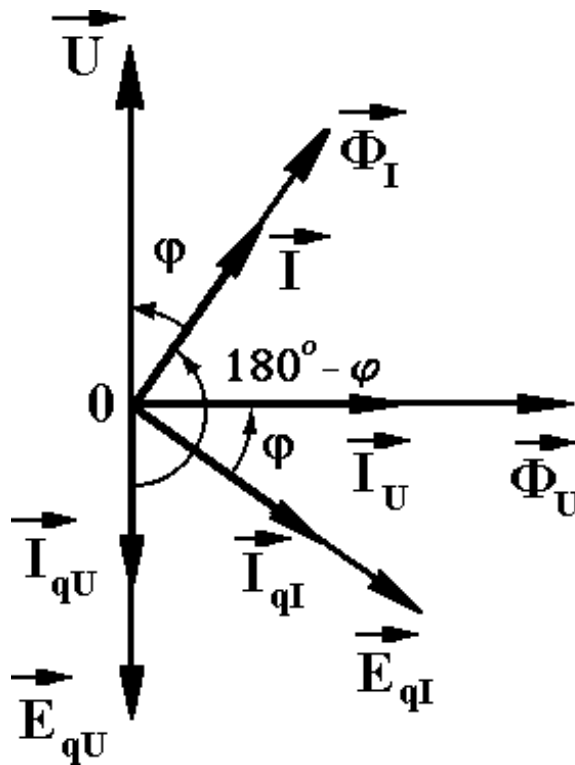


Рис. 3

1. За основной вектор принимается вектор приложенного напряжения \vec{U} .
2. Пусть нагрузка такова, что ток \vec{I} отстает по фазе от напряжения \vec{U} на некоторый угол φ .
3. Ток \vec{I} создает в электромагните магнитный поток $\vec{\Phi}_I$, совпадающий с ним по фазе.
4. Магнитный поток $\vec{\Phi}_I$ индуцирует в диске ЭДС \vec{E}_{qI} , которая, как известно, отстает по фазе от потока на угол $\pi / 2$.
5. Под действием ЭДС \vec{E}_{qI} в диске возникает индукционный ток \vec{I}_{qI} .
Если предположить, что сопротивление материала диска чисто активное, то \vec{I}_{qI} и \vec{E}_{qI} совпадут по фазе.
6. Катушку напряжения, имеющую большое число витков и стальной, почти замкнутый сердечник, можно рассматривать как чисто индуктивную нагрузку, поэтому ток в этой катушке \vec{I}_U можно считать отстающим по фазе от напряжения \vec{U} на угол $\pi / 2$.
7. Ток \vec{I}_U создает магнитный поток $\vec{\Phi}_U$, совпадающий с ним по фазе.
8. Магнитный поток $\vec{\Phi}_U$ в свою очередь наводит в диске ЭДС индукции \vec{E}_{qU} , отстающую от него по фазе $\pi / 2$.
9. Под действием ЭДС \vec{E}_{qU} в диске возникает индукционный ток \vec{I}_{qU} совпадающий по фазе с ЭДС \vec{E}_{qU} .

На основании векторной диаграммы можно записать:

$$\mathbf{i}_{qU} = \mathbf{I}_{qUm} \sin(\omega t - \pi) = -\mathbf{I}_{qUm} \sin \omega t$$

$$\Phi_I = \Phi_{Im} \sin(\omega t - \varphi)$$

$$\mathbf{i}_{qI} = \mathbf{I}_{qIm} \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2} - \varphi\right)$$

$$\Phi_U = \Phi_{Um} \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$

Тогда:

$$\mathbf{f}_1 = -c_1 \mathbf{I}_{qUm} \sin \omega t \cdot \Phi_{Im} \sin(\omega t - \varphi)$$

$$\mathbf{F}_1 = \frac{1}{T} \int_0^T \mathbf{f}_1 dt = c_1' \mathbf{IU} \cos \varphi$$

$$\mathbf{f}_2 = c_2 \mathbf{I}_{qIm} \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2} - \varphi\right) \cdot \Phi_{Um} \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$

$$\mathbf{F}_2 = \frac{1}{T} \int_0^T \mathbf{f}_2 dt = c_2' \mathbf{IU} \cos \varphi$$

Значение результирующей силы F , действующей на диск, равно:

$$\mathbf{F} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 = (c_1' + c_2') \mathbf{IU} \cos \varphi$$

Значение вращающего момента $M_{вр}$, действующего на диск равно:

$$\mathbf{M}_{вр} = \mathbf{F} \mathbf{d} = \mathbf{c} \mathbf{IU} \cos \varphi$$

где: $\mathbf{c}' = (c_1' + c_2') \mathbf{d}$

Под действием вращающего момента диск пришел бы в ускоренное вращение, и число оборотов не соответствовало бы израсходованной электрической энергии, поэтому необходимо наличие противодействующего момента.

