

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Оренбургский государственный университет»  
Кафедра технической эксплуатации и ремонта автомобилей

*А.В. Пузаков*

# **ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ТРЕХФАЗНОГО СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА**

Методические указания

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Оренбургский государственный университет» для обучающихся по образовательным программам высшего образования по направлению подготовки 23.03.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов и специальности 23.05.01 Наземные транспортно-технологические средства

Оренбург  
2023

УДК 629.33(075.8)

ББК 39.33-04я73

П 88

Рецензент – доцент, кандидат технических наук Р.Х. Хасанов

**Пузаков, А.В.**

П 88 Исследование работы трёхфазного синхронного генератора: методические указания / А.В. Пузаков; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2023. – 21 с.

Методические указания содержат описание лабораторной работы и методику ее выполнения.

Методические указания предназначены для обучающихся по образовательным программам высшего образования по направлению подготовки 23.03.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов при изучении дисциплины «Электротехника и электрооборудование транспортных и транспортно-технологических машин и оборудования»; по специальности 23.05.01 Наземные транспортно-технологические средства при изучении дисциплины и «Электротехника и электрооборудование наземных транспортно-технологических средств».

УДК 629.33(075.8)

ББК 39.33-04я73

© Пузаков А.В., 2023

© ОГУ, 2023

## Содержание

1 Цель работы .....	4
2 Содержание работы.....	4
3 Оборудование .....	4
4 Порядок выполнения работы .....	5
4.1 Исследование характеристики холостого хода синхронного генератора .....	5
4.2 Исследование регулировочной характеристики синхронного генератора .....	8
4.3 Исследование внешней и мощностной характеристики синхронного генератора .....	10
5 Контрольные вопросы .....	11
Список использованных источников .....	14
Приложение А .....	15

## 1 Цель работы

Приобрести практические навыки исследования характеристик трёхфазного синхронного генератора. Исследовать и построить характеристики синхронного генератора: холостого хода, нагрузочную, регулировочную, внешнюю и мощностную. Сделать вывод.

## 2 Содержание работы

1. Собрать схему испытания трёхфазного синхронного генератора.
2. Записать показания приборов в режиме холостого хода и под нагрузкой при постоянном значении частоты вращения ротора генератора.
3. Построить в одной системе координат характеристику холостого хода  $E_1 = f(I_2)$  и нагрузочную характеристику  $U_1 = f(I_2)$ .
4. Исследовать зависимость  $I_2 = f(I_1)$  при постоянном значении частоты вращения ротора генератора. Построить регулировочную характеристику.
5. Исследовать и построить внешнюю характеристику  $U_1 = f(I_1)$  при постоянном значении частоты вращения и тока обмотки ротора генератора. Рассчитать и построить мощностную характеристику  $P_1 = f(I_1)$ .
6. Сделать вывод.

## 3 Оборудование

Синхронный трёхфазный автомобильный генератор 9412.3701, лабораторный источник питания постоянного тока MAISHENG MP3020D, специализированный стенд, цифровые мультиметры OWON B41t+, нагрузочные реостаты РСПС-3-12.

## 4 Порядок выполнения работы

### 4.1 Исследование характеристики холостого хода синхронного генератора

Для проведения лабораторной работы используется автомобильный трёхфазный синхронный генератор с отключенными выпрямителем.

К обмотке ротора генератора подключается лабораторный источник питания постоянного тока MAISHENG MP3020D, с помощью которого регулируется сила тока. Частота вращения регулируется с помощью частотного преобразователя EKF VT80-2R2-3B, управляющего работой трехфазного асинхронного двигателя ТМ 41/4-2. Передаточное отношение ременной передачи между асинхронным двигателем и генератором составляет 2.4. Сила тока в обмотке ротора изменяется в диапазоне от 0.5 до 5А.

