

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Курганский государственный университет»

Кафедра энергетики и технологии металлов

**ИСПЫТАНИЯ ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА  
С ПАРАЛЛЕЛЬНЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ**

Методические указания к выполнению  
лабораторной работы по курсу «Электрические машины»  
для студентов направления 140400.62 «Электротехника и электроэнергетика»

Курган 2013

Кафедра: «Энергетика и технология металлов»

Дисциплина: «Электрические машины» (направление 140400.62)

Составили: канд. техн. наук, доц. В. И. Мошкин (теоретическая часть);  
ст. преподаватель В. А. Медведев (методика выполнения, техническая редакция).

Составлены на основе переработанных и дополненных аналогичных методических указаний по курсу «Электромеханика» для студентов специальности 140211 «Электроснабжение» / Ю. П. Агафонов. – Курган: Изд-во КГУ, 2011. – 9 с.

Утверждены на заседании кафедры «29» апреля 2013 г.

Рекомендованы методическим советом университета «7» июня 2013 г.

## ИСПЫТАНИЯ ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА С ПАРАЛЛЕЛЬНЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ

Цель работы: ознакомиться с конструктивным устройством двигателя постоянного тока (ДПТ), аппаратурой пуска и управления, методами пуска, реверсирования и регулирования частоты вращения и основным методом испытания ДПТ небольшой мощности с параллельным возбуждением. Опытным путем получить рабочие, механические и электромеханические характеристики. Оценить на основании полученных характеристик некоторые свойства ДПТ с параллельным возбуждением.

### Теоретические пояснения

Пуск ДПТ мощностью более 0,5 кВт непосредственно от сети не может быть осуществлен из-за большого пускового тока. Для уменьшения величины пускового тока в цепь якоря на период пуска вводят пусковой реостат. В процессе разгона ДПТ сопротивление пускового реостата постепенно уменьшают и к концу доводят до нулевого значения.

Реверсирование (изменение направления вращения) ДПТ может осуществляться двумя способами: изменением полярности на зажимах якоря или обмотки возбуждения.

Частота вращения  $n$  ДПТ определяется по выражению [1]:

$$n = \frac{U - (R_{я} - R_{д}) \cdot I_{я}}{k_e \cdot \Phi}, \quad (1)$$

где  $U$  - напряжение сети, В;

$R_{я}$  - сопротивление цепи якоря, Ом;

$R_{д}$  - сопротивление добавочного реостата, включенного последовательно в цепь обмотки якоря, Ом;

$I_{я}$  - ток в цепи якоря, А;

$k_e$  - постоянная, зависящая от конструктивных данных ДПТ;

$\Phi$  - магнитный поток, Вб.

Из выражения (1) вытекает, что возможны три различных способа регулирования частоты вращения ДПТ: включением добавочного реостата  $R_{д}$  в цепь обмотки якоря; изменением магнитного потока  $\Phi$  (тока возбуждения  $I_{в}$ ) двигателя; изменением подводимого напряжения  $U$ .

Повышение частоты вращения ДПТ ограничено условиями коммутации, механической прочностью и допустимым током якоря при постоянстве момента сопротивления на валу машины. Поэтому при опытах не следует допускать увеличения частоты вращения более 20% сверх номинальной  $n_{ном}$ .

Свойства ДПТ характеризуются его рабочими характеристиками. К ним относятся зависимости частоты вращения  $n$ , момента на валу двигателя  $M$ , потребляемого из сети тока  $I$  и КПД двигателя  $\eta$  от полезной мощности на валу двигателя  $P_2$  при  $U = U_{НОМ} = const$  и  $I_B = I_{B,НОМ} = const$ .

Электромеханической характеристикой ДПТ называется зависимость частоты вращения  $n$  от тока якоря  $I_я$ , а механической – зависимость частоты вращения  $n$  от момента на валу двигателя  $M$  соответственно при постоянных величинах питающего напряжения и магнитного потока  $\Phi$ .