Противодействующий момент $M_{пр}$ в индукционном счетчике создается действием поля постоянного магнита M (Рис. 4) и электромагнитов на движущийся край диска:

$$\mathbf{M}_{пр} = \mathbf{c}'' \mathbf{v} = \mathbf{c}'' 2 \pi \mathbf{R} \mathbf{n} = \mathbf{c}''' \mathbf{n}$$

где:

\mathbf{c}'' — постоянный коэффициент, учитывающий толщину, материал диска и индукцию поля постоянного магнита;

\mathbf{v} — значение линейной скорости движения диска;

\mathbf{R} — радиус диска;

\mathbf{c}''' — коэффициент, постоянный для данного прибора.

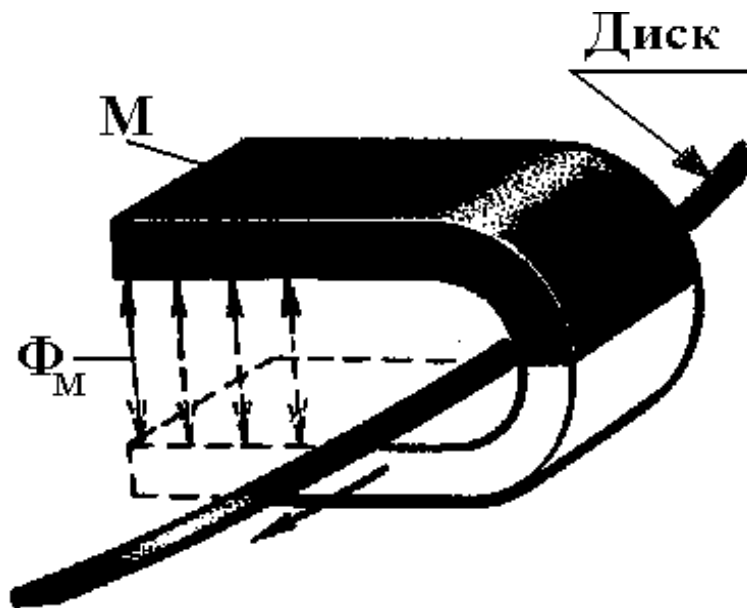


Рис. 4

Движение диска станет равномерным, когда: вращающий момент $M_{вр}$ и противодействующий момент $M_{пр}$ окажутся равными, т.е.:

$$c''' n = c' P$$

Умножив обе части последнего равенства на промежуток времени t , получим:

$$c''' n t = c' P t,$$

где:

$n = N$ — число оборотов диска за время t ;

$P t = W$ — электрическая энергия за то же время t ,

тогда:

$$P t = N \frac{c'''}{c} = W$$

или:

$$W = c N,$$

где:

W — энергия, израсходованная нагрузкой за время t ;

c — постоянная счетчика;

N — число оборотов диска за время t .

Таким образом, **число оборотов диска N индукционного прибора пропорционально израсходованной электрической энергии.**

Такой прибор называют индукционным счетчиком электрической энергии.

Схематическое устройство индукционного однофазного счетчика показано на Рис. 5.

Легкий алюминиевый диск D укреплен на вертикальной оси.

