

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации

ФГБОУ ВО «Иркутский государственный аграрный университет имени А. А. Ежевского»

Энергетический факультет

Кафедра электрооборудования и физики

Лабораторные работы

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ и АППАРАТЫ

Молодежный 2022

ИНСТРУКТАЖ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ.

В установках напряжением до 380 В, где происходит большинство случаев поражения электрическим током, причиной травматизма нередко является недооценка опасности его. Опасность поражения электрическим током зависит от многих факторов: рода тока, внешней среды, длительности и пути протекания тока через организм, индивидуальных особенностей человека.

Переменный ток промышленной частоты (50 Гц) более опасен, чем постоянный. Установлено, что отдельные участки человеческого тела имеют различную чувствительность к электрическому току. Наиболее уязвимыми для тока являются поверхности лица, ладоней и подошв ног. При прохождении через тело человека электрический ток может вызвать паралич мышц, прекращение дыхания, остановку сердца. Прохождение тока через тело сопровождается выделением тепла. Этого тепла может оказаться достаточным для нагрева тканей организма до температуры 60-70⁰С, при которой свёртывается белок и возникает ожог. Ожоги тела возможны также от электрической дуги, возникающей при коротких замыканиях. Электрические ожоги проникают глубоко в тело, очень болезненны и долго не заживают.

Анализ причин электротравматизма показывает, что безопасную работу можно обеспечить только строгим выполнением *правил по технике безопасности*.

1. Приступая к выполнению лабораторной работы, необходимо убедиться, что напряжение на рабочем месте отсутствует, т.е. автоматические выключатели на главном щите и на рабочем стенде должны быть выключены.

2. Электрическую схему следует собирать только при отключённом вводном автоматическом выключателе (рубильнике) на рабочем стенде.

3. Перед включением электрической схемы следует убедиться в том, что никто из студентов не может попасть под напряжение. При каждом включении нужно предупреждать товарищей словом «*включаю*».

4. После подачи напряжения на рабочий стенд **категорически запрещается** присоединять провода к схеме, подкручивать клеммы и переставлять оборудование.

5. Электрическую схему можно разбирать только после снятия напряжения при помощи автоматических выключателей или рубильников с рабочего стенда и после остановки электродвигателей и рабочих машин.

6. Переключения под напряжением следует производить с помощью рубильников, реостатов и других предназначенных для этого устройств, предусмотренных в схеме по ходу выполнения работы.

7. В процессе проведения работы не следует прикасаться к токоведущим частям и аппаратам, находящимся под напряжением.

8. Не снимать самовольно ограждений безопасности, кожухов, защищающих ремённые передачи и т.п., не устанавливать самодельных предохранителей.

9. Если работа ведётся с электрическими машинами, имеющими вращающиеся части, и с сопротивлениями, которые нагреваются в процессе работы, нужно убедиться, что они надёжно закрыты или принять меры, предотвращающие попадания на опасные части машины концов одежды, волос, проводов.

10. При обнаружении неисправности в электрических установках, приборах, предохранителях, сети и т.д. студент обязан немедленно прервать выполнение работы до приведения установки в надлежащий порядок.

11. При выполнении лабораторной работы следует учитывать особенность работы лабораторного оборудования и следить за надёжностью крепления проводов в винтовых зажимах при сборке схемы.

Следует помнить, что вторичные обмотки трансформаторов тока должны быть всегда замкнуты на приборы с малым внутренним сопротивлением или накоротко и что на разомкнутых

концах вторичной обмотки трансформатора тока могут возникнуть опасные, высокие напряжения.

Следует помнить, что конденсатор, отключенный от источника тока, сохраняет заряд. Для пересоединений конденсаторов в схеме необходимо конденсатор предварительно разрядить.

Следует помнить, что перегорание плавкой вставки предохранителя при коротких замыканиях может сопровождаться разбрызгиванием расплавленного металла.

Следует помнить, что на лабораторном столе не должно быть посторонних предметов, в особенности металлических (линеек, инструментов и т.д.)

12. Для измерения нескольких напряжений одним вольтметром следует пользоваться только проводами, которые снабжены специальными, хорошо изолированными щупами.

13. Следует проводить измерения сопротивления изоляции или сопротивления обмоток специальными приборами только при полном отключении исследуемой установки от электрической сети.

14. Всем студентам следует предупреждать нарушения требований безопасности со стороны товарищей.

15. Категорически запрещается касаться рукой или ногой вращающихся частей электродвигателей и машин или производить их торможение.

16. При несчастном случае немедленно оказать первую помощь пострадавшему. В случае необходимости вызвать скорую помощь по телефону - 03.

17. В случае пожара немедленно принять меры к ликвидации загорания и в случае необходимости вызвать пожарную команду по телефону - 01.

ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

1. Лабораторные работы выполняются бригадой студентов в количестве 3-4 человек.

2. Все лабораторные работы выполняются непосредственно под руководством преподавателя.

3. При выполнении лабораторных работ студент обязан хорошо усвоить цель, содержание, физическую сущность и методику проведения этой работы. К выполнению работы студент допускается лишь с разрешения преподавателя, проверившего подготовленность студента.

4. При сборке электрических схем студенты должны сначала собрать последовательные (токовые) цепи, а затем присоединить параллельные цепи: вольтметры, параллельные обмотки ваттметров и счётчиков, цепи управления и сигнализации, обращая особое внимание на плотность контактов.

5. Собранная схема обязательно проверяется всеми студентами, выполняющими данную работу. При этом обратить особое внимание на следующее:

- целостность соединительных проводов;
- соответствие приборов роду тока и пределам напряжения;
- положение рукояток аппаратов управления и автоматизации, которые должны находиться в отключённом состоянии.

6. Включать собранную схему студенты должны только после проверки её преподавателем.

7. Выполнение лабораторной работы студенты должны вести в строгом соответствии с программой работы и порядком выполнения. В случае неясности нужно обращаться к преподавателю.

8. Производимые отсчёты и результаты измерений студенты должны заносить в заранее заготовленные таблицы наблюдений

(протокол к лабораторной работ). Экспериментальная часть работы считается выполненной только после проверки и утверждения результатов опытов преподавателем.

9. Если результаты наблюдений будут признаны неудовлетворительными, то опыт необходимо повторить.

10. После окончания работы с разрешения преподавателя студенты должны разобрать схему, уложить на место провода и приборы, сдать преподавателю выдаваемые приборы, привести в порядок рабочее место.

11. Результаты измерений и наблюдений, полученные в процессе выполнения работы, частично обрабатываются в лаборатории, а окончательно – дома. По этим данным составляется отчёт о выполненной работе в соответствии со всеми пунктами, указанными в программе работы.

12. Электрические схемы выполняются в строгом соответствии с правилами начертания и обозначения элементов согласно ГОСТа.

13. Графики изображаются на миллиметровой бумаге и вклеиваются в отчёт. Координатные оси должны иметь обозначения изображаемых величин, размерность и масштаб.

14. При сдаче отчёта преподаватель опрашивает студента в объёме материала выполненной работы. Работа зачитывается в том случае, если студент показывает знание цели, физической сущности, методики выполнения работы, использованных машин и оборудования, может объяснить и проанализировать полученные результаты.

15. Студент, выполнивший все работы и своевременно сдавший отчёты по ним, получает зачёт по соответствующей части курса.

Лабораторная работа № 1

ПОДКЛЮЧЕНИЕ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ К СЕТИ

Цель работы: Исследовать способы подключения АД с к.з. ротором к питающей сети.

Программа работы:

1. Ознакомиться с оборудованием рабочего места.
2. Изучить технический паспорт асинхронного электродвигателя серии АИ.
3. Изучить обозначение асинхронных электродвигателей серии АИ.
4. Изучить способы подключения асинхронного электродвигателя с к.з. ротором к питающей сети.
5. Определить опытным путём начала и концы обмоток асинхронного электродвигателя с к.з. ротором.

КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

1.1 Технический паспорт асинхронного двигателя

В сельскохозяйственных электроприводах наибольшее распространение получили асинхронные электродвигатели (АД) с короткозамкнутым ротором (около 90%). Заводы-изготовители выпускают АД с заводским щитком, на котором указаны основные паспортные технические данные:

АИР132М4СУ1 № 6120429
3 ~50 Hz 11 кВт Cos φ 0,85
1450 об/мин Δ/Y 220/380
38,4/22,2 к.п.д. 88,5%
83,5 кг IP44 S1 кл.изол. В

АИР132М4СУ1 – тип электродвигателя;

№ 6120429 - заводской номер;

3 ~50 Hz – число фаз, род тока, частота тока питающей сети, Гц;

11 кВт – номинальная мощность электродвигателя, кВт ;
Cos φ 0,85 – номинальный коэффициент мощности АД, о.е. ;
1450 об/мин – частота вращения ротора АД при номинальной нагрузке, об/мин ;
Δ/У 220/380 - схемы подключения обмоток АД : Δ - «треугольник»
У – «звезда» и номинальные напряжения соответствующие этим схемам, В ;
38,4/22,2 А – номинальные токи статора на Δ и У, А ;
к.п.д. 88,5% - номинальный коэффициент полезного действия АД, % ;
83,5 кг – масса АД, кг ;
IP44 – исполнение АД по степени защиты ;
S1 – режим работы АД ;
кл.изол. В – класс нагревостойкости изоляции.

