

**Министерство образования Российской Федерации**

---

**Томский государственный педагогический университет**

---

**И.С. Кашинская**

# **Генератор постоянного тока**

**методическое указание**

**Томск 2003**

УДК 621.3

Печатается по решению  
редакционно-издательского совета  
Томского государственного  
педагогического университета

Кашинская И.С. Генератор постоянного тока. Методическое указание. Томск: Центр учебно-методической литературы Томского государственного педагогического университета, 2003. 20 с.

Соответствует государственному образовательному стандарту.

Издание представляет собой теоретическое изложение и описание лабораторной работы.

Методическое указание предназначено для студентов, изучающих курс «Электротехника»

Табл. 3. Ил. 6.

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

© Кашинская И.С., 2003  
© ТГПУ, 2003

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. УСТРОЙСТВО ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН ПОСТОЯННОГО ТОКА	6
2. РАБОТА ГЕНЕРАТОРА В РЕЖИМЕ ХОЛОСТОГО ХОДА	8
3. РАБОТА ГЕНЕРАТОРА НА НАГРУЗКУ. РЕАКЦИЯ ЯКОРЯ. МОЩНОСТЬ ГЕНЕРАТОРА	11
4. СПОСОБЫ ВОЗБУЖДЕНИЯ ГЕНЕРАТОРОВ ПОСТОЯННОГО ТОКА	14
ЗАДАНИЕ	17

## **ВВЕДЕНИЕ**

### **ЦЕЛЬ РАБОТЫ**

1. Изучить:
  - 1) устройство и принцип действия генератора постоянного тока;
  - 2) работу генератора в режиме холостого хода и на нагрузку;
  - 3) реакцию якоря при постоянной и переменной нагрузках;
  - 4) способы возбуждения и характеристики генератора постоянного тока.
2. Измерить характеристики генератора постоянного тока.

### **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 9

#### **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.

# 1. УСТРОЙСТВО ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН ПОСТОЯННОГО ТОКА

Машины постоянного тока имеют три основных элемента:

- 1) статор,
- 2) ротор (якорь),
- 3) коллектор.

**Статор** машины постоянного тока состоит из **станины (1)** (Рис. 1), на которой укреплены **полюсные наконечники (2)**. На полюсных наконечниках располагаются **обмотки (3)**, называемые **обмотками возбуждения**.

Таким образом, **статор** представляет собой **электромагнит постоянного тока**, магнитное поле которого **возникает при протекании через обмотки возбуждения постоянного тока**, называемого **током возбуждения**.