Электромеханические и механические характеристики ДПТ, соответствующие номинальному напряжению сети при отсутствии внешних сопротивлений в цепях якоря и обмотки возбуждения, называются естественными. Все другие характеристики называются искусственными.

Чем больше величина добавочного сопротивления  $R_d$ , тем меньше при данном токе или моменте частота вращения  $n$ , т.е. характеристики идут круче и их жесткость меньше, наиболее жесткая характеристика – естественная.

Процентное изменение частоты вращения ДПТ при номинальной нагрузке определяется по выражению [1]:

$$\Delta n\% = \frac{n_0 - n_{НОМ}}{n_{НОМ}} \cdot 100, \quad (2)$$

где  $n_0 = U/k_e \cdot \Phi$  – частота вращения идеального холостого хода ДПТ, об/мин;

$n_{НОМ}$  – частота вращения ДПТ при номинальной нагрузке, об/мин.

Для ДПТ с параллельным возбуждением  $\Delta n\%$  обычно равно 5-15.

Мощность, потребляемая ДПТ от питающей сети, определяется по выражению [1]:

$$P_1 = U \cdot (I_я + I_B). \quad (3)$$

При работе ДПТ имеют место электрические, магнитные и механические потери. Коэффициент полезного действия находится по выражению [1]:

$$\eta = P_2/P_1, \quad (4)$$

где  $P_2, P_1$  – потребляемая из сети и отдаваемая на валу мощности ДПТ соответственно, Вт.

Момент на валу ДПТ определяется по выражению:

$$M = 9,55 \cdot P_2/n, \quad (5)$$

где  $P_2$  – полезная мощность на валу ДПТ, Вт;

$n$  – частота вращения ДПТ, об/мин.

Схема экспериментальной установки для испытания ДПТ с параллельным возбуждением приведена на рисунке 1. Она состоит из двух машин постоянного тока типа ПН-45, сцепленных между собой муфтой. Машина М используется в качестве испытуемого ДПТ. В ее цепях предусматриваются: пусковой реостат типа РЗП-2 завода «Электросила», регулируемый реостат  $R_B$  и необходимые измерительные приборы.