В основе измерения частоты вращения ротора генератора лежит принцип пропорциональности между частотой тока в обмотке статора и частотой вращения ротора.

$$f = \frac{p \cdot n}{60}, \quad (1)$$

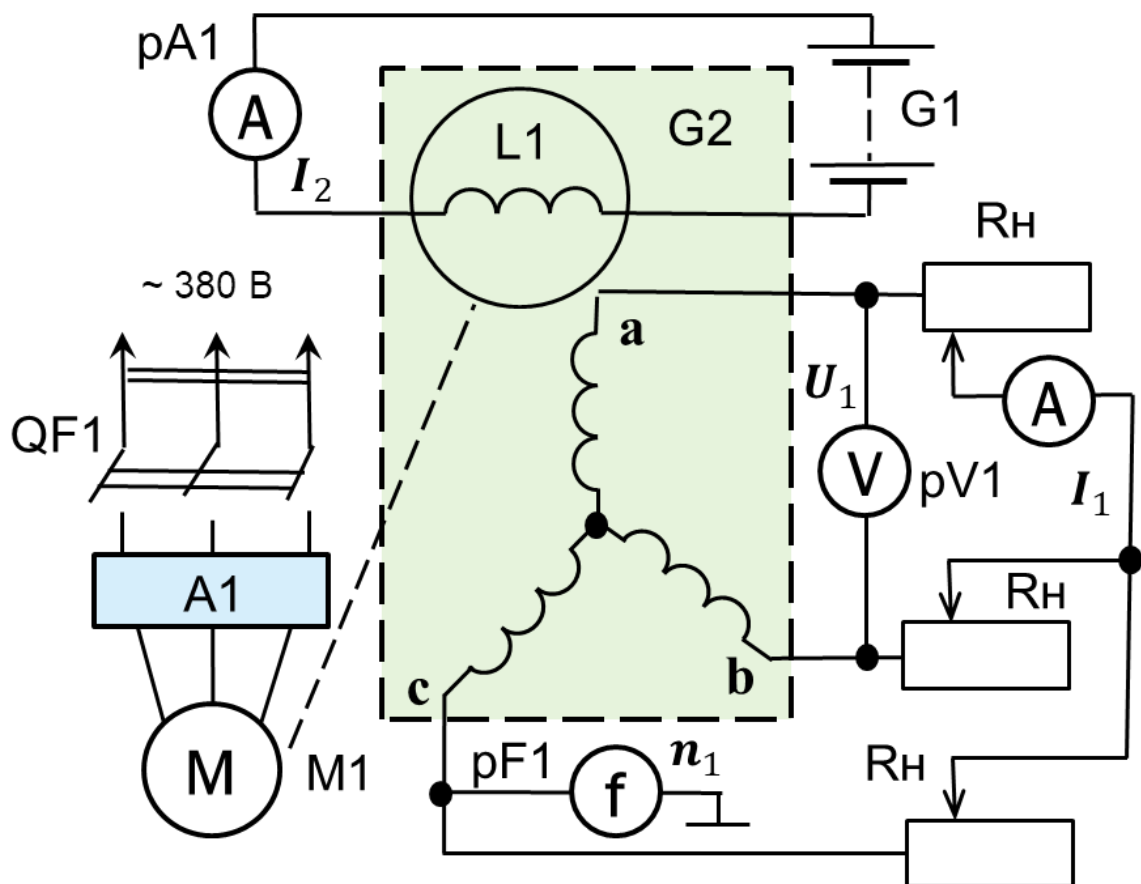
где  $f$  – частота тока в обмотке статора, Гц;

$p = 6$  – число пар полюсов генератора;

$n$  – частота вращения ротора генератора, 1/мин.

Для измерения частоты вращения ротора был использован цифровой мультиметр OWON B41T+, работающий в режиме измерения частоты, подключенный между корпусом генератора и выводом одной из фаз.

Схема подключения измерительной аппаратуры к генератору в ходе проведения эксперимента представлена на рисунке 1.



A1 – частотный преобразователь EKF VT80-2R2-3B; G1 – источник постоянного тока MAISHENG MP3020D; G2 – синхронный трехфазный генератор 9412.3701; M1 – приводной электродвигатель ТМ 41/4-2; L1 – обмотка ротора генератора; PA1 – амперметр; PF1, PV1 – мультиметр Bluetooth OWON B41T+; Rн – нагрузочные реостаты; QF1 – автоматический выключатель.