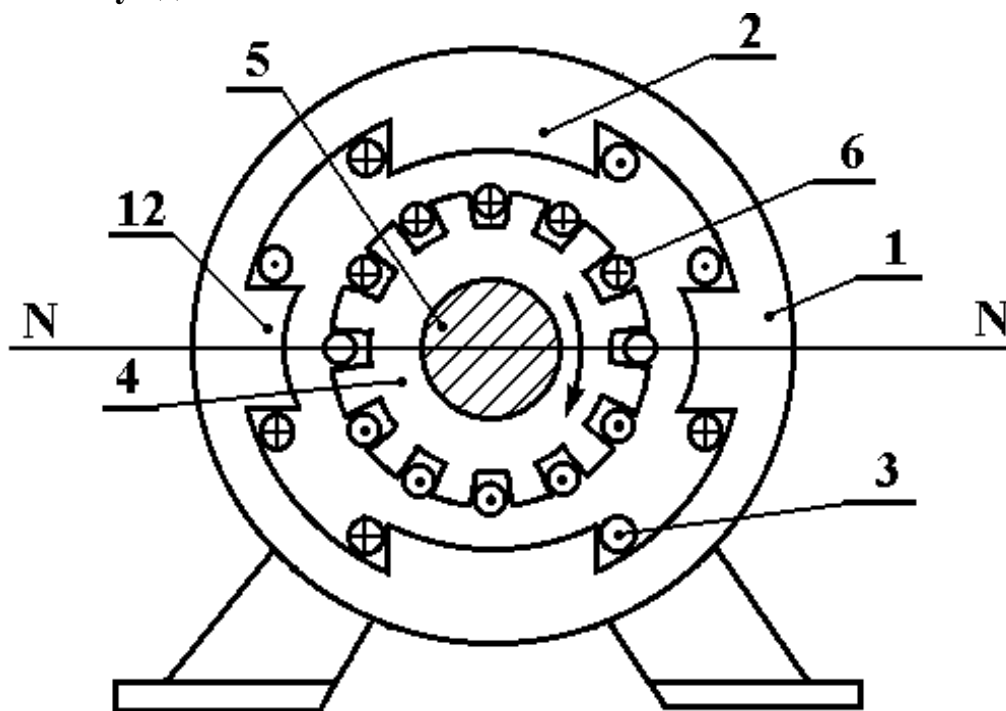


Рис. 1

**Ротор (якорь)** машины постоянного тока представляет собой **цилиндр (4)**, собранный из пластин электротехнической стали и закрепленный на **валу машины (5)**.

На внешней поверхности цилиндра имеются продольные пазы, в которые укладывается **обмотка якоря (6)**.

Обмотка якоря состоит из нескольких секций, причем каждая из секций укладывается в диаметрально противоположные пазы цилиндра.

**Коллектор (Рис. 2)** состоит из системы медных пластин (7), закрепленных на поверхности цилиндра (8) из изоляционного материала, который закрепляется на валу машины возле якоря.

Пластины электрически изолированы друг от друга и от вала машины. При этом число пластин равно числу секций обмотки якоря.

Пластины соединяются с выводами секций обмотки якоря таким образом, что к каждой из пластин коллектора присоединен конец одной секции и начало следующей. Это означает, что секции обмотки и пластины коллектора, к которым они присоединены, располагаются примерно в одной плоскости.

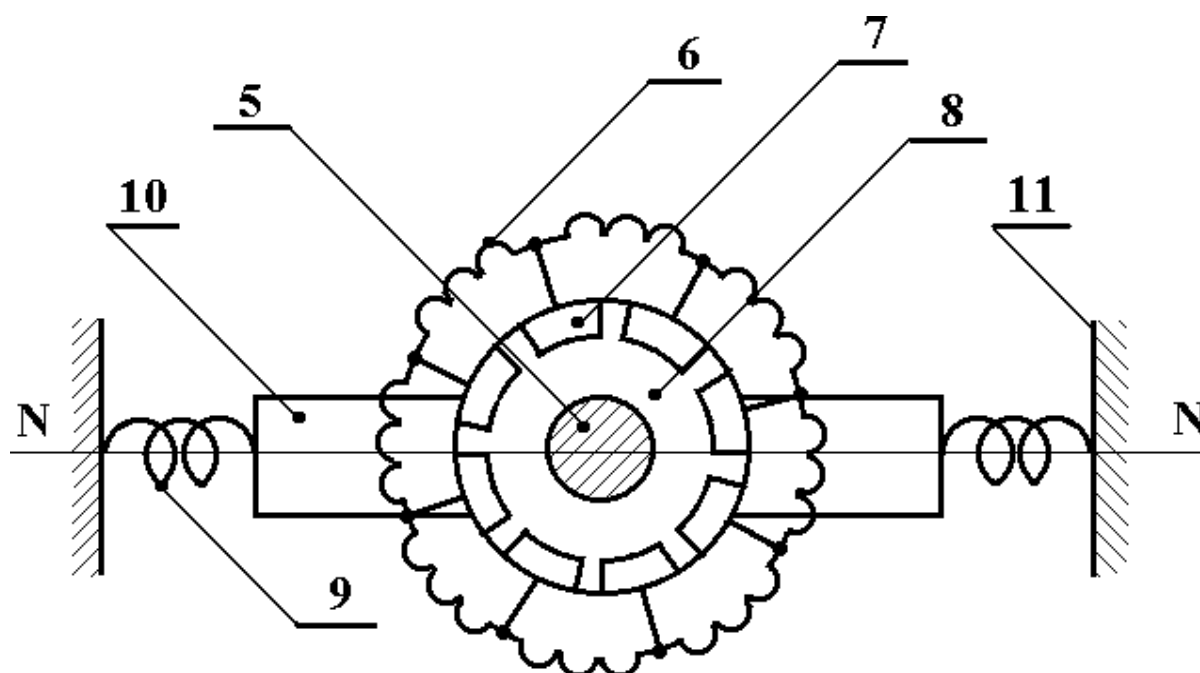


Рис. 2

**Коллектор предназначен:**

- для электрического соединения обмотки якоря, вращающейся при работе машины, с неподвижной внешней электрической сетью;
- для обеспечения в машинах постоянного тока неизменного направления момента силы, действующего на якорь (режим двигателя) или постоянного направления тока (режим генератора).