Номинальный режим АД соответствует условиям работы и данным, указанным в его паспорте. При этом режиме АД в отношении нагрева, коэффициента полезного действия, коэффициента мощности, коммутации, электрической прочности и другим показателям должен удовлетворять установленным требованиям.

Номинальной мощностью (P_n) АД называется мощность, развиваемая на валу двигателя при номинальном режиме; эта мощность выражается в кВт и указывается в паспорте.

Номинальной частотой вращения (n_n), номинальным напряжением (U_n), номинальным током (I_n) и номинальным коэффициентом полезного действия (η_n) называются частота, напряжение, ток и к.п.д., указанные в паспорте АД, при условии, что остальные величины, характеризующие режим работы, имеют также номинальное значение.

1.2 Обозначение электродвигателей серии АИ

Наиболее распространённой электрической машиной, применяемой для привода сельскохозяйственных машин и механизмов, является трёхфазный асинхронный электродвигатель с коротко-замкнутым ротором. Это обусловлено сравнительно небольшой его стоимостью, простотой конструкции и высокой надёжностью в эксплуатации.

Асинхронные электродвигатели в целях упорядочения их шкал мощностей, скоростей и т. д., а также унификации применения выпускаются сериями, как в основном исполнении, так и в различных модификациях, с учётом областей применения, климатических условий, степени защищённости и т. д.

Двигатели серии АИ - новая, разработанная совместно со странами Интерэлектро, унифицированная серия асинхронных двигателей, отвечающая перспективному уровню развития мирового электромашиностроения. Они предназначены для работы в зоне умеренного климата при температуре окружающей среды - - 45...+40 °С и относительной влажности воздуха до 80% при температуре + 20 °С. По сравнению с двигателями серии 4АМ двигатели серии АИ имеют улучшенные энергетические показатели, снижен уровень шума, повышены надёжностные показатели.

Структура условного обозначения:

А	И	Х	Х	Х	XXX	Х	Х	Х	Х	Х	ХХ
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

- 1 - асинхронный;
- 2 - унифицированная серия (Интерэлектро);
- 3 - привязка мощности к установочным размерам или обозначение специального исполнения; Р - привязка мощности к установочным размерам по РС3031 – 71, габариты и шкала мощностей соответствует двигателям серии 4АМ ; С - привязка в соответствии с нормами CENELEK, при этом мощности в тех же габаритах снижены на одну-две ступени по сравнению с вариантом Р, предназначены только для поставок на экспорт. Отсутствие букв Р или С означает исполнение двигателя по варианту Р, М - взрывозащищённое исполнение; У - взрывозащищённое рудничное исполнение; Ф - с пристроенным вентилятором для охлаждения двигателя;
- 4 - буква - обозначение исполнения по виду защиты и охлаждения:
 закрытое с внешним обдувом корпуса со встроенным вентилятором (не указывается), Б – закрытое с естественным охлаждением, Н – защищённое, Л – открытое, В- встраиваемое, П – закрытое продуваемое ;

- 5 - буква - обозначение модификаций: С - с повышенным скольжением, Р - с повышенным пусковым моментом, Х - с регулируемой частотой вращения, Ф - с фазным ротором, У - однофазные с пусковым конденсатором, Е - однофазные с рабочим конденсатором, УЕ – однофазные с пусковым и рабочим конденсатором, Кр - для кратковременного режима работы.
- 6 - габарит (высота оси вращения), мм; 7 - установочный размер по длине станины: S, M, L;
- 8 - длина сердечника статора (А или В, отсутствие буквы означает только одну длину сердечника – первую);
- 9 - число полюсов: 2, 4, 6, 8, 10, 12 (в многоскоростных число полюсов указывается через дробь - 2/4 ; 2/6 ; 4/6 ; 4/8 и др.) ;
- 10 и 11 - дополнительные буквы для модификации двигателя (Б – со встроенной температурной защитой; П - с повышенной точностью по установочным размерам; Х2 - химически стойкие; С - сельскохозяйственные; УП – пылезащищённое исполнение ; РЗ - для привода зубчатых редукторов; Ж - для моноблочных насосов; Е - с электромагнитным тормозом ; ЕЭ - с электромагнитным тормозом для электроталей; Ф – фреоностойкие; Н - малошумные);
- 12 - климатическое исполнение (У, УХЛ, Т) и категория размещения (1, 2, 3, 4, 5) по ГОСТ 15150 – 69.

Правильное обозначение модификаций и исполнений серии важно для автоматической системы управления производством (АСУП), а также для создания системы ведения чертёжного хозяйства как части общей системы автоматизированного проектирования (САПР).

Серия АИ содержит значительное количество модификаций и исполнений, поэтому задача выбора обозначений является весьма сложной. Для обозначения серии АИ принята структура, в которой можно выделить три вида обозначения: **базовое, основное, полное.**

Базовое обозначение - это сочетание элементов символов, определяющих серию АД, его мощность, частоту вращения (обозначение серии, вариант увязки мощности к установочным размерам, высота оси вращения, установочный размер по длине станины и длина магнитопровода статора, число полюсов).

Например: АИР100М4 (серия АИ, увязка по варианту Р, высота оси вращения 100, длина корпуса по установочным размерам М, число полюсов 4).

Основное обозначение - это сочетание базового исполнения АД с видом защиты и охлаждения, с электрической и конструктивной модификацией, со специализированным исполнением и исполнением по условиям окружающей среды

Например: АИРБС100М4НПТ2 (АИР100М4 - базовое обозначение, Б - закрытое исполнение с естественным охлаждением без обдува, С - с повышенным скольжением, Н - малошумные, П - с повышенной точностью установочных размеров, Т - для тропического климата, 2 - категория размещения).

Полное обозначение - сочетание основного обозначения с дополнительными электрическими и конструктивными характеристиками.

Например: АИРБС100М4НПТТ2 220/380 В, 60 IM2181, КЗ-11-3, F 100, (АИРБС100М4НПТ2 - основное обозначение, 220 / 380 В - напряжение, 60 - частота сети, IM2181 - исполнение по способу монтажа и по концу вала, КЗ-11-3 - исполнение выводного устройства и количество штуцеров, F100 - исполнение фланцевого щита).

Классификация конструктивных исполнений электрических машин по способу монтажа дана в Публикации МЭК 34-7 и в СТ СЭВ 246-76. Согласно этим документам конструктивное исполнение электрической машины обозначается символом IM и четырьмя цифрами.

Условное обозначение конструктивного исполнения расшифровывается так:

IM	X	XX	X
1	2	3	4

1 - буквенная часть обозначения ;

2 - первая цифра определяет группу конструктивных исполнений. Серия АД Интерэлектро производится по трём группам исполнений (1 - на лапах, с подшипниковыми щитами; 2 – на лапах, с подшипниковыми щитами и с фланцем на подшипниковом щите или щитах; 3 - без лап, с подшипниковыми щитами и с фланцем на одном подшипниковом щите);

- 3 - вторая и третья цифры обозначают способ монтажа. Вторая цифра для группы IM1 - 0. Третья указывает на расположение вала двигателя в пространстве при монтаже. Для группы IM1 - третья цифра обозначает: 0 - вал горизонтальный, машина лапами вниз; 1 - вал вертикальный, конец вала вниз; 3 - вал вертикальный, конец вала вверх; 5 - вал горизонтальный, конец вала влево, машина крепится лапами на вертикальной плоскости; 6 - вал горизонтальный, конец вала направо, машина крепится на вертикальной плоскости; 7 - вал горизонтальный, машина крепится на горизонтальной плоскости лапами вверх; 8 - машина может работать при любом направлении конца вала;
- 4 - исполнение выступающего конца вала: 0 - без конца вала; 1 - с одним цилиндрическим концом вала; 2 - с двумя цилиндрическими; 3 - с одним коническим; 4 - с двумя коническими; 6, 7 и 9 - в асинхронных двигателях общего назначения не применяются.

Обозначение исполнений вводных устройств расшифровывается так: К-3-I - с панелью выводов и одним штуцером; К-3-II - с панелью выводов и двумя штуцерами; К-3-M - с панелью выводов и удлинителем под сухую разделку кабеля или под эпоксидную заделку; К-2-I - без панели выводов с одним штуцером; К-2-II - без панели выводов с двумя штуцерами.

Основным исполнением вводных устройств является устройство с панелью выводов и одним штуцером (К-3-I). По заказу потребителя заводы-изготовители двигателей устанавливают вводное устройство с двумя штуцерами. Два штуцера необходимо для ввода дополнительных проводов в двигателях с температурной защитой и др.

1.3 Подключение асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором к питающей сети

На статоре 3-х фазного асинхронного электродвигателя размещаются три обмотки, которые подключаются к трёхфазной сети переменного тока. Начала обмоток обозначаются C_1 ; C_2 и C_3 , а концы обмоток соответственно C_4 ; C_5 и C_6 (рис. 1.1, а). Статорные обмотки могут соединяться в «звезду» (рис. 1.1, б) и в «треугольник» (рис. 1.1, в).