Рисунок 1 – Схема испытания синхронного генератора

Для исследования характеристики холостого хода к фазам генератора подключают мультиметр в режиме вольтметра, отображающий линейное напряжение без нагрузки (ЭДС).

Включают асинхронный электродвигатель с помощью частотного преобразователя и устанавливают постоянную частоту вращения ротора генератора на уровне  $n_1 = 1000 - 1500$  1/мин. Фиксируют величину ЭДС генератора, соответствующую остаточному магнитному потоку.

Показания заносят в таблицу по форме таблицы 1.

Таблица 1 – Характеристика холостого хода синхронного генератора  
( $nI = \text{const}$ )

Параметры генератора	Номер опыта								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ЭДС генератора $E_1$ , В									
Ток обмотки ротора $I_2$ , А	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0

Далее с помощью лабораторного источника питания увеличивают ток в обмотке ротора и с интервалом 0.5 А записывают показания ЭДС генератора в таблицу по форме таблицы 1.

По данным таблицы 1 строят характеристику холостого хода генератора  $E_1 = f(I_2)$ . Примерный вид характеристики холостого хода представлен на рисунке 2.

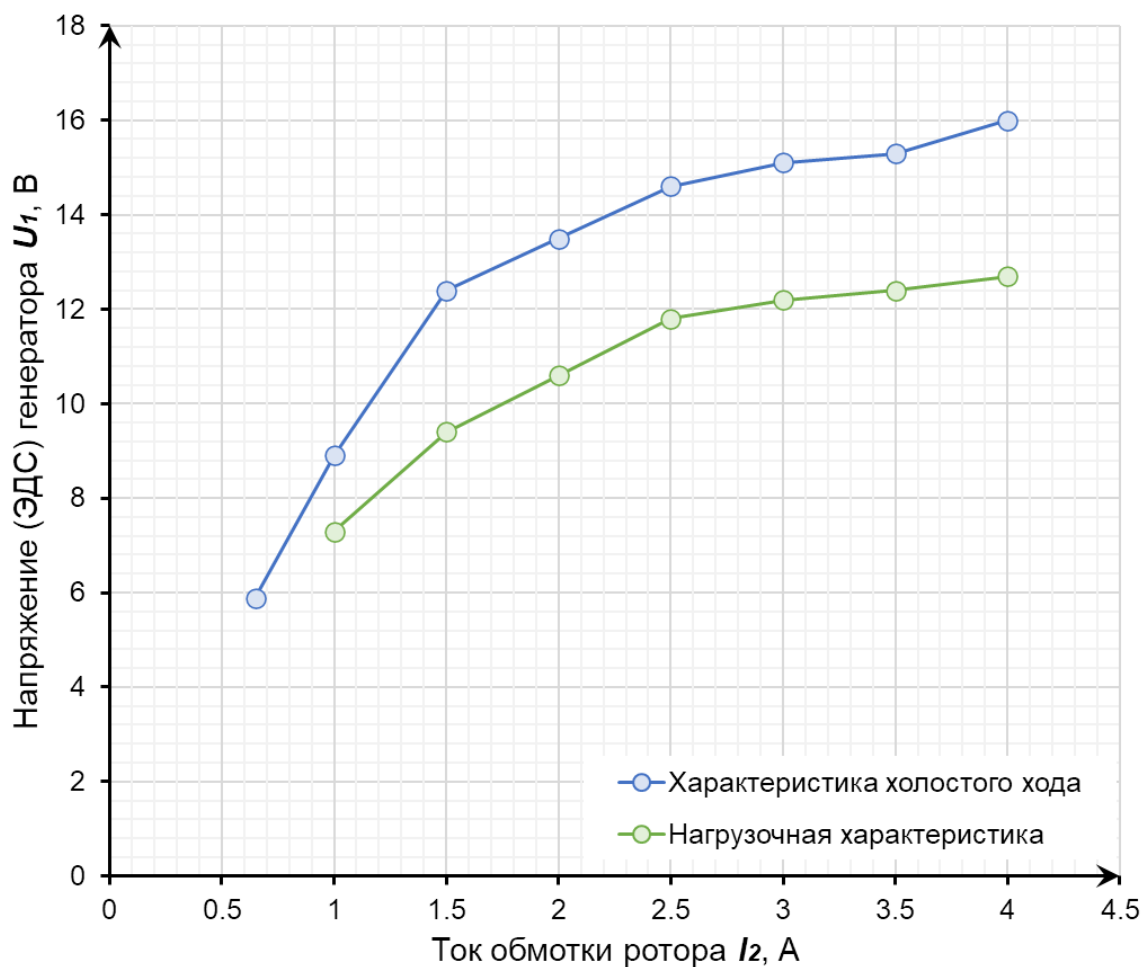


Рисунок 2 – Характеристика холостого хода и нагрузочная характеристика синхронного генератора

Для исследования нагрузочной характеристики к фазам генератора подключают нагрузочные реостаты, с помощью которых устанавливают заданное преподавателем значение тока обмотки статора. Линейное напряжение генератора измеряют мультиметром в режиме вольтметра, а значение силы тока с помощью амперметра, включенного в цепь фазы статора.