**Щетки коллектора (10)**, установленные в специальных держателях (11), закрепленных на статоре машины, прижимаются с помощью пружин (9) к пластинам коллектора.

**Линия, проходящая через ось машины и перпендикулярная направлению магнитного поля, называется геометрической нейтралью NN'.**

## 2. РАБОТА ГЕНЕРАТОРА В РЕЖИМЕ ХОЛОСТОГО ХОДА

Рассмотрим подробно принцип работы генератора постоянного тока.

При вращении якоря в магнитном поле в витках его обмотки будут индуцироваться ЭДС. Оказывается, что в витках одной половины обмотки ЭДС имеет один знак, в витках другой половины — противоположный.

Если витки равномерно распределены по поверхности якоря, то тока в обмотке не будет, так как действие ЭДС обеих половин взаимно компенсируется. Легко заметить, что относительно щеток вся обмотка как бы делится пополам, и при вращении якоря витки одной половины обмотки будут постепенно переходить в другую, при этом число витков каждой половины, полярность и значение ЭДС будут оставаться неизменными.

Если теперь подключить нагрузку к щеткам, то во внешней цепи и в каждой половине обмотки установится постоянный ток.

Очевидно, что для более полного использования ЭДС обмотки щетки надо подключать в тех точках, где ЭДС не наводится, т.е. на геометрической нейтрали. При таком расположении щеток обмотка оказывается разделенной на две параллельные ветви, соединенные между собой и внешней цепью щетками (Рис. 2). При этом, когда щетки, расположенные на геометрической нейтрали, переключают две (или более) пластины коллектора, что означает замыкание секций накоротко, ток по этим секциям обмотки не течет и искрение на коллекторе не возникает.

Выведем зависимость ЭДС генератора от параметров машины, скорости вращения якоря и магнитного потока.

ЭДС, индуцируемая в каждом витке обмотки, может быть определена по формуле:

$$e = k B l v \sin\alpha \quad (2.1)$$

Применительно к машине постоянного тока эта формула (и весь последующий вывод) значительно упрощается введением понятия средней индукции.

Пусть магнитный поток, создаваемый главным полюсом —  $\Phi$ , тогда при  $2p$  полюсах общий магнитный поток равен  $2p\Phi$ .

Однако можно с достаточной точностью допустить, что индукция распределена равномерно во всем воздушном зазоре, поэтому для расчетов можно взять ее среднее значение:

$$B = \frac{2p\Phi}{\pi dl}, \quad (2.2)$$



где:

$d$  — диаметр сердечника якоря,

$l$  — образующая цилиндра (длина якоря).

Тогда средняя ЭДС одного проводника при  $\alpha = 90^\circ$  равна:

$$E_{\text{ср}} = B_{\text{ср}} l v \quad (2.3)$$

где:

$l$  — длина активной части проводника (равна образующей цилиндра якоря);

$v$  — линейная (окружная) скорость движения проводника.

Подставим в формулу (2.3) значение средней индукции  $B_{\text{ср}}$  и линейной скорости  $v$ :

$$v = \frac{\pi d n}{60},$$

и после преобразования получим:

$$E_{\text{ср}} = \frac{2p\Phi}{\pi dl} l \frac{\pi d n}{60} = \frac{2p}{60} n \Phi, \quad (2.4)$$

где:

$n$  — скорость вращения якоря (оборотов в минуту).

Пусть обмотка якоря содержит  $2a$  параллельных ветвей, тогда в каждой параллельной ветви будет  $\frac{N}{2a}$  активных проводников.