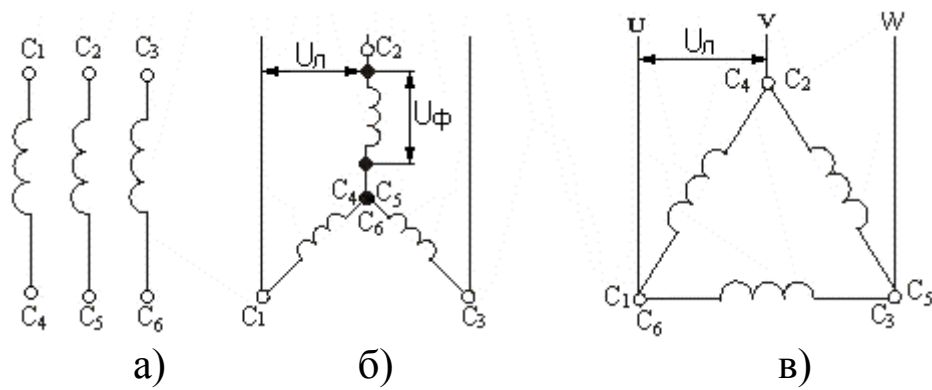


Рис. 1.1 Схемы соединения статорных обмоток АД.

$$\text{На «звезде» (Y): } U_{\text{л}} = \sqrt{3} \cdot U_{\text{ф}}; \quad (1.1)$$

$$\text{На «треугольнике» (Δ): } U_{\text{л}} = U_{\text{ф}}; \quad (1.2)$$

где $U_{\text{л}}$ – линейное напряжение - это напряжение между фазами питающей линии, В;

$U_{\text{ф}}$ – фазное напряжение – это напряжение на статорной обмотке, на которое она рассчитана, В.

В соответствии с ГОСТ выходы всех начал и концов обмоток присоединяются к зажимам, которые располагаются на специальном щитке электродвигателя (рис. 1.2, а). Если обмотки АД нужно соединить в «звезду», то это следует сделать согласно рисунка 1.2, б, а при соединении их в «треугольник» нужно придерживаться подсоединения зажимов согласно рисунка 1.2, в.

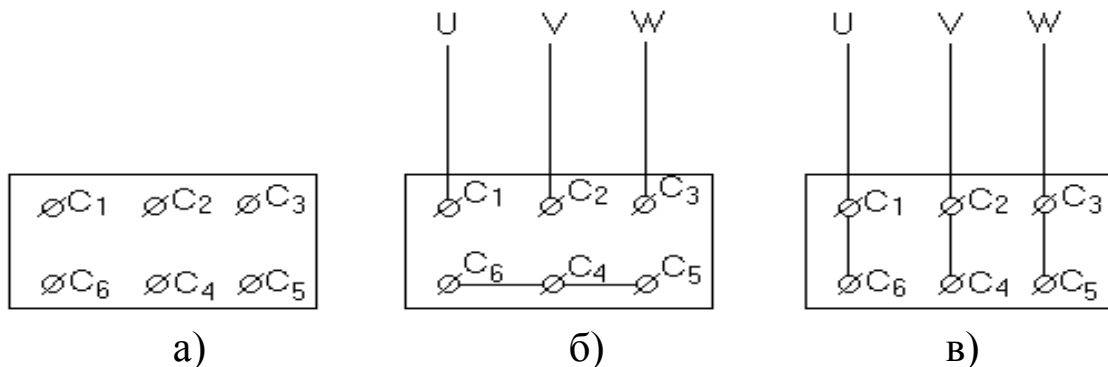


Рис. 1.2. Схемы подключения статорных обмоток

Электродвигатели серии АИ выпускаются на напряжения: 220/380 и 380/660. Низшие напряжения - это фазные напряжения ($U_{\text{ф}}$), высшие напряжения - это линейные ($U_{\text{л}}$). В каталогах электродвигателей указывается линейное напряжение $U_{\text{л}}$.

Следовательно, чтобы электродвигатель развивал номинальную мощность нужно для первого типа АД (220/380) при подсоединении его обмоток в «треугольник» подать на него

сетевое напряжение 220 В, а при подсоединении его обмоток в «звезду» 380 В. (рис. 1.3), (рис. 1.4).

Для второго типа АД (380/660) при подсоединении его обмоток в «треугольник» подать на него сетевое напряжение 380 В, а при подсоединении его обмоток в «звезду» 660 В. (рис. 1.4), (рис. 1.5).

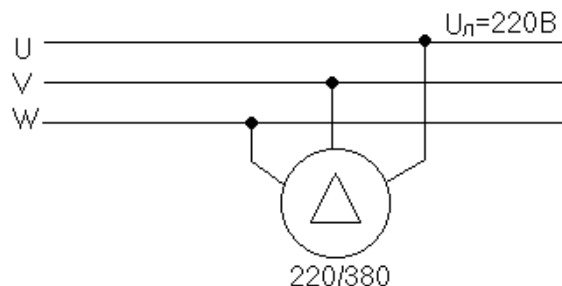


Рис. 1.3 Схема подключения АД при напряжении сети 220 В

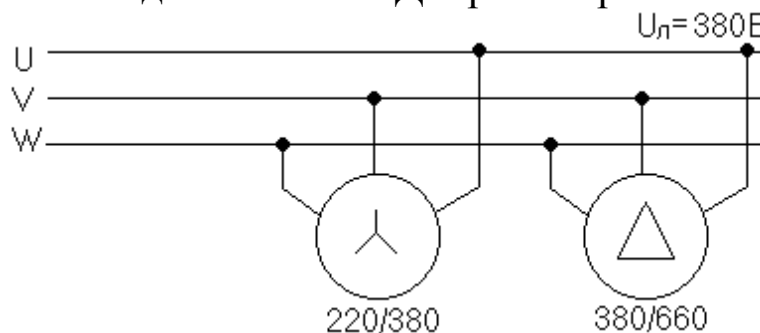


Рис. 1.4 Схемы подключения АД при напряжении сети 380 В

Если подать на обмотки АД напряжение больше, чем то напряжение, на которое он рассчитан, то изоляция его обмоток сгорит.

Если подать на обмотки АД напряжение меньше, чем напряжение, на которое он рассчитан, приведёт к недогрузке АД, т.е. АД будет развивать мощность намного меньше номинальной.

Методические указания

Экспериментальная установка состоит из асинхронного электродвигателя с к.з. ротором (М), из смонтированного на стенде щитка с произвольно выведенными началами С1, С2, С3 и концами С4, С5, С6 обмоток, автоматического выключателя QF, предохранителя FU, лампы накаливания НЛ и вольтметра PV.

Обычно на выводах статорных обмоток имеются металлические бирки с обозначениями начал и концов обмоток. Однако по каким-нибудь причинам бирок может не оказаться. В таких случаях определяют «начала» и «концы» обмоток АД и устанавливают новые бирки. Эту работу выполняют в два этапа:

1 ЭТАП. Определение условных «начал» и «концов» обмоток АД

Фазный провод (W) нужно подсоединить к любому из шести выводов АД. К нулевому проводу (N) нужно подсоединить контрольную лампу HL с одной стороны, а второй провод должен быть свободным (рис. 1.6).

Включить автоматический выключатель QF и свободным проводом контрольной лампы нужно прикасаться к свободным выводам статорных обмоток до тех пор, пока лампа не загорится. Если лампа загорится, значит, оба вывода принадлежат к одной фазе электродвигателя. По аналогии находят остальные фазы. Следует обозначить произвольно предполагаемое (условное) «начало» первой обмотки через 1, а «конец» через 4; 2 и 5 – «начало» и «конец» второй обмотки; 3 и 6 – «начало» и «конец» третьей обмотки. Такую же проверку можно осуществить с помощью звонка или мегомметра.

2 ЭТАП. Определение действительных «начал» и «концов» обмоток АД Способ подбора

Этот способ лучше всего применять для двигателей небольшой мощности (3 – 5 кВт).

После определения принадлежности выводных концов отдельным фазам все условные «начала» подключают к сети. «Концы соединяют вместе в одну общую точку, т.е. соединяют в звезду. Двигатель включают в сеть.

Если в общую точку попали все «начала» или «концы», то двигатель будет работать нормально.

Если при включении двигателя в сеть он сильно гудит и не развивает номинальной частоты вращения, необходимо в одной из обмоток, например в первой, поменять местами выводы 1, 4. Когда двигатель продолжает гудеть, то фазу возвращают в первоначальное положение и меняют местами выводы второй фазы 2, 5.

Если двигатель снова не развивает номинальной частоты вращения и гудит, то вторую фазу возвращают в первоначальное положение и меняют местами зажимы третьей фазы 3, 6. Максимальное число проб при этом способе - три.

Порядок выполнения работы:

1. Собрать электрическую схему (рис. 1.6), определить условные «начала» и «концы» обмоток АД и обозначить их цифрами 1, 2, 3, 4, 5, 6.