Далее, аналогично предыдущему опыту, изменяя силу тока обмотки ротора в интервале от 0.5 А до 4.0 А фиксируют значения линейного напряжения и заносят показания в таблицу по форме таблицы 2.

Таблица 2 – Нагрузочная характеристика синхронного генератора ( $nI = \text{const}$ ,  $I_1 = \text{const}$ )

Параметры генератора	Номер опыта								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Напряжение генератора $U_1$ , В									
Ток обмотки ротора $I_2$ , А									

По данным таблицы 2 строят нагрузочную характеристику, совмещая ее в одной системе координат с характеристикой холостого хода. Результат построения показан на рисунке 2.

#### 4.2 Исследование регулировочной характеристики синхронного генератора

Подготовка к исследованию регулировочной характеристики проводится аналогично предыдущему эксперименту.

В процессе эксперимента обеспечивается постоянство частоты вращения ротора генератора и его выходного напряжения. Записывают показания приборов при нулевом значении тока статора в таблицу по форме таблицы 3.

Таблица 3 – Регулировочная характеристика синхронного генератора  
 ( $nI = \text{const}$ ,  $U_1 = \text{const}$ ,  $B = \text{const}$ )

Параметры генератора	Номер опыта					
	1	2	3	4	5	6
Ток обмотки статора $I_1$ , А						
Ток обмотки ротора $I_2$ , А						

Далее увеличивают значение силы тока в обмотке статора с помощью нагрузочных реостатов. При этом выходное напряжение генератора снизится. Для обеспечения постоянства выходного напряжения необходимо увеличить значение тока в обмотке ротора. Опыт повторяют для 4-5 значений силы тока обмотки статора. Результаты эксперимента заносят в таблицу по форме таблицы 3.

Примерный вид регулировочной характеристики приведен на рисунке 3.