Так как ЭДС генератора равна ЭДС параллельной ветви, то можно записать:

$$E = E_{\text{ср}} \frac{N}{2a}, \quad (2.5)$$

где:

$E$  — ЭДС генератора.

Подставим выражение (2.4) в уравнение (2.5), после сокращения получим:

$$E = \frac{2p}{60} \frac{N}{2a} n \Phi = \left( \frac{pN}{60a} \right) n \Phi \quad (2.6)$$

В полученной формуле (2.6) дробь, выделенная в скобках, содержит параметры, зависящие от конструкции машины. Для данной конструкции машины эта величина постоянная.

Обозначим эту дробь через  $c_1$ :

$$c_1 = \frac{pN}{60a},$$

тогда для ЭДС генератора окончательно имеем:

$$E = c_1 n \Phi \quad (2.7)$$

**ЭДС генератора постоянного тока пропорциональна значению магнитного потока  $\Phi$  и скорости вращения якоря  $n$ .**

**Следовательно, для поддержания постоянного напряжения на зажимах генератора можно изменять ЭДС либо значением магнитного потока, либо скоростью вращения ротора (либо тем и другим).**

На практике ротор генератора приводят во вращение двигателем, работающим с постоянной скоростью, а магнитный поток изменяют путем изменения тока в обмотке возбуждения.

### 3. РАБОТА ГЕНЕРАТОРА НА НАГРУЗКУ. РЕАКЦИЯ ЯКОРЯ. МОЩНОСТЬ ГЕНЕРАТОРА

#### 3.1. Мощность генератора

При подключении к щиткам генератора внешней нагрузки через нагрузку и обмотку якоря проходит ток. При этом на каждый из проводников обмотки действует сила, направление которой можно определить по правилу правой руки (**Рис. 3**).

В результате создается тормозной момент, который тем больше, чем больше ток нагрузки.

Мощность генератора постоянного тока можно представить формулой механической мощности  $\left( P = \frac{A}{t} \right)$ , при чем под работой  $A$  следует понимать работу, затрачиваемую на преодоление тормозного момента, развиваемого якорем за один оборот при вращении якоря со скоростью  $n$  (без потерь).

Тогда эту формулу можно записать так:

$$P = F \pi d \frac{n}{60}, \quad (3.1)$$

где:

$F$  — сила, действующая на якорь.

При таком взаимодействии на каждый проводник обмотки якоря с током  $I$  действует сила  $F_1 = B_{cp} l I$ , а на  $N$  проводников обмотки:

$$F_{cp} = B_{cp} l I N \quad (3.2)$$

Учитывая соотношение (2.2), последнее уравнение можно записать следующим образом:

$$F_{cp} = \frac{2 p \Phi}{\pi d l} l \frac{I_a}{2 a} N = \frac{p N}{\pi d a} \Phi I_a \quad (3.3)$$

Подставив уравнение (3.3) в уравнение (3.1), получим выражение для мощности:

$$P = F_{cp} \frac{\pi d n}{60} = \frac{p N}{\pi d a} \Phi I_a \frac{\pi d n}{60} = \frac{p N}{60 a} n \Phi I_a \quad (3.4)$$

Так как:

$$\frac{p N}{60 a} n \Phi = E, \text{ то окончательно имеем:}$$

$$P = E I_a \quad (3.5)$$

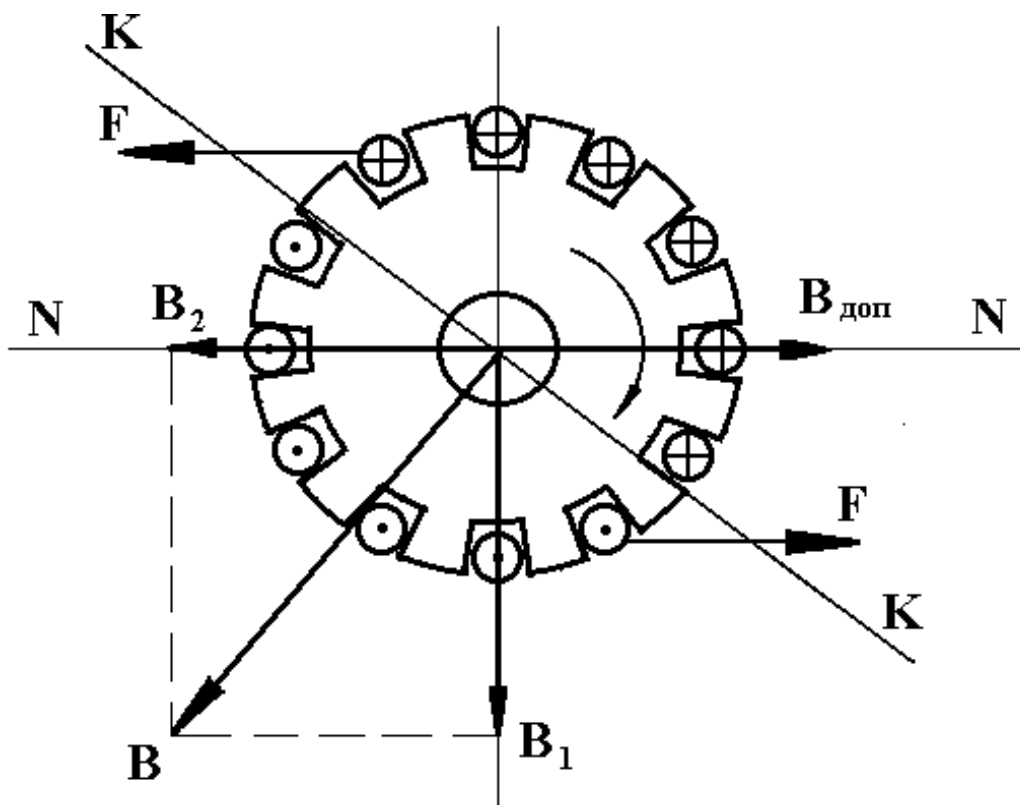


Рис. 3

### 3.2. Реакция якоря

В режиме холостого хода генератора постоянного тока машина имеет только одно магнитное поле ( $B_1$ ) — поле, создаваемое полюсами на Рис. 3.

Но стоит включить нагрузку, как в обмотке якоря появится ток и этот ток создаст свое магнитное поле  $B_2$ , которое искажает первоначальное магнитное поле.

**Искажение первоначального магнитного поля, создаваемого полюсами машины, магнитным полем якоря называется реакцией якоря.**

Вектор  $\vec{B}$  на Рис. 3 — результирующее магнитное поле в генераторе, работающем на нагрузку.

Реакция якоря приводит к двум неприятным эффектам:

1. В некоторых проводниках обмотки направление ЭДС меняется на противоположное, что приводит к уменьшению выходного напряжения с увеличением тока нагрузки.
2. Щетки переключают секции обмотки якоря, в которых ЭДС отлична о нуля — возникает искрение на коллекторе.

Для борьбы с этими эффектами используют следующие методы:

- 1) если нагрузка генератора постоянна, то щетки располагают на физической нейтрали (КК) — линии, перпендикулярной к направлению результирующего магнитного поля  $\vec{B}$  (Рис. 3).

2) если нагрузка генератора меняется со временем в широких пределах, то в мощных генераторах используются дополнительные полюса (12), расположенные на физической нейтрали (Рис. 1).

Обмотки этих полюсов включены встречно по отношению к обмотке якоря и имеют такое число витков, что при любом токе создаваемое ими магнитное поле  $\vec{B}$  компенсирует магнитное поле якоря (Рис. 3).

## 4. СПОСОБЫ ВОЗБУЖДЕНИЯ ГЕНЕРАТОРОВ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Возбуждением генератора называют создание рабочего магнитного поля, благодаря которому во вращающемся якоре создается ЭДС.

Генераторы постоянного тока в зависимости от **способа подключения обмоток возбуждения** разделяются:

- 1) **генераторы с независимым возбуждением**, у которых обмотка возбуждения присоединяется к постороннему источнику постоянного тока;
- 2) **генераторы с самовозбуждением**, у которых обмотка возбуждения питается от обмотки якоря.

При этом начальная ЭДС при вращении якоря возникает за счет остаточного магнитного потока магнитной системе генератора.