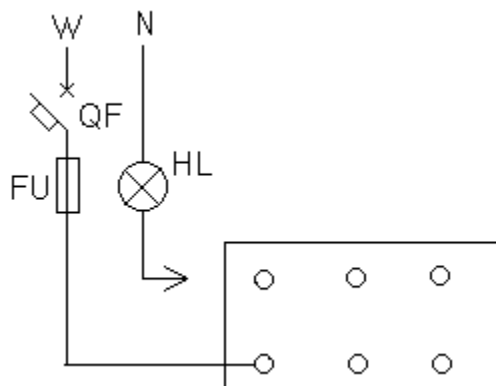


Рис. 1.6 Схема определения условных «начал» и «концов» обмоток АД

2. Способом подбора убедиться, что действительные «начала» и «концы» определены правильно.

Контрольные вопросы

1. Что указывается на заводском щитке АД?
2. Какими номинальными величинами характеризуется АД?
3. Объясните структуру условного обозначения АД серии АИ?
4. Какие элементы включает **базовое обозначение** АД?
5. Какие элементы включает **основное обозначение** АД?
6. Какие элементы включает **полное обозначение** АД?
7. Как обозначаются «начала» и «концы» обмоток АД?
8. Как согласно ГОСТа располагаются выводы «начал» и «концов» обмоток АД на заводском щитке?
9. На какие номинальные напряжения выпускаются АД серии АИ?
10. Объясните по каким схемам можно подключить АД серии АИ, чтобы они развивали номинальную мощность при сетевом напряжении 220 В, 380 В, 660 В.
11. Объясните как определить условные «начала» и «концы» обмоток АД.
12. Объясните как определить действительные «начала» и «концы» обмоток АД.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОФАЗНЫХ СЕЛЬСИНОВ В ИНДИКАТОРНОМ И ТРАНСФОРМАТОРНОМ РЕЖИМАХ

Цель работы:

Изучить устройство, принцип работы, назначение и технические характеристики сельсинов, режимы их работы. Приобрести практические навыки в определении точности показаний и основных параметров сельсинов. Получить экспериментальное подтверждение теоретических сведений о свойствах сельсинов.

Порядок выполнения работы:

1. Изучить конструкцию и принцип работы сельсинов.
2. Собрать электрические схемы.
3. Провести соответствующие измерения.
4. Выполнить расчеты и построить графики.
5. Письменно оформить краткие выводы по работе.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Сельсины (или самосинхронизирующиеся) служат для синхронного поворота или вращения двух или нескольких механически не связанных осей.

Существует два вида синхронной связи: система «электрического вала» (синхронного вращения) и система «передачи угла» (синхронного поворота). В системах синхронного вращения применяют трехфазные сельсины или обычные трехфазные асинхронные двигатели с фазным ротором. Обмотки роторов двигателей соединяют линией связи между собой, а обмотки статоров подключают к общей сети трехфазного тока. В системах синхронного поворота применяют, как правило, однофазные сельсины.

В простейшем случае синхронную связь осуществляют с помощью двух сельсинов, электрически соединенных между собой. Один из них, механически соединенный с ведущей осью, называют сельсином-датчиком СД (ВС), а другой, соединенный с ведомой осью непосредственно или с помощью промежуточного исполнительного двигателя – сельсином-приемником СП (ВЕ). Система синхронной связи работает так, что при повороте ротора сельсина-датчика на некоторый угол α_D ротор сельсина-приемника поворачивается на такой же угол α_P и угол рассогласования (α) в идеальном случае сводится к нулю $\alpha = \alpha_D - \alpha_P$.

Сельсины применяют в радиолокационных системах с вращающейся антенной, в механизмах разводки мостов, ворот шлюзов, в виде датчиков углов поворота и скорости вращения, в установках бумажной промышленности, индикации о положения какого-либо регулирующего органа – клапана, задвижки, заслонки, вентиля и т. д.

По конструкции однофазные сельсины делят на контактные и бесконтактные. Сельсины имеют две обмотки: первичную, называемую

обмоткой возбуждения, и вторичную – обмотку синхронизации. Контактные однофазные сельсины могут быть явнополюсными с размещением полюсов на роторе или статоре и неявнополюсными (рис. 1.1). В явнополюсных сельсинах однофазную обмотку возбуждения размещают на явно выраженных полюсах ротора или статора. Обмотку синхронизации выполняют по типу трехфазной в виде трех обмоток, сдвинутых в пространстве на 120° и соединенных звездой. Обмотку выполняют распределенной и размещают в пазах статора или ротора. Выводы обмотки ротора подключены к контактными кольцам, на которых находятся щетки. Для повышения надежности скользящего контакта кольца и щетки выполняют из сплавов серебра.

Сельсины с обмоткой возбуждения на роторе имеют существенные преимущества перед сельсинами с обмоткой возбуждения на статоре. При уменьшении числа скользящих контактов уменьшаются габаритные размеры, масса сельсина. Кроме того, проще осуществляется демпфирование явнополюсного ротора с помощью короткозамкнутой демпферной обмотки (обмотка из стержней, которая закладывается в полузакрытые пазы на наконечниках полюсов роторов и соединяется между собой гибкими перемычками), она обеспечивает быстрое затухание собственных колебаний ротора при переходе его из одного положения в другое.

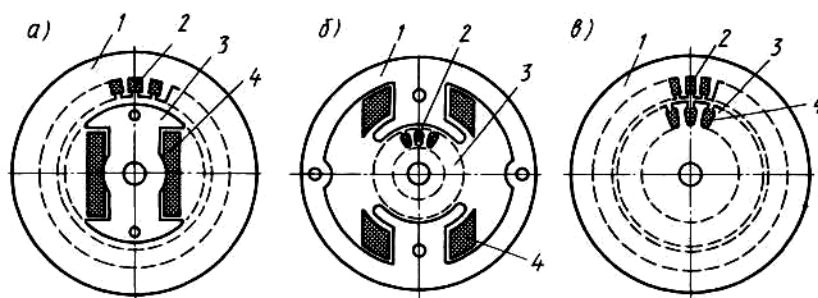


Рисунок 1.1 – Схемы магнитной системы однофазных контактных сельсинов:
 а) система с явнополюсным ротором; б) система с явнополюсным статором; в) система с неявнополюсным статором и ротором
 1 – статор; 2 – обмотка синхронизации; 3 – ротор; 4 – обмотка возбуждения

Контактные сельсины обычно выполняют двухполюсными, что обеспечивает их самосинхронизацию в пределах одного оборота. Статор и ротор собирают из листов электротехнической стали, для ослабления зубцовых гармоник делают скос пазов (рис. 1.2).

У бесконтактных сельсинов отсутствуют скользящие контакты (рис. 1.3) и обе обмотки размещены на статоре. Трехфазную обмотку синхронизации размещают в пазах магнитопровода статора, а обмотку возбуждения выполняют в виде двух тороидальных катушек, охватывающих ротор с двух сторон. Ротор сельсина представляет собой цилиндр, состоящий из двух пакетов электротехнической стали (полюсов), разделенных большим косым зазором, заполненным немагнитным материалом (алюминиевым сплавом,

пластмассой). Магнитный поток обмотки возбуждения замыкается от одного полюса ротора к другому через магнитопровод статора. Поэтому при повороте ротора будет изменяться в пространстве положение оси магнитного потока возбуждения относительно обмоток синхронизации и, следовательно, величина ЭДС, индуцируемой в фазах обмотки синхронизации, будет зависеть от поворота ротора.

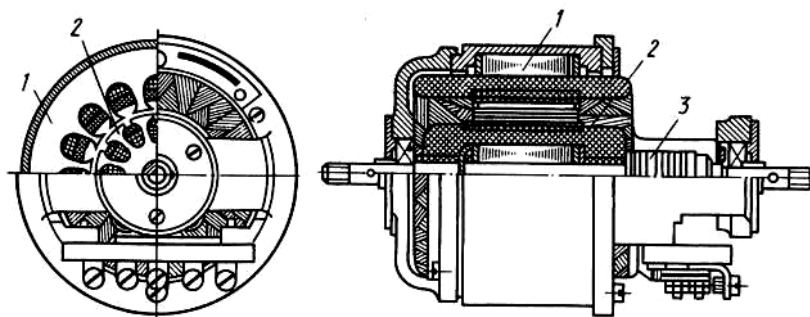


Рисунок 1.2 – Устройство контактного сельсина:
1 – статор; 2 – ротор; 3 – контактные кольца

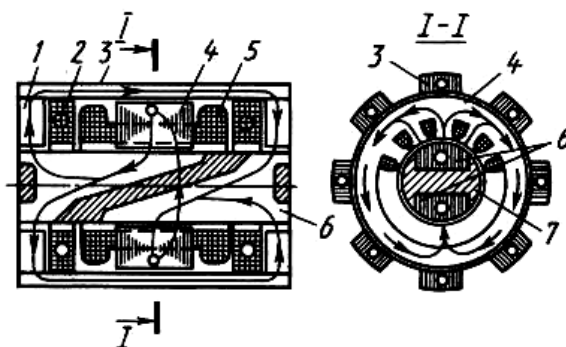


Рисунок 1.3 – Электромагнитная схема бесконтактного сельсина:
1 – тороиды; 2 – обмотка возбуждения; 3 – внешний магнитопровод;
4 – пакет статора; 5 – обмотка синхронизации; 6 – пакеты ротора; 7 –
промежуток из немагнитного материала

Различают индикаторный и трансформаторный режимы работы сельсинов.