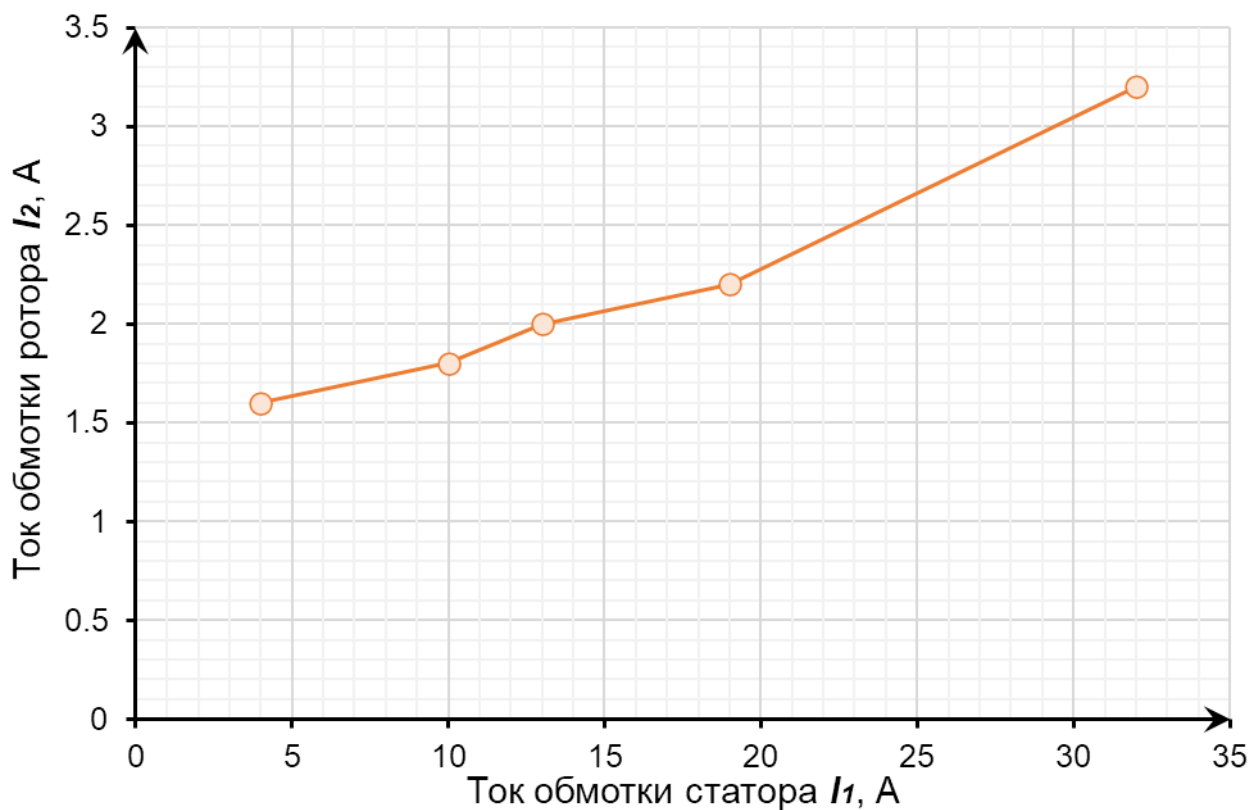


Рисунок 3 – Регулировочная характеристика синхронного генератора

### 4.3 Исследование внешней и мощностной характеристики синхронного генератора

Для исследования внешней характеристики генератора ротор разгоняют до заданной преподавателем частоты вращения. Первая точка характеристики соответствует холостому ходу. В таблицу по форме таблицы 4 записывают показания силы тока статора и напряжения генератора. Затем увеличивают силу тока с помощью нагрузочных реостатов и с интервалом в 2 А записывают показания в таблицу 4. По формуле (1) вычисляют мощность генератора, результат также записывают в таблицу 4.

Таблица 4 – Внешняя и мощностная характеристики синхронного генератора ( $nI_2 = \text{const}$ ,  $I_2 = A = \text{const}$ )

Параметры генератора	Номер опыта				
	1	2	3	4	5
Напряжение генератора $U_1$ , В					
Ток обмотки статора $I_1$ , А					
Мощность генератора $P_1$ , Вт					

Мощность синхронного генератора  $P_1$ , Вт

$$P_1 = U_1 \cdot I_1, \quad (1)$$

где  $U_1$  – напряжение генератора, В;

$I_1$  – сила тока обмотки статора, А.

По данным таблицы 4 строят внешнюю и мощностную характеристику синхронного генератора. Примерный вид зависимостей приведен на рисунке 4.