Генераторы с самовозбуждением подразделяются на генераторы:

- 1) **параллельного возбуждения**,
- 2) **последовательного возбуждения**
- 3) **смешанного возбуждения**.

Генератор **независимого возбуждения** (Рис 4а) имеет обмотку возбуждения **В**, подключаемую к постороннему источнику тока  $U_B$  через регулировочный реостат **Р**.

Напряжение  $U_H$  на зажимах такого генератора (кривая 1, Рис. 5) с увеличением тока нагрузки  $I_H$  несколько уменьшается в результате:

- а) **падения напряжения на внутреннем сопротивлении обмотки якоря;**
- б) **за счет реакции якоря.**

Причем напряжение  $U_H$  получается всегда устойчивым.

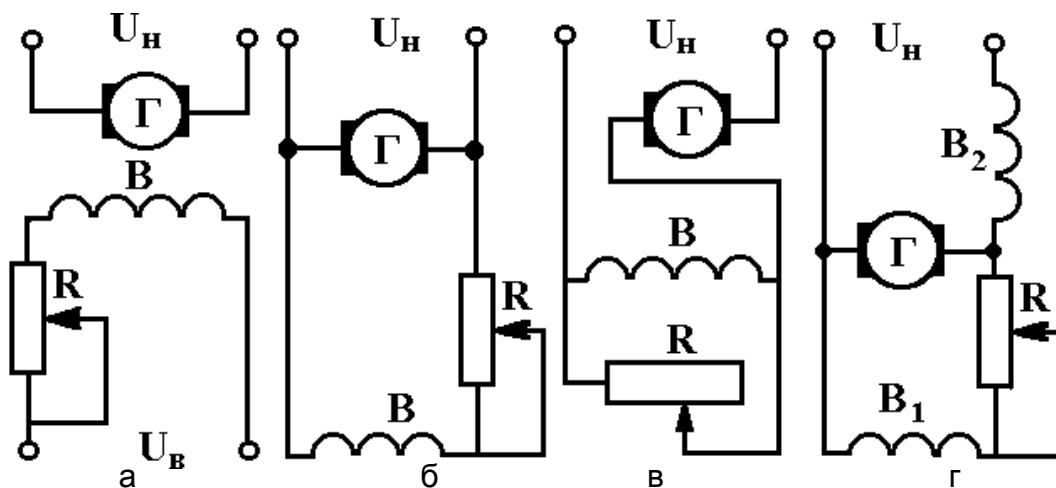


Рис. 4

**Генератор параллельного возбуждения** (Рис. 4б) является генератором с самовозбуждением: обмотку возбуждения **В** подключают через регулировочный реостат **Р** к зажимам того же генератора.

Такое включение приводит к тому, что **при увеличении тока нагрузки  $I_n$  напряжение на зажимах генератора  $U_n$  уменьшается** в результате падения напряжения на обмотке якоря, что, в свою очередь, вызывает уменьшение:

- 1) тока возбуждения,
- 2) эдс в якоре.

Поэтому напряжение на зажимах генератора  $U_n$  **уменьшается несколько быстрее** (кривая **2**, Рис. 5), чем у генератора независимого возбуждения.

Дальнейшее увеличение нагрузки приводит к настолько сильному уменьшению тока возбуждения, что напряжение на нагрузке падает до нуля.

Небольшой ток короткого замыкания обусловлен лишь остаточной индукцией в машине. Поэтому считают, что генератор параллельного возбуждения не боится короткого замыкания.

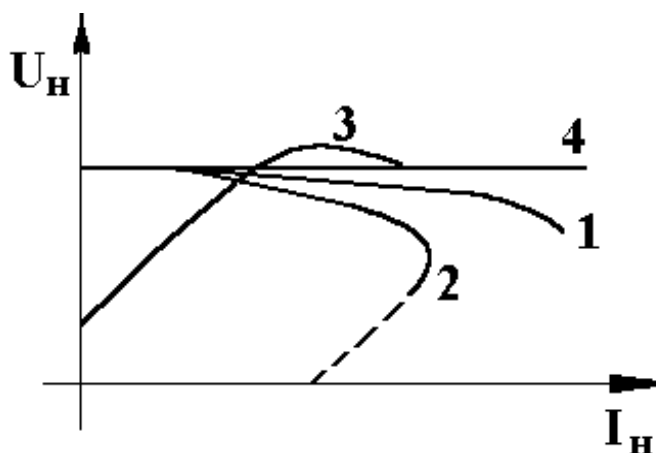


Рис. 5

**Генератор последовательного возбуждения** (Рис. 4в) имеет обмотку возбуждения **В**, включаемую последовательно с обмоткой якоря.