При индикаторном режиме ротор сельсина-приемника соединяют непосредственно с ведомой осью, что допустимо лишь при малом значении тормозного момента на этой оси. Как правило, на оси ротора СП закрепляется стрелка прибора-индикатора, установленного на пульте управления и показывающего положение какого-либо недоступного для обслуживающего персонала механизма. С последним соединяют ротор сельсина-датчика (рис. 1.4). Обмотки возбуждения ОВ сельсина-датчика СД и сельсина-приемника СП подключены к общей сети переменного тока с напряжением U и частотой f , а обмотки синхронизации ОС, размещенные на роторах сельсинов, соединены между собой линией связи ЛС. В каждом сельсине магнитодвижущей силой обмотки возбуждения создается пульсирующий магнитный поток Φ_B , который

индуктирует в трех фазах обмотки синхронизации ЭДС, совпадающих во времени и разных по величине, например, в фазах СД (аналогично и в фазах СП):

$$\begin{aligned} \dot{A}_{\bar{A}} &= E_{MAX} \cdot \cos \alpha_{\bar{A}}; \\ \dot{A}_{\bar{A}} &= E_{MAX} \cdot (\cos \alpha_{\bar{A}} - 120^\circ); \\ \dot{A}_{\bar{N}} &= E_{MAX} \cdot (\cos \alpha_{\bar{A}} + 120^\circ), \end{aligned} \quad (1.1)$$

где E_{MAX} – максимальное действующее значение ЭДС в фазе обмотки синхронизации, когда ее ось совпадает с осью обмотки возбуждения.

Если обмотки синхронизации СД и СП расположены относительно обмоток возбуждения одинаково ($\alpha_{Д} = \alpha_{П}$), то ЭДС одноименных фаз сельсинов будут равны. Поскольку ЭДС направлены встречно, то в линии связи ЛС и в обмотках синхронизации ток будет отсутствовать. Такое положение роторов сельсинов называют согласованным.

Если ротор сельсина-датчика повернуть на некоторый угол $\alpha = \alpha_{Д} - \alpha_{П}$, то равновесие ЭДС нарушится и по обмоткам синхронизации сельсинов будут протекать уравнительные токи. В результате их взаимодействия с магнитными потоками обмоток возбуждения в СД и СП возникнут одинаковые по величине и встречно направленные электромагнитные синхронизирующие моменты, стремящиеся повернуть роторы в согласованное положение.

Так как ротор сельсина-датчика заторможен контролируемым механизмом, то в согласованное положение будет поворачиваться ротор сельсина-приемника, отрабатывая угол поворота ротора сельсина-датчика.

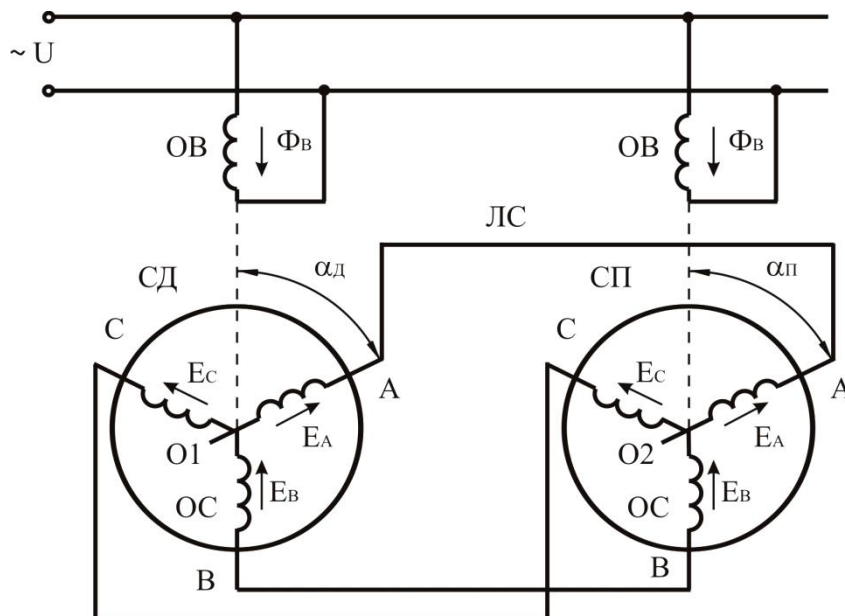


Рисунок 1.4 – Принципиальная схема включения сельсинов в индикаторном режиме

Трансформаторный режим работы сельсинов применяют в тех случаях, когда на ведомой оси приложен значительный тормозной момент, то есть когда

приходится осуществлять поворот какого-либо механизма. В этом смысле трансформаторный режим называют режимом дистанционного управления, а индикаторный – режимом дистанционного контроля.

Обмотка возбуждения ОВ сельсина-датчика СД (рис. 1.5), механически связанного с ведущей осью O_1 , подключена к сети, а обмотка возбуждения ОВ сельсина-приемника СП подключена через усилитель У к обмотке управления исполнительного двигателя ИД. Последний поворачивает ведомую ось O_2 совместно с осью ротора сельсина-приемника. Обмотки синхронизации ОС сельсинов соединены линией связи ЛС.

Переменный ток, протекающий по обмотке возбуждения СД, создает в нем пульсирующий магнитный поток, который индуцирует ЭДС в трех фазах обмотки синхронизации СД. В результате по обмоткам синхронизации СД и СП будут протекать токи. Последние также создают в сельсине-приемнике пульсирующий магнитный поток, направление которого зависит от взаимного расположения роторов СД и СП. Магнитный поток ротора сельсина-приемника индуцирует в обмотке возбуждения ЭДС:

$$\dot{A}_{\Delta O \bar{O}} = U_{\Delta O \bar{O}} = E_{MAX} \cdot \cos \alpha . \quad (1.2)$$

Система синхронной связи работает так, что при повороте ротора сельсина-датчика на некоторый угол из согласованного положения на выходе обмотки возбуждения сельсина-приемника появится напряжение. Последнее через усилитель подается на обмотку управления исполнительного двигателя, который обрабатывает заданный датчиком угол, поворачивая ведомую ось O_2 и ротор СП в положение, при котором $U_{ВЫХ} = 0$.

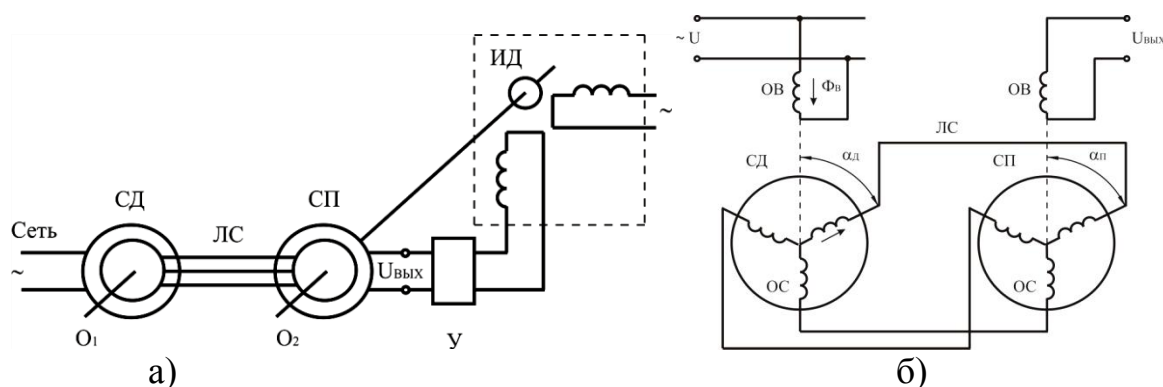


Рисунок 1.5 – Схема включения сельсинов в трансформаторном режиме:
а – принципиальная; б – соединения обмоток сельсинов

МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Записать паспортные данные сельсинов в таблицу 1.1.

Таблица 1.1 – Паспортные данные сельсинов

Тип	$P_{НОМ}$, Вт	$U_{НОМ}$, В	$I_{НОМ}$, А	Класс точности

2. Собрать электрическую схему для исследования сельсинов в индикаторном режиме (рис. 1.6) и после проверки ее преподавателем провести испытания.

Включить автоматический выключатель QF.

Проверить совпадение нулевых положений стрелок на шкалах сельсина-датчика и сельсина-приемника. Если требуемого совпадения нет, то его необходимо добиться.