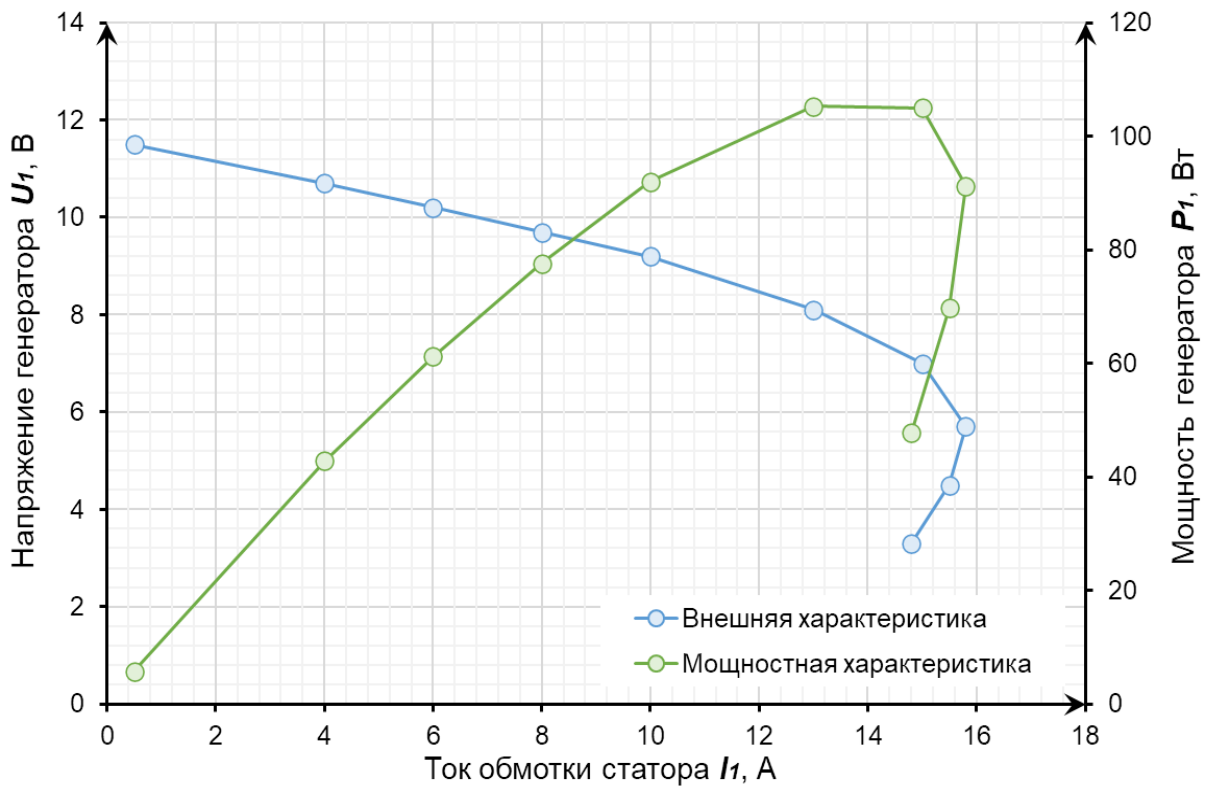


Рисунок 4 – Внешняя и мощностная характеристики синхронного генератора

## 5 Контрольные вопросы

1. Объясните устройство и принцип работы синхронной машины. Почему при построении теории синхронных машин их подразделяют на явнополюсные и неявнополюсные?
2. С какой целью в синхронных генераторах устанавливается демпферная клетка?
3. Покажите, что синхронная машина обратима, может работать как в генераторном, так и в двигательном режимах. Объясните конструктивные отличия двигателей по сравнению с генераторами. Чем они обусловлены?
4. Перечислите способы пуска синхронных двигателей. Объясните, зачем при асинхронном пуске синхронного двигателя обмотку

возбуждения замыкают на активное сопротивление. Почему не на индуктивное? Нельзя ли оставить обмотку возбуждения разомкнутой?

5. Сравните свойства синхронного и асинхронного двигателей. Оцените достоинства и недостатки каждого из них.

6. В каких режимах могут работать синхронные машины и где они применяются?

7. Какие магнитные потоки имеют место в синхронной машине?

8. Начертить и объяснить угловую характеристику синхронной машины.

9. Как изменяется коэффициент мощности синхронной машины при изменении тока возбуждения?

10. В чем состоит явление реакции якоря?

11. Как проявляется явление реакции якоря при активной, индуктивной и емкостной нагрузке синхронного генератора?

12. Почему влияние реакции якоря расценивается как вредное?