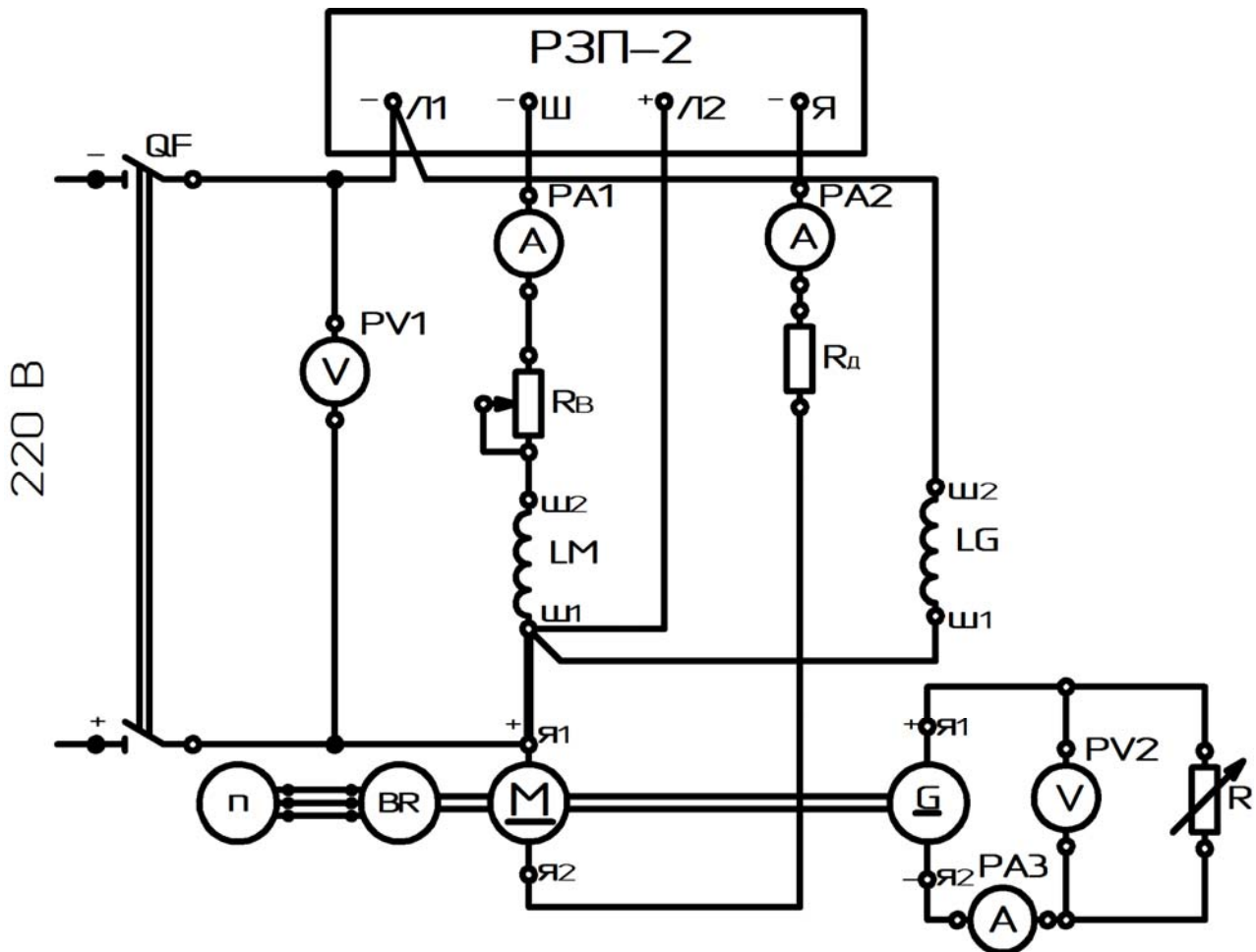


Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки для исследования ДПТ с параллельным возбуждением

Пусковой реостат РЗП-2 применяется для ограничения пускового тока двигателя, а регулировочный реостат  $R_B$  – для изменения тока возбуждения. Пусковой реостат имеет максимальное реле, защищающее двигатель от перегрузки, и контактор, автоматически отключающий двигатель при падении напряжения в сети на 30 – 40% и при срабатывании максимального реле.

Зажимы обмоток ДПТ и генератора G на схеме обозначены следующими буквами: якоря – Я1, Я2; параллельной обмотки возбуждения – Ш1, Ш2.

Машина G служит в качестве нагрузочного генератора, создающего тормозной момент на валу испытуемого ДПТ. Нагрузка генератора осуществляется посредством включенного в цепь его якоря жидкостного реостата R. Изменяя сопротивление жидкостного реостата, можно изменить ток в цепи якоря нагрузочного генератора и момент на валу ДПТ.

Отдаваемая нагрузочным генератором мощность определяется по выражению [2]:

$$P_G = U_G \cdot I_G, \quad (6)$$

где  $U_G = U_2$  – напряжение генератора, В;

$I_G = I_3$  – ток генератора, А.

Коэффициент полезного действия агрегата двигатель – генератор определяется по выражению [2]:

$$\eta_{дг} = \eta_{д} \cdot \eta_{г} = P_{г} / P_{1} . \quad (7)$$

Так как двигатель и генератор одноступенчатые, то приближенно можно считать, что  $\eta_{дг} = \eta_{д}$ . Тогда

$$\eta = \sqrt{\frac{P_{г}}{P_{1}}} . \quad (8)$$

По КПД двигателя  $\eta$  и мощности  $P_{1}$ , подводимой к нему, определяется полезная мощность на валу двигателя [2]:

$$P_{2} = P_{1} \cdot \eta . \quad (9)$$

### Порядок выполнения работы

- 1 Пользуясь плакатами и макетами машин, имеющимися в лаборатории, ознакомиться с устройством, основными элементами конструкции испытуемого ДПТ.
- 2 Записать в таблицу 1 паспортные данные ДПТ.