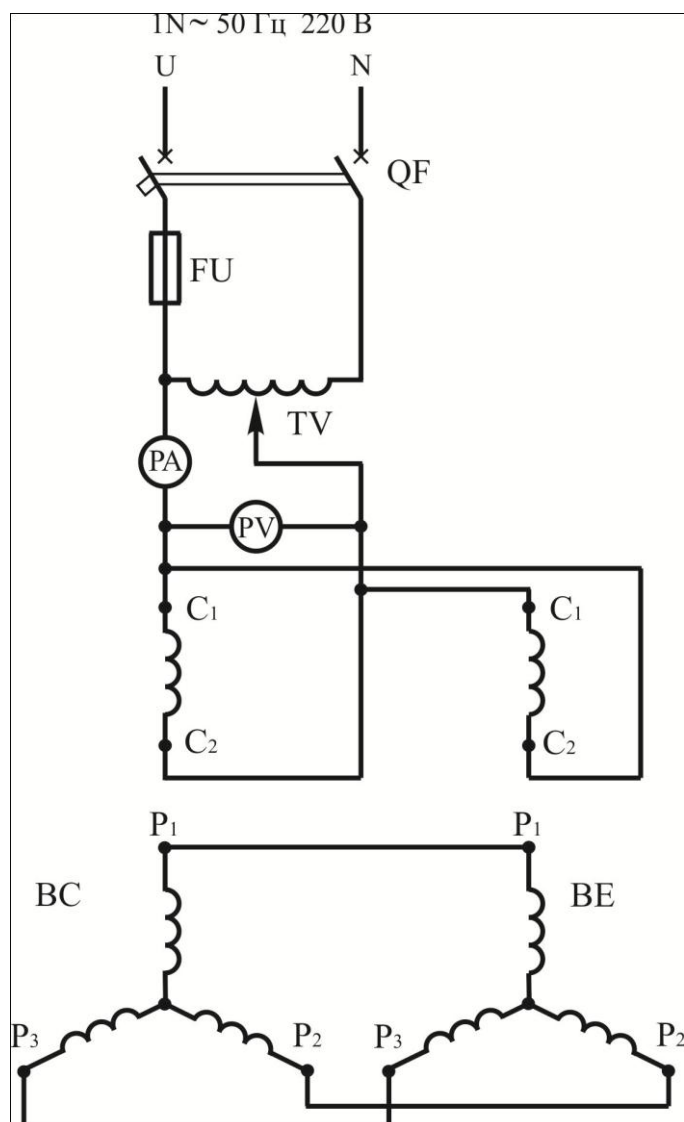


Рисунок 1.6 – Электрическая схема испытания сельсинов в индикаторном режиме

Поворачивая ротор сельсина-датчика через каждые 10° (всего полный оборот 360°), наблюдают за поворотом ротора сельсина-приёмника. Полученные данные занести в таблицу 1.2.

Определить угол рассогласования:

$$\alpha = \alpha_D - \alpha_P. \quad (1.3)$$

Полученные данные занести в таблицу 1.2.

Таблица 1.2 – Данные опыта

По часовой стрелке						Против часовой стрелки					
$\alpha_D, ^\circ$	$\alpha_P, ^\circ$	$\alpha, ^\circ$	$\alpha_D, ^\circ$	$\alpha_P, ^\circ$	$\alpha, ^\circ$	$\alpha_D, ^\circ$	$\alpha_P, ^\circ$	$\alpha, ^\circ$	$\alpha_D, ^\circ$	$\alpha_P, ^\circ$	$\alpha, ^\circ$
0			190			0			190		
10			200			10			200		
20			210			20			210		
30			220			30			220		
40			230			40			230		
50			240			50			240		
60			250			60			250		
70			260			70			260		
80			270			80			270		
90			280			90			280		
100			290			100			290		
110			300			110			300		
120			310			120			310		
130			320			130			320		
140			330			140			330		
150			340			150			340		
160			350			160			350		
170			360			170			360		
180						180					

По данным таблицы 1.2 построить графики зависимости углов рассогласования от углов поворота ротора сельсина-датчика по часовой стрелке и против часовой стрелки $\alpha = f(\alpha_D)$.

Определить класс точности сельсина по погрешности $\Delta\alpha$, которая определяется полусуммой максимальных значений положительного α_{MAX1} и отрицательного α_{MAX2} углов рассогласования за один оборот:

$$\Delta\alpha = 0,5 \cdot (\alpha_{MAX1} + \alpha_{MAX2}). \quad (1.4)$$

Сельсины в индикаторном режиме разделяются на три класса точности:

- первый класс $\Delta\alpha = 0 \dots 0,75^\circ$.
- второй класс $\Delta\alpha = 0,76^\circ \dots 1,50^\circ$.
- третий класс $\Delta\alpha = 1,51 \dots 2,50^\circ$.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТ

1. Наименование и цель работы.
2. Электрические схемы работы сельсинов в индикаторном и трансформаторном режимах.
3. Результаты проведенных опытов и построенные зависимости.
4. Краткие ответы на контрольные вопросы.
5. Краткие выводы по работе.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется индикаторной системой передачи?
2. Каков принцип работы сельсинов в индикаторном режиме?
3. Каков принцип работы сельсинов в трансформаторном режиме?
4. Какие факторы влияют на точность сельсинов?
5. Назначение и области применения сельсинов.
6. Способы устранения погрешности сельсинов.
7. Какие конструкции однофазных сельсинов вы знаете?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3 ТАХОГЕНЕРАТОР ПОСТОЯННОГО ТОКА

Цель работы:

Ознакомиться с принципом действия и конструкцией тахогенератора постоянного тока, изучить требования, предъявляемые к тахогенераторам. Снять и построить выходные характеристики тахогенератора при холостом ходе и при нагрузке, зависимость выходного напряжения от сопротивления нагрузки.

Порядок выполнения работы:

1. Изучить конструкцию и принцип работы тахогенератора постоянного тока.
2. Собрать электрическую схему.
3. Провести необходимые измерения.
4. Выполнить расчеты, построить графики.
5. Письменно оформить краткие выводы по работе.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Тахогенераторами называют электрические микромашины, работающие в генераторном режиме и предназначенные для измерения частоты вращения по величине выходного напряжения, а также для преобразования частоты вращения в пропорциональный электрический сигнал.

Возбуждение тахогенераторов происходит или от постоянных магнитов (рис. 2.1, а), или от обмотки возбуждения, размещенной на полюсах статора и питаемой от независимого источника постоянного тока (рис. 2.1, б). Тахогенераторы могут иметь якорь барабанного типа с обмоткой, а также полый или дисковый якорь с печатной обмоткой.

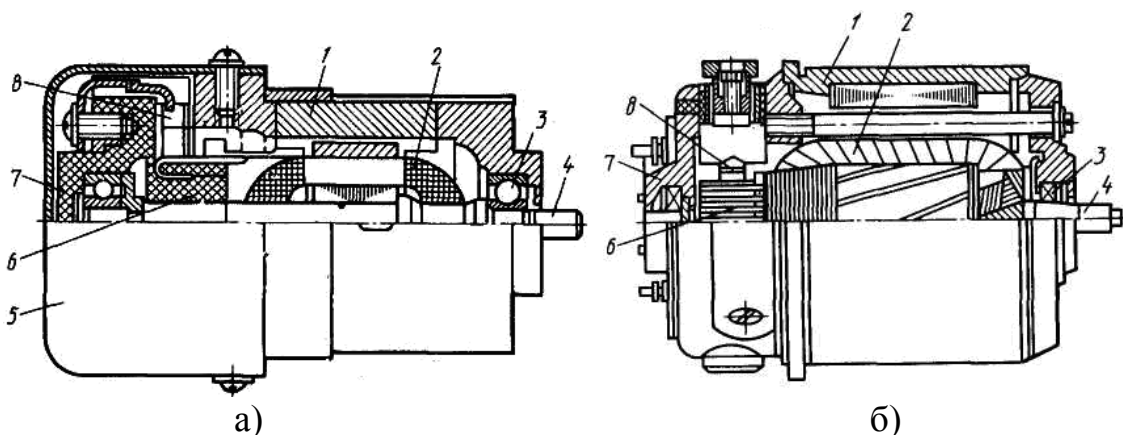


Рисунок 2.1 – Устройство тахогенератора постоянного тока:

- а) с постоянными магнитами; б) с электромагнитным возбуждением
1 – корпус с полюсами; 2 – якорь; 3 – подшипник; 4 – вал; 5 – кожух;
6 – коллектор; 7 – подшипниковый щит; 8 – щетки.

Тахогенераторы используют в качестве указателей частоты вращения при ее измерении, а так же, как датчик частоты вращения в системах автоматического регулирования и управления. Они могут быть использованы и для измерения угловых ускорений.

Принцип действия. При неизменном токе возбуждения I_a , то есть при неизменном потоке Φ , ЭДС пропорциональна частоте вращения, что является основой для использования машины постоянного тока в качестве тахогенератора:

$$E = c_e \cdot \Phi \cdot n, \quad (2.1)$$

где c_e – постоянный коэффициент по ЭДС, определяемый конструктивными параметрами машины и не зависящий от режимов ее работы.

Выходное напряжение тахогенератора:

$$U = \frac{E}{1 + \sum \frac{R_a}{R_{НАГР}}} = \frac{c_e \cdot \Phi \cdot n}{1 + \sum \frac{R_a}{R_{НАГР}}}, \quad (2.2)$$

где $R_{НАГР}$ – сопротивление нагрузки; R_a – сопротивление цепи якоря.