13. Поясните вид характеристики холостого хода синхронного генератора.

14. Что представляет собой внешняя характеристика генератора и при каких условиях она снимается?

15. Что представляет собой регулировочная характеристика и при каких условиях она снимается?

16. При каком максимальном угле нагрузки работа синхронного неявнополюсного генератора остается устойчивой?

17. Почему частота вращения ротора двигателя остается неизменной при изменении нагрузки?

18. Перечислите потери, которые возникают при работе синхронного генератора.

19. Каким образом конструктивно осуществляется токоподвод к обмотке возбуждения синхронной машины?

20. Синхронные машины относятся к машинам переменного тока, но в них шихтуется только магнитная система статора (якоря). Объясните, почему не шихтуется индуктор этих машин.

21. Явнополюсные синхронные машины способны развивать активную и реактивную мощности без возбуждения ( $E=0$ ). Объясните природу этого эффекта.

22. От чего зависит максимальный момент синхронного двигателя? Как повлияет на режим работы двигателя снижение напряжения сети при постоянной нагрузке?

23. Что произойдет с синхронным двигателем, если во время работы отключить с помощью муфты нагрузку на валу?

24. Что произойдет с синхронным двигателем, если отключить внезапно источник питания обмотки ротора?

25. Каким образом возможно регулировать скорость вращения синхронного двигателя?

## Список использованных источников

1. Касаткин, А.С. Электротехника: учеб. для студентов неэлектротехн. специальностей вузов / А.С. Касаткин, М.В. Немцов. – 11-е изд., стер. – М.: Академия, 2008. – 544 с.
2. Хернер, А. Автомобильная электрика и электроника /А. Хернер, Х-Ю. Риль; перевод с нем. ЧМП РИА «GMM-пресс». – М.: ООО «Издательство «За рулём», 2013. – 624 с.
3. Беспалов, В.Я. Электрические машины: учеб пособие для студ. высш. учеб. заведений /В.Я. Беспалов, Н.Ф. Котеленец. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 320 с.
4. Китаев, В.Е. Электрические машины. Ч.II. Машины переменного тока: учеб. пособие для техникумов /Под. ред. В.Е. Китаева. – М.: Высш. школа, 1978. – 184 с.
5. Wyatt, D. Aircraft Electrical and Electronic Systems / D. Wyatt, M. Tooley. – Second Edition – NY, Routledge, 2018. – 439 p.
6. Bell, J.A. Modern Diesel Technology: Electricity & Electronics / J.A. Bell - Second Edition – NY, Delmar, 2014. – 546 p.