При отсутствии нагрузки ( $I_n = 0$ ) в якоре все же возбуждается небольшая ЭДС за счет остаточной индукции в машине (кривая **3**, Рис. 5).

**С ростом нагрузки напряжение на зажимах генератора  $U_n$  сначала растет, а после достижения магнитного насыщения магнитной системы машины оно начинает быстро уменьшаться** в результате:

- а) падения напряжения на сопротивлении якоря;
- б) размагничивающего действия реакции якоря.

Из-за большого непостоянства напряжения с изменением нагрузки

генераторы с последовательным возбуждением в настоящее время не применяют.

**Генератор смешанного возбуждения** (Рис. 4г) имеет две обмотки возбуждения:

- а)  $\mathbf{B}_1$  — включается параллельно обмотке якоря:
- б)  $\mathbf{B}_2$  — дополнительная, включается последовательно обмотке якоря.

Обмотки включают так, чтобы они создавали магнитные потоки одного направления, а число витков в обмотках выбирают таким, чтобы падение напряжения на внутреннем сопротивлении генератора и уменьшение ЭДС за счет реакции якоря были бы скомпенсированы увеличением ЭДС от потока последовательной обмотки (**кривая 4**, Рис. 5).



## ЗАДАНИЕ

1. Изучить теоретическую часть работы.
2. Собрать схему (рис. 6) для снятия характеристик генератора постоянного тока с независимым возбуждением.