На рисунке (рис. 2.2, а) сплошными линиями показаны выходные характеристики для различных сопротивлений нагрузки при идеализированных условиях (при $\Phi = \text{const}$ и $\Sigma R_a = \text{const}$). Эти характеристики являются линейными, а их угол наклона к оси абсцисс уменьшается при снижении сопротивления нагрузки. Следовательно, тахогенераторы можно применять только при неизменной нагрузке, то есть совместно с индикатором или другим устройством, на который рассчитан данный тахогенератор.

Крутизна выходной характеристики современных тахогенераторов постоянного тока $S = 3 \dots 100$ мВ/(об/мин) (меньшие значения относятся к тахогенераторам с постоянными магнитами). Наиболее распространены тахогенераторы с номинальной частотой вращения $n = 1500 \dots 3000$ об/мин.

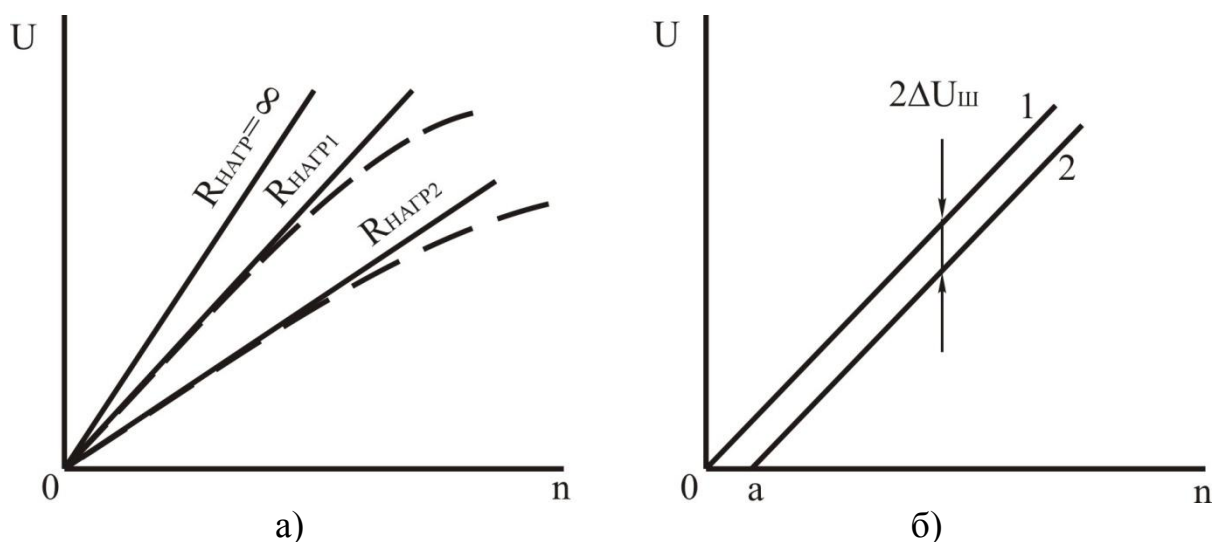


Рисунок 2.2 – Выходные характеристики тахогенератора постоянного тока (а) и влияние на характеристики падения напряжения под щетками (б)

Выходная характеристика практически отклоняется от линейного закона в результате погрешностей, а именно: размагничивающего действия реакции якоря; наличия нелинейного сопротивления в переходном контакте между коллекторном и щетками; изменения тока возбуждения из-за увеличения сопротивления обмотки возбуждения при ее нагревании.

Размагничивающее действие реакции якоря проявляется при возрастании частоты вращения n , так как при этом повышается напряжение U , увеличивается ток I_a тахогенератора, а, следовательно, и МДС якоря F_a . Поэтому при повышенных частотах вращения выходное напряжение U возрастает медленнее, чем увеличивается частота вращения (штриховые линии на рис. 2.2, а). Для уменьшения влияния размагничивающего действия реакции якоря в цепи нагрузки желательно иметь максимально большое сопротивление $R_{НАГР}$ и тахогенератор должен работать при небольших относительных частотах вращения.

Нелинейный характер сопротивления щеточного контакта также создает определенную погрешность по сравнению с идеализированной характеристикой 1 (рис. 2.2, б).

При этом выходная характеристика 2 остается линейной, однако в области малых частот вращения тахогенератор становится нечувствительным к изменению Δn – появляется зона нечувствительности $0a$.

Нагревание обмоток возбуждения тахогенератора приводит к увеличению ее сопротивления R_B , вследствие чего уменьшаются ток возбуждения, магнитный поток и выходное напряжение. Чтобы с повышением температуры обмотки возбуждения ток возбуждения изменялся незначительно, последовательно с ней включают либо терморезистор, который стабилизирует сопротивление цепи обмотки возбуждения, либо добавочный резистор с сопротивлением $R_{ДОБ} \gg R_{НАГР}$, выполненный из металла с малым температурным коэффициентом сопротивления. Кроме того, для уменьшения влияния тока возбуждения на магнитный поток тахогенераторы часто выполняют с сильно

насыщенной магнитной системой (рис. 2.3). При этом небольшие отклонения тока возбуждения ΔI_B от номинального, значения $I_{B,НОМ}$ практически не влияют на величину магнитного потока ($\Delta\Phi \cong 0$). В машине с сильно насыщенной магнитной системой уменьшается также размагничивающее действие реакции якоря, особенно при небольших токах нагрузки. Однако рост насыщения магнитной системы тахогенератора приводит к увеличению размеров его обмотки возбуждения, а, следовательно, размеров и массы всей машины. Недостатком насыщенной машины является также отсутствие пропорциональности между выходным напряжением и током возбуждения, что необходимо в некоторых схемах автоматики.

Указанные причины вызывают отклонение линейной выходной характеристики тахогенератора от идеализированной. Относительная скоростная амплитудная погрешность Δu , обусловленная нелинейностью выходной характеристики, обычно устанавливается при номинальной частоте вращения и определяется в процентах:

$$\Delta u = \left(\frac{U_{ид} - U_D}{U_{ид}} \right) \cdot 100, \quad (2.3)$$

где $U_{ид}$ – выходное напряжение при идеализированных условиях; U_D – действительное значение выходного напряжения.

В тахогенераторах постоянного тока технологическая неточность установки щеток на геометрической нейтрали вызывает еще один вид погрешности – асимметрию выходного напряжения. Она заключается в том, что величина выходного напряжения различна при вращении якоря с одинаковой частотой, но в противоположных направлениях. Асимметрию выходного напряжения вычисляют как отношение разности выходных напряжений при вращении якоря с номинальной частотой в обоих направлениях к полусумме этих напряжений. В зависимости от класса точности тахогенератора скоростная амплитудная погрешность при номинальной частоте вращения составляет $\pm (0,05 \div 3) \%$, а ошибка асимметрии равна $\pm (1 \div 3) \%$.

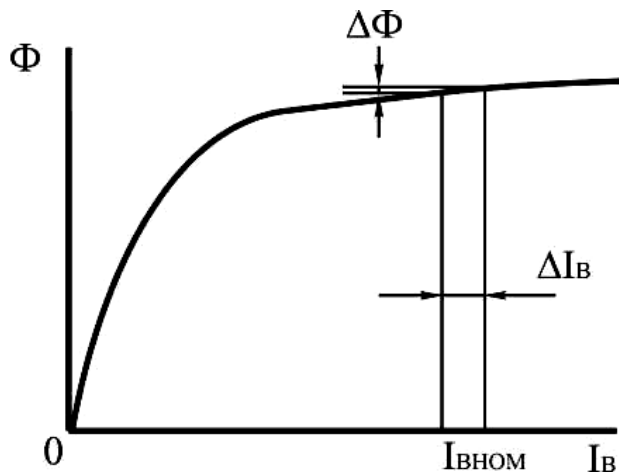


Рисунок 2.3 – Магнитная характеристика тахогенератора с насыщенной магнитной системой

Достоинства и недостатки тахогенераторов. Достоинства тахогенераторов постоянного тока следующие: малые габариты и масса при большой выходной мощности; отсутствие фазовой погрешности, что обусловлено работой на активную нагрузку; в тахогенераторах с постоянными магнитами не требуется иметь вспомогательный источник электрической энергии для возбуждения. Однако по сравнению с тахогенераторами переменного тока они имеют ряд недостатков: сложность конструкции, высокую стоимость, нестабильность выходной характеристики из-за наличия скользящего контакта, пульсации выходного напряжения и радиопомехи, возникающие в результате коммутации тока щетками.

МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Привести паспортные данные тахогенератора (табл. 2.1).

Таблица 2.1 – Паспортные данные тахогенератора постоянного тока

Тип	$P_{НОМ}$, Вт	$U_{НОМ}$, В	$I_{НОМ}$, А	$n_{НОМ}$, об/мин
ТМГ	20	230	0,087	4000

2. Собрать схему, привод тахогенератора осуществляется от коллекторной машины (рис. 2.4).

3. Снять выходную характеристику тахогенератора $U = f(n)$ при сопротивлении нагрузки $R_{НАГР} = \infty$, изменяя частоту от нуля до $n_{НОМ}$. Данные измерений занести в таблицу 2.2.