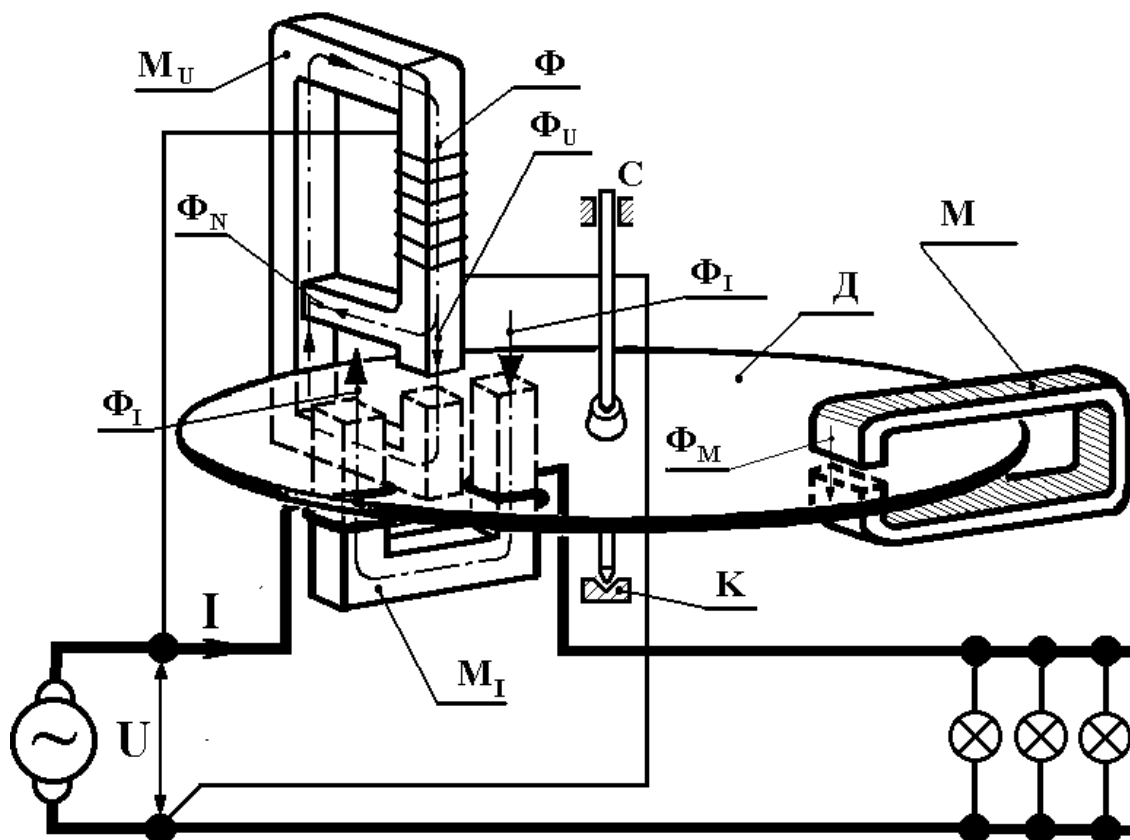


Рис. 5

Диск связан со счетным механизмом через червячную передачу (на схеме не показана).

На некотором расстоянии от центра диска расположены два **неподвижных электромагнита M_I и M_U** .

Электромагнит M_I имеет вид опрокинутой буквы П. По его обмотке проходит весь ток нагрузки.

Магнитный поток Φ_I этого электромагнита дважды пронизывает диск в противоположных направлениях, замыкаясь через воздух (Рис. 1).

Электромагнит M_U имеет вид перевернутой буквы Б. Его обмотка рассчитана на напряжение сети и включается параллельно нагрузке.

Магнитный поток Φ этого электромагнита разветвляется и частично (Φ_U) пронизывает диск в одном направлении, а частично (Φ_N) замыкается через средний стержень с регулируемым воздушным зазором. Этот стержень называют магнитным шунтом для потока Φ .

Система двух электромагнитов создает вращающий момент.

Противодействующий момент, пропорциональный скорости вращения диска, создается электромагнитами и постоянным магнитом **М**.

Наведенный полем этого магнита индукционный ток в диске, взаимодействуя с создавшим его потоком Φ_M , препятствует (в соответствии с законом Ленца) этому вращению, в результате чего создается противодействующий момент.

Счетчик регистрирует энергию в электрических единицах.

Об израсходованной энергии судят по разности показаний счетного механизма за интересующий промежуток времени.

У включенного счетчика обмотка напряжения постоянно находится под напряжением сети, и этим объясняется гудение счетчика даже при выключенной нагрузке.