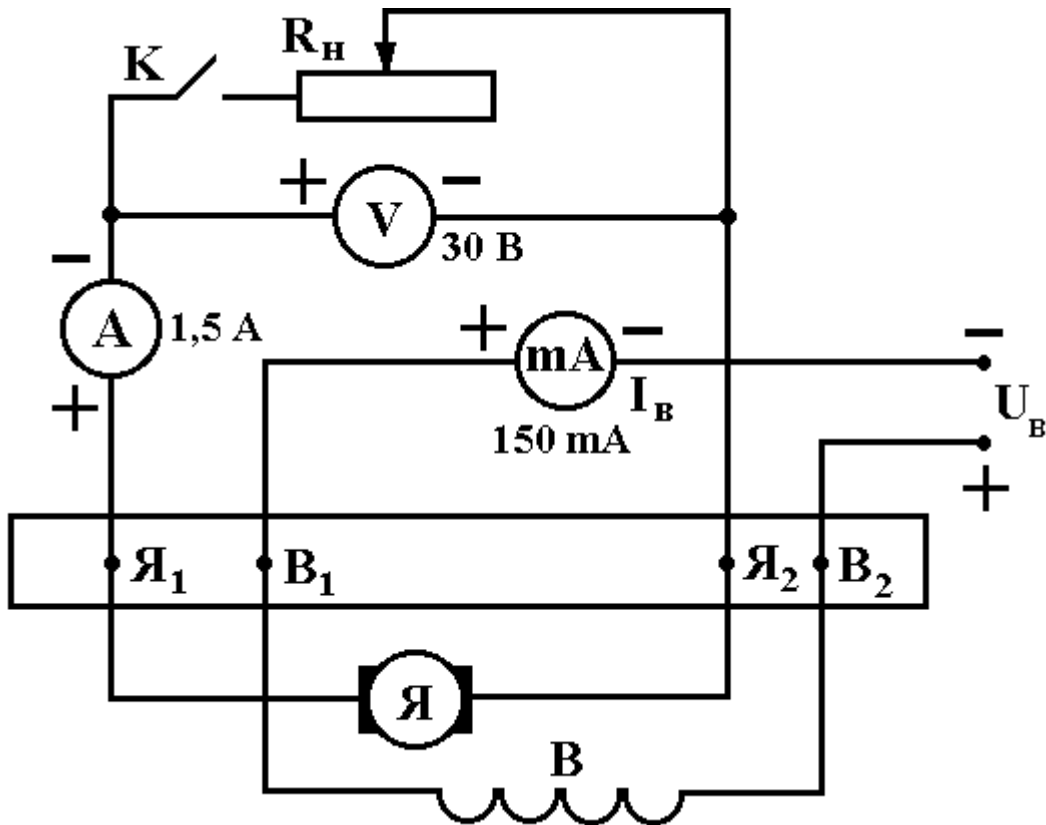


Рис. 6

3. Снять характеристику холостого хода генератора:  
 $E = f(I_B)$  — зависимость ЭДС на выходе генератора  $E$  от тока возбуждения  $I_B$  при отсутствии нагрузки:
  - а) отключить нагрузку, разомкнув ключ  $K$ .
  - б) установив ток возбуждения  $I_B = 10 \text{ mA}$ , произвести измерение ЭДС.
  - в) произвести дальнейшие измерения ЭДС, увеличивая ток возбуждения  $I_B$  до  $150 \text{ mA}$  через  $10 \text{ mA}$ .
 Изменение тока возбуждения  $I_B$  производится изменением напряжения  $U_B$ .
  - г) повторить измерение ЭДС, уменьшая ток возбуждения от  $150 \text{ mA}$  до  $10 \text{ mA}$ .
 Результаты измерений занести в табл. 1.

Таблица 1

$I_B, \text{ mA}$	10	20	30	40	50	60	70
$E, \text{ V} \rightarrow$							
$E, \text{ V} \leftarrow$							

Продолжение табл. 1

$I_B, \text{mA}$	80	90	100	110	120	130	140
$E, \text{V} \rightarrow$							
$E, \text{V} \leftarrow$							

д) построить график зависимости ЭДС генератора от тока возбуждения,  $E = f(I_B)$ , для прямого и обратного измерений.

4. Снять **внешнюю характеристику** генератора — зависимость напряжения на выходе генератора  $U_H$  от тока нагрузки  $I_H$  при постоянном токе возбуждения  $I_B$ ,  $U_H = f(I_H)$  при  $I_B = \text{const}$ .

- включить нагрузку  $R_H$ , замкнув ключ  $K$ .
  - установить ток возбуждения  $I_B$  равным **50 mA**,
  - произвести измерение напряжения  $U_H$ , изменяя ток нагрузки  $I_H$  с помощью реостата  $R_H$ , начиная от **0,2 А** до **1,3 А** через **0,1 А**.
- Результаты измерений занести в табл. 2.

Таблица 2

$I_H, \text{A}$	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3
$U_H, \text{V}$												

д) построить график зависимости  $U_H = f(I_H)$  при  $I_B = 50 \text{ mA}$ .

5. Снять **регулировочную характеристику** генератора — зависимость тока возбуждения  $I_B$  от тока нагрузки  $I_H$  при постоянном напряжении на выходе генератора  $U_H$ ,  $I_B = f(I_H)$ , при  $U_H = \text{const}$ .

- включить нагрузку  $R_H$ , замкнув ключ  $K$ .
  - установить ток нагрузки  $I_H$  равным **0,2 А**.
  - установить такой ток возбуждения  $I_B$ , чтобы напряжение на выходе  $U_H$  было равным **16 В**.
  - произвести измерение тока возбуждения  $I_B$ , увеличивая ток нагрузки от **0,2 А** до **1,3 А** через **0,1 А** с помощью реостата  $R_H$  и поддерживая при этом напряжение на выходе постоянным и равным **16 В**. При увеличении тока нагрузки  $I_H$  напряжение на выходе  $U_H$  будет уменьшаться. Величину этого напряжения следует поддерживать постоянной, увеличивая ток возбуждения  $I_B$ .
- Результаты измерений занести в табл. 3.

Таблица 3

$I_H, \text{A}$	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3
$I_B, \text{mA}$												

д) построить график зависимости  $I_B = f(I_H)$ , при  $U_H = 16 \text{ В}$ .

**Кашинская Ирина Сергеевна**

## **Генератор постоянного тока**

**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