Таблица 1 – Паспортные данные ДПТ

| Тип | $P_{НОМ}$ | $U_{НОМ}$ | $I_{Я.НОМ}$ | $\eta_{НОМ}$ | $n_{НОМ}$ | $I_{В.НОМ}$ |
|-----|-----------|-----------|-------------|--------------|-----------|-------------|
|     | кВт       | В         | А           | -            | об/мин    | А           |

- 3 Проверить соответствие измерительной и пусковой аппаратуры паспортным данным ДПТ.
- 4 Собрать электрическую цепь для испытания ДПТ по схеме, приведенной на рисунке 1. Особо тщательно должна быть собрана цепь возбуждения, так как при обрыве ее ДПТ при малых нагрузках идет вразнос.
- 5 После проверки собранной электрической цепи по схеме 1 преподавателем осуществить пуск ДПТ на холостом ходу при помощи пускового реостата РЗП-2. При этом электроды жидкостного реостата R должны быть подняты, чтобы они не касались электролита.

*Примечание: перед пуском ДПТ пусковой реостат должен быть полностью введен (штурвал РЗП-2 занимает крайнее левое положение), а регулировочный реостат  $R_{в}$  – полностью выведен. Затем пусковое сопротивление постепенно выводится (штурвал РЗП-2 плавно поворачивается по часовой стрелке). По завершении процесса пуска пусковой реостат выводится полностью (крайнее правое положение штурвала РЗП-2), а регулировочный реостат  $R_{в}$  устанавливается в таком положении, чтобы ДПТ развивал номинальную частоту вращения  $\eta_{НОМ}$  при номинальной нагрузке  $I_{Я.НОМ}$ .*

6 Снять рабочие характеристики двигателя, то есть зависимости  $I_{я}$ ,  $M$ ,  $\eta$ ,  $n$  от  $P_2$  при  $U = U_{НОМ} = const$  и  $I_B = I_{B.НОМ} = const$ . Для этого нагружают двигатель посредством нагрузочного генератора от  $I_{я} = I_{я.х.х.}$  до  $I_{я} = 1,2 \cdot I_{я.НОМ}$  и снимают показания всех измерительных приборов. Производится пять замеров при токах  $I_{я} = (0,25; 0,5; 0,75; 1,0; 1,20) \cdot I_{я.НОМ}$ . Частота вращения двигателя измеряется при помощи тахометра. Результаты всех измерений занести в таблицу 2.

Примечание: при снятии всех остальных характеристик двигателя производится также по пять – шесть замеров.

Таблица 2 – Рабочие характеристики ДПТ

| Измерено |              |            |        |              |              | Вычислено |       |        |     |
|----------|--------------|------------|--------|--------------|--------------|-----------|-------|--------|-----|
| $U(U_1)$ | $I_{я}(I_2)$ | $I_B(I_1)$ | $n$    | $U_{Г}(U_2)$ | $I_{Г}(I_3)$ | $P_1$     | $P_2$ | $\eta$ | $M$ |
| В        | А            | А          | об/мин | В            | А            | Вт        | Вт    | -      | Н·м |

7 Снять электромеханические характеристики двигателя  $n = f(I_{я})$  при  $U = U_{НОМ} = const$  и  $I_B = const$  для трех различных значений тока возбуждения (по указанию преподавателя). Для этого пускают двигатель вхолостую и устанавливают ток возбуждения. После чего измеряют частоту вращения и ток якоря двигателя при различных нагрузках от  $I_{я} = I_{я.х.х.}$  до  $I_{я} = 1,2 \cdot I_{я.НОМ}$ . Данные измерений записать в таблицу 3.

Таблица 3 – Электромеханические характеристики ДПТ

| $I_1 = I_{B1} = \dots A$ |        | $I_1 = I_{B2} = \dots A$ |        | $I_1 = I_{B3} = \dots A$ |        |
|--------------------------|--------|--------------------------|--------|--------------------------|--------|
| $I_{я}(I_2)$             | $n$    | $I_{я}(I_2)$             | $n$    | $I_{я}(I_2)$             | $n$    |
| А                        | об/мин | А                        | об/мин | А                        | об/мин |

8 Снять электромеханические характеристики двигателя  $n = f(I_{я})$  при  $U = U_{НОМ} = const$  для трех различных сопротивлений реостата  $R_{д}$ , включенного в цепь якоря (выбираются по согласованию с преподавателем). Во время опыта ток возбуждения поддерживать равным номинальному значению. Данные измерений записать в таблицу 4.