Для характеристик счетчика введены следующие параметры:

1. Действительная постоянная счетчика — c — представляет собой значение электрической энергии в ватт секундах, действительно израсходованной за время одного оборота диска.

$$c = \frac{W}{N} = \frac{Pt}{N}$$

Действительная постоянная счетчика c зависит от нагрузки, ее определяют по показаниям контрольных приборов при разных нагрузках.

2. Номинальная постоянная счетчика — c_n — количество электрической энергии, которое учитывает счетный механизм за время одного оборота диска.

3. Передаточное число — A_n — величина, обратная номинальной постоянной счетчика c_n , часто применяемая на практике.

$$A_n = \frac{1}{c_n} = \frac{N}{1 \text{ кВт ч}}$$

Передаточное число — число оборотов диска, соответствующее израсходованной энергии в 1 кВт ч. Указывается на щитке счетчика.

4. Относительная погрешность счетчика — Δ .

$$\Delta = \frac{W_1 - W_2}{W_2} 100\%$$

где:

W_1 — энергия, учтенная счетчиком;

W_2 — энергия, действительно израсходованная (вычисленная по показаниям точных приборов).

Так как:

$$W_1 = c_n N,$$

$$W_2 = c N,$$

то относительную погрешность счетчика D можно выразить через номинальную и действительную постоянные:

$$\Delta = \frac{c_n - c}{c} 100 \%$$

5. Чувствительность счетчика P_{\min} — наименьшая мощность в нагрузке, при которой диск счетчика начинает безостановочное вращение. Измеряется в ваттах.

Наряду со счетчиками активной энергии на практике широко применяются счетчики реактивной энергии.

ЗАДАНИЕ

1. Изучить теоретическую часть работы.
2. Рассчитать номинальную постоянную счетчика $c_n \left(\frac{\text{Вт} \cdot \text{с}}{\text{об}} \right)$
 Передаточное число A_n указано на шкале счетчика.
3. Собрать схему для определения параметров счетчика (Рис. 6).
 U — вывод катушки напряжения счетчика;
 I — вывод токовой катушки счетчика;
 $R_n = (R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5)$ — суммарная нагрузка на счетчик;
 R_1, R_2, R_3, R_4, R_5 — отдельные составляющие нагрузки на счетчик, равные между собой, каждая из которых равна **20%** суммарной, т.е.:
 $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_5 = 20\% R_n$
 K_1, K_2, K_3, K_4, K_5 — тумблеры для подключения отдельных составляющих нагрузки R_1, R_2, R_3, R_4, R_5 соответственно.