## Приложение А (рекомендуемое)

### Бланк лабораторной работы

#### Исследование работы трехфазного синхронного генератора

А.1 Цель работы: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

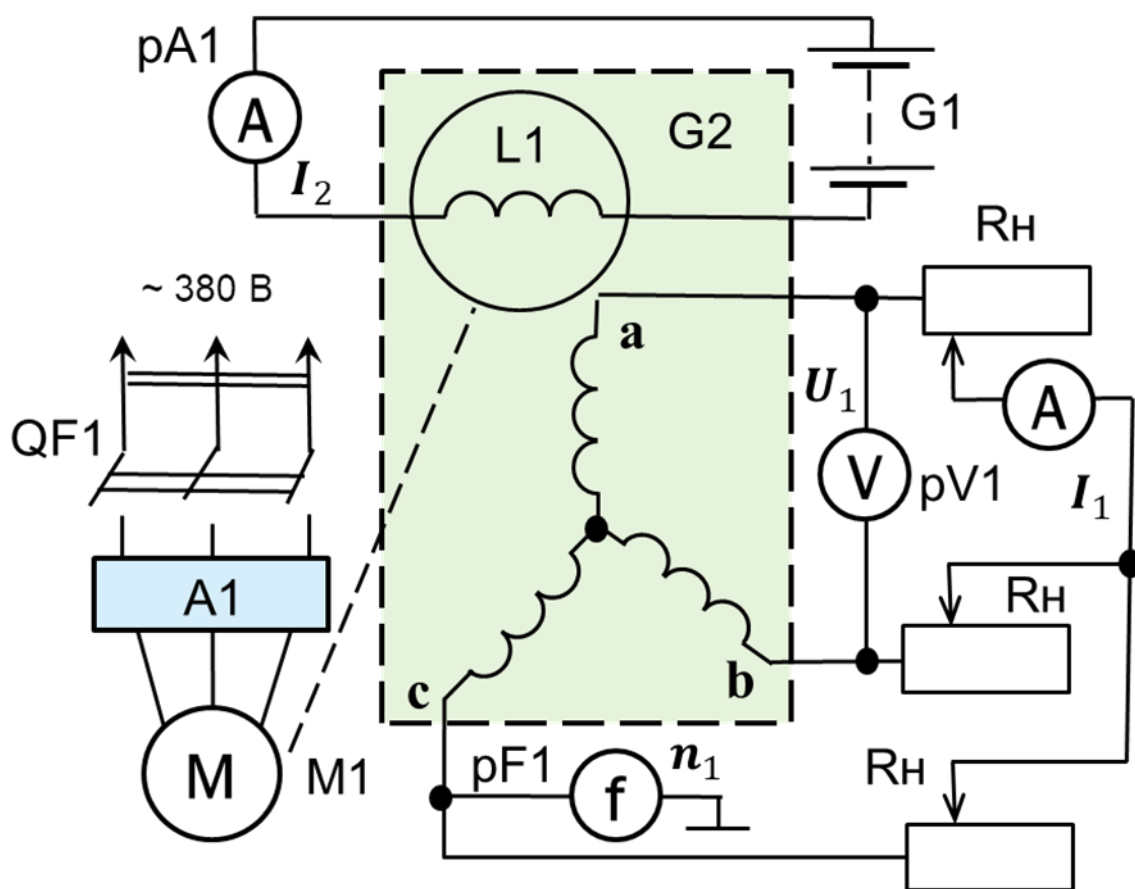


Рисунок А.1 – Схема исследования характеристик синхронного генератора

Таблица А.1 Параметры синхронного генератора

Номинальный ток, А	Номинальное напряжение, В	Номинальная мощность, Вт	Число фаз	Частота вращения ротора, 1/мин

## А.2 Исследование характеристики холостого хода и нагрузочной характеристики синхронного генератора

Таблица А.2 – Характеристика холостого хода синхронного генератора ( $n_1 = \text{const}$ )

Параметры генератора	Номер опыта							
	1	2	3	4	5	6	7	8
ЭДС генератора $U_0, \text{В}$								
Ток обмотки ротора $I_2, \text{А}$								

Таблица А.3 – Нагрузочная характеристика синхронного генератора ( $n_1 = \text{const}, I_1 = \text{const}$ )

Параметры генератора	Номер опыта							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Напряжение генератора $U_1, \text{В}$								
Ток обмотки ротора $I_2, \text{А}$								


Рисунок А.2 – Характеристика холостого хода и нагрузочная характеристика синхронного генератора

### А.3 Исследование регулировочной характеристики синхронного генератора

Таблица А.4 – Регулировочная характеристика синхронного генератора ( $n_1 = \text{const}$ ,  $U_1 = B = \text{const}$ )

Параметры генератора	Номер опыта					
	1	2	3	4	5	6
Ток обмотки статора $I_1$ , А						
Ток обмотки ротора $I_2$ , А						


Рисунок А.3 – Регулировочная характеристика синхронного генератора

### А.4 Исследование внешней и мощностной характеристики синхронного генератора

Таблица А.5 – Внешняя и мощностная характеристики синхронного генератора ( $n_1 = \text{const}$ ,  $I_2 = A = \text{const}$ )

Параметры генератора	Номер опыта				
	1	2	3	4	5
Напряжение генератора $U_1$ , В					
Ток обмотки статора $I_1$ , А					
Мощность генератора $P_1$ , Вт					


Рисунок А.4 – Внешняя и мощностная характеристики синхронного генератора

**А.5 Выводы и анализ полученных результатов**

---

---

---

---

---

---

---