Таблица 4 – Электромеханические характеристики ДПТ

| $R_{д1} = \dots \text{Ом}$ |        | $R_{д2} = \dots \text{Ом}$ |        | $R_{д3} = \dots \text{Ом}$ |        |
|----------------------------|--------|----------------------------|--------|----------------------------|--------|
| $I_{я}(I_2)$               | $n$    | $I_{я}(I_2)$               | $n$    | $I_{я}(I_2)$               | $n$    |
| А                          | об/мин | А                          | об/мин | А                          | об/мин |

## Методические рекомендации по обработке результатов эксперимента

- 1 Пользуясь опытными данными таблицы 2, рассчитать мощность, потребляемую двигателем из сети  $P_1$ , коэффициент полезного действия  $\eta$ , мощность на валу двигателя  $P_2$  и момент двигателя  $M$  при различных нагрузках по выражениям (3; 8; 9; 5). Результаты расчета записать в таблицу 2. Пример расчета привести в отчете.
- 2 По данным таблицы 2 в одной системе координат построить рабочие характеристики, то есть кривые зависимостей  $I_{я}$ ,  $M$ ,  $\eta$ ,  $n$  от  $P_2$ , и в другой системе координат – механическую характеристику  $n = f(M)$ .
- 3 По данным таблицы 3 в одной системе координат построить электромеханические характеристики ДПТ для трех различных значений тока возбуждения.
- 4 По данным таблицы 4 в одной системе координат построить электромеханические характеристики ДПТ, естественную и искусственные, для трех различных значений сопротивления реостата, включенного цепь якоря.
- 5 По данным таблицы 2 определить процентное изменение частоты вращения ДПТ для номинальной нагрузки по выражению 2.

## Контрольные вопросы

- 1 Как устроен двигатель постоянного тока параллельного возбуждения?
- 2 Для чего нужен пусковой реостат и из каких соображений выбирают величину его сопротивления?
- 3 Какими способами можно изменить направление вращения якоря двигателя?
- 4 Каково назначение главных и добавочных полюсов в двигателе?
- 5 Какая из электромеханических характеристик двигателя постоянного тока параллельного возбуждения отличается наибольшей жесткостью?
- 6 Какими способами можно регулировать частоту вращения якоря двигателя и чем ограничен ее верхний предел?
- 7 Поясните, почему при работе двигателя постоянного тока наблюдается искрение щеток? Как с ним бороться?
- 8 Поясните назначение дополнительных полюсов двигателя постоянного тока.

## Список литературы

- 1 Беспалов, В. Я. Электрические машины [Текст] : учебное пособие для вузов / В. Я. Беспалов, Н. Ф. Котеленец. – М. : Академия, 2006. – С. 231-239.
- 2 Касаткин, А. С. Электротехника [Текст] / А. С. Касаткин, М. В. Немцов. – М. : Академия, 2005. – С. 231-239.



Мошкин Владимир Иванович

Медведев Вячеслав Александрович

**ИСПЫТАНИЕ ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА  
С ПАРАЛЛЕЛЬНЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ**

Методические указания к выполнению  
лабораторной работы по курсу «Электрические машины»  
для студентов направления 140400.62 «Электротехника и электроэнергетика»

Редактор А. С. Мокина

---

Подписано в печать 16.07.13

Формат 60x84 1/16

Бумага тип. № 1

Печать трафаретная

Усл. печ. л. 0,75

Уч.-изд. л. 0,75

Заказ 120

Тираж 20

Цена свободная

---

Редакционно-издательский центр КГУ.

640669, г. Курган, ул. Гоголя, 25.

Курганский государственный университет.