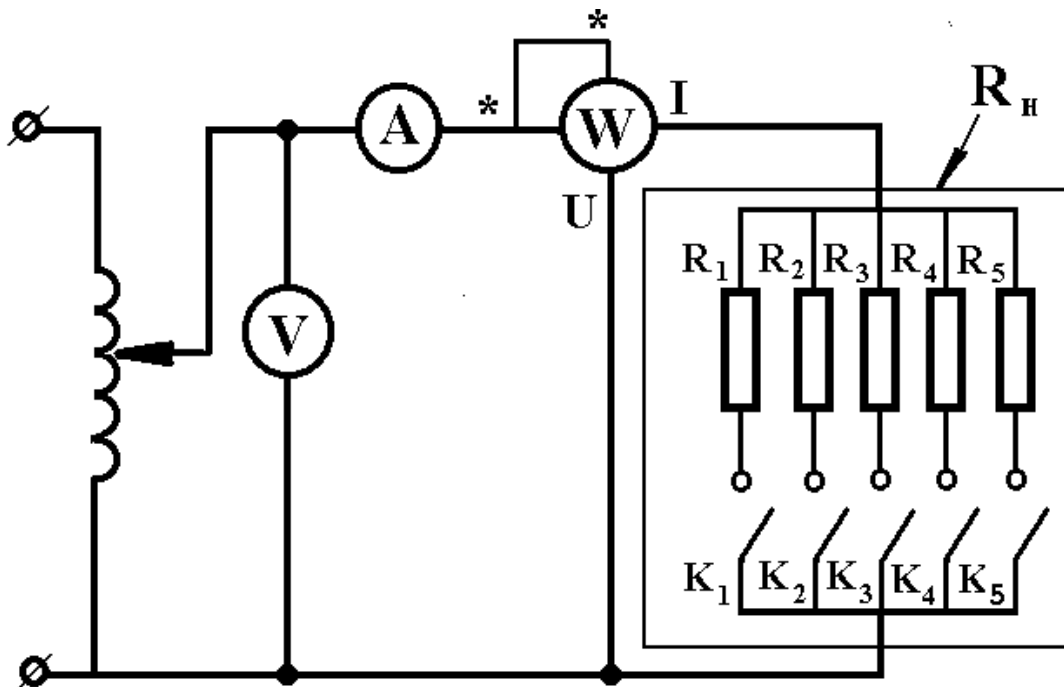


Рис. 6

4. Включить схему для определения действительной постоянной счетчика c :
 - 1) подать на счетчик напряжение U (задается преподавателем) путем плавного поворота регулятора «ПЕРЕМЕННЫЙ ТОК». Отсчет смотреть по вольтметру V .
 - 2) включить нагрузку $R_1 = 20\% R_n$, для чего привести тумблер K_1 в положение «ВВЕРХ». Диск счетчика начнет вращение.
 - 3) произвести отсчет целого числа оборотов счетчика N за 3-5 мин.

4) записать в таблицу:
показания всех приборов схемы;
отсчитанное число оборотов N ;
время t , за которое диск счетчика совершает отсчитанное число оборотов N , в секундах.

N	Измерено				Вычислено			
	U, В	I, А	N, оборо- тов	t, с	$P=I \cdot U,$ Вт	$c_n, \frac{\text{Вт} \cdot \text{с}}{\text{об}}$	$c, \frac{\text{Вт} \cdot \text{с}}{\text{об}}$	$\Delta, \%$
1.								
2.								
3.								
4.								
5.								

5. Повторить все измерения, указанные в пункте 4 задания для нагрузок от **40%** до **100%** от суммарной (номинальной) нагрузки на счетчик R_n (через **20%**), каждый раз, включая дополнительно тумблеры K_2, K_3, K_4, K_5 в положение «ВВЕРХ».

Данные измерений записать в таблицу.

6. Вычислить для каждого измерения:

1) электрическую энергию, измеряемую счетчиком — P ,

$$P = I \times U, \text{ Вт}$$

2) действительную постоянную счетчика — c ,

$$c = \frac{P t}{N} = \frac{I U t}{N} \left[\frac{\text{Вт} \cdot \text{с}}{\text{об}} \right]$$

3) относительную погрешность измерений счетчика — Δ ,

$$\Delta = \frac{c_n - c}{c} 100 \%$$

Данные вычислений записать в таблицу.

ПРИМЕЧАНИЕ. Допускается при выполнении пунктов 4 и 5 данной работы задавать при каждой нагрузке на счетчик целое число оборотов диска N (например, **10, 20** и т.д. соответственно) и производить измерение времени t , в течение которого счетчик отсчитывает эти обороты.

7. Определить чувствительность счетчика P_{min} .

1) Собрать схему для определения чувствительности счетчика, для чего в указанную выше схему **последовательно с амперметром включить миллиамперметр.**

ВНИМАНИЕ!

ВКЛЮЧЕНИЕ СХЕМЫ ПРОИЗВОДИТЬ ТОЛЬКО С РАЗРЕШЕНИЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЯ!

2) включить на счетчик минимальную нагрузку $R_1 = 20\%R_n$ путем поворота тумблера K_1 в положение «ВВЕРХ».

3) плавно повышая напряжение U регулятором «ПЕРЕМЕННЫЙ ТОК», измерить по приборам ток I_{min} и напряжение U_{min} , при которых **диск счетчика начнет безостановочное вращение.**

4) определить чувствительность счетчика P_{min} по формуле:

$$P_{min} = I_{min} \times U_{min}$$

Кашинская Ирина Сергеевна

Счетчик электрической энергии

методическое указание

Ответственный за выпуск Домбраускайте Л.В.
Технический редактор Чуков С.Н.

Сдано в печать 07.04.2003 г.
Тираж 100 экз.
Формат 60x84/16

Печать трафаретная
Бумага офсетная
Усл.-печ. л. 1,37

Центр учебно-методической литературы ТГПУ
Отпечатано в типографии ТГПУ,
г. Томск, ул. Герцена, 49. Тел. (3822) 52-12-93