Таблица 2.2 – Выходная характеристика тахогенератора $U = f(n)$ ($R_{НАГР} = \infty$)

U , В					
n , об/мин					

4. Снять выходную характеристику тахогенератора $U = f(n)$ при сопротивлении нагрузки $R_{НАГР} = 1$ кОм, изменяя частоту от нуля до $n_{НОМ}$. Данные измерений занести в таблицу 2.3.

Таблица 2.3 – Выходная характеристика тахогенератора $U = f(n)$ ($R_{НАГР} = 1$ кОм)

U , В					
n , об/мин					

1. Построить на одном графике выходные характеристики тахогенератора $U = f(n)$ при сопротивлениях нагрузки $R_{НАГР} = \infty$; 1 кОм.

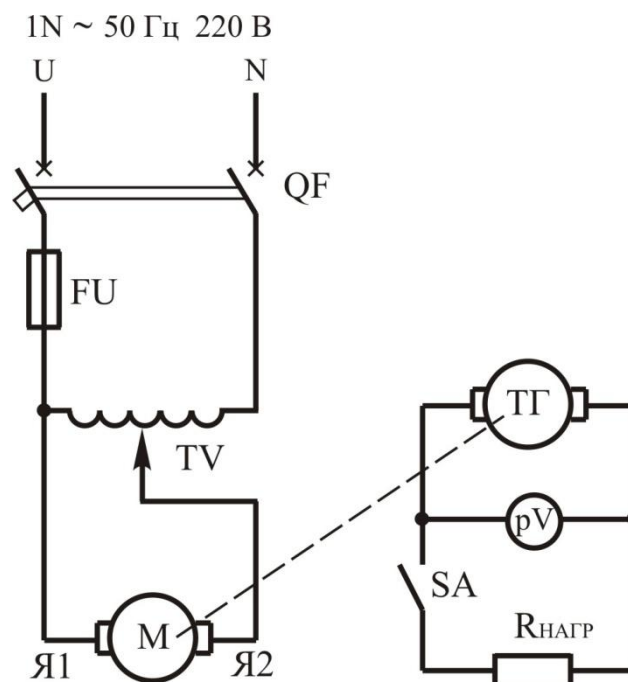


Рисунок 2.4 – Схема исследования тахогенератора постоянного тока

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Наименование и цель работы.
2. Электрическая схема работы тахогенератора постоянного тока.
3. Результаты проведенных опытов, построенные графики.
4. Краткие ответы на контрольные вопросы.
5. Краткие выводы по работе.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назначение тахогенератора постоянного тока.
 2. Требования, предъявляемые к тахогенераторам постоянного тока.
 3. Какие способы возбуждения тахогенераторов постоянного тока вы знаете?
 4. Почему выходная характеристика тахогенератора криволинейна?
 5. Что такое зона нечувствительности тахогенератора? Какие меры применяются для ее уменьшения?
 6. Принцип действия тахогенератора постоянного тока.
 7. Назовите причины погрешности выходной характеристики.
 8. Что называют асимметрией выходного напряжения?
 9. В чем преимущества тахогенератора постоянного тока?
 10. Недостатки тахогенератора постоянного тока.
- Область применения тахогенераторов постоянного тока.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4 ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕНЕРАТОРА ПАРАЛЛЕЛЬНОГО И СМЕШАННОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ

Цель работы:

Ознакомиться с методикой испытания генератора параллельного и смешанного возбуждения, измерить сопротивление в цепи якоря и сопротивления обмоток возбуждения методом амперметра и вольтметра, получить характеристики генератора параллельного и смешанного возбуждения.

Порядок выполнения работы:

1. Изучить принцип работы генератора параллельного и смешанного возбуждения.
2. Собрать электрические схемы.
3. Провести необходимые измерения.
4. Выполнить расчеты и построить графики.
5. Письменно оформить краткие выводы по работе.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

В генераторе с параллельным возбуждением (рис. 4.1, а) обмотка возбуждения подсоединена через регулировочный реостат параллельно нагрузке. Следовательно, в данном случае используется принцип самовозбуждения, при котором обмотка возбуждения получает питание непосредственно от обмотки якоря генератора. Самовозбуждение генератора возможно только при выполнении определенных условий. Чтобы установить их, рассмотрим процесс изменения тока в контуре "обмотка возбуждения - обмотка якоря" в режиме холостого хода. Для рассматриваемого контура получим уравнение:

$$\dot{e} = i_A \cdot \sum R_B + L_B \cdot \frac{di_B}{dt}, \quad (4.1)$$

где e – мгновенное значение ЭДС в обмотке якоря; i_B – мгновенное значение тока возбуждения; $\sum R_B = R_B + R_{PB}$ – суммарное сопротивление цепи возбуждения генератора (сопротивлением $\sum R_a$ можно пренебречь, так как оно значительно меньше $\sum R_B$); L_B – суммарная индуктивность обмоток возбуждения и якоря.

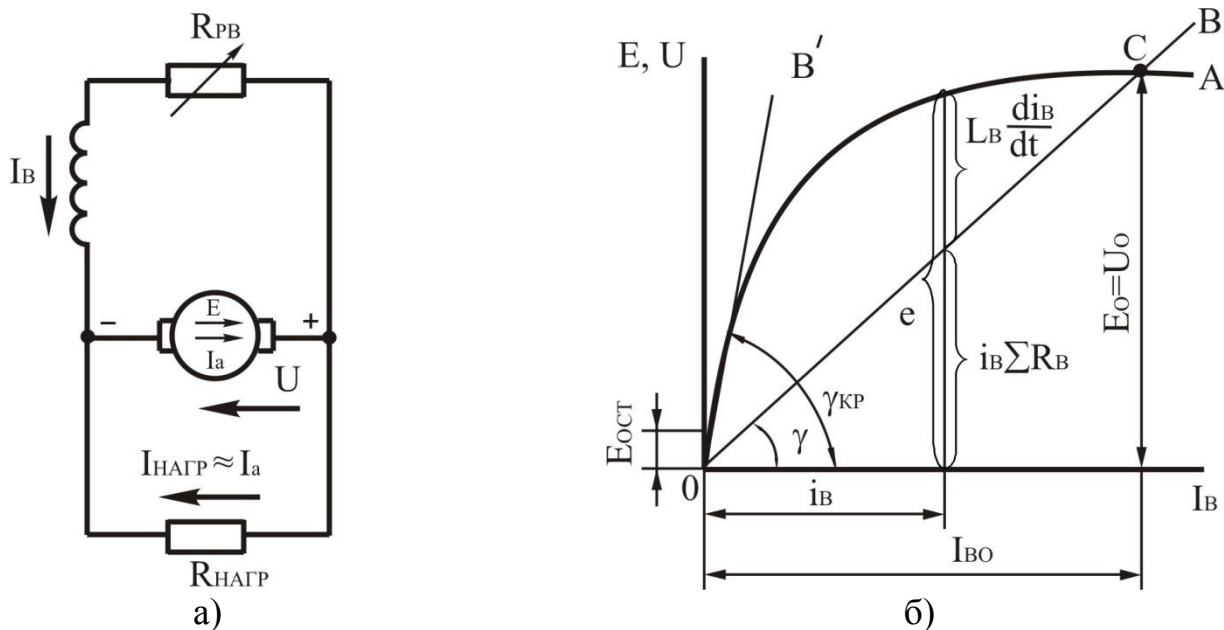


Рисунок 4.1 – Принципиальная схема генератора с параллельным возбуждением (а) и зависимости изменения ЭДС и падения напряжения в цепи возбуждения $i_B \cdot \sum R_B$ при изменении тока возбуждения генератора (б)

Все члены уравнения (4.1) можно изобразить графически (рис. 4.1, б). ЭДС e при некотором значении i_B тока возбуждения можно определить по характеристике ОА холостого хода генератора, а падение напряжения $i_B \cdot \sum R_B$ – по вольтамперной характеристике ОВ его цепи возбуждения. Характеристика ОВ представляет собой прямую, проходящую через начало координат под углом γ к оси абсцисс; при этом $\operatorname{tg} \gamma = \sum R_B$. Из (4.1) имеем:

$$\frac{di_B}{dt} = \frac{e - i_B \cdot \sum R_B}{L_B}. \quad (4.2)$$

Следовательно, если разность $(e - i_B \cdot \sum R_B) > 0$, то производная $\frac{di_B}{dt} > 0$, и происходит процесс увеличения тока возбуждения i_B .

Установившийся режим в цепи обмотки возбуждения наблюдается при $\frac{di_B}{dt} = 0$, то есть в точке пересечения С характеристики холостого хода ОА с прямой ОВ. При этом машина работает с некоторым установившимся током возбуждения i_{B0} и ЭДС $E_0 = U_0$.

Из уравнения (4.2) следует, что для самовозбуждения генератора необходимо выполнение определенных условий:

- процесс самовозбуждения может начаться только в случае, если в начальный момент ($i_B = 0$) в обмотке якоря индуцируется некоторая начальная ЭДС. Такая ЭДС может быть создана потоком остаточного магнетизма, который при вращении якоря индуцирует его в обмотке ЭДС $E_{ост}$. Обычно поток остаточного магнетизма имеется в машине из-за наличия гистерезиса в ее

магнитной системе. Если такой поток отсутствует, то его создают, пропуская через обмотку возбуждения ток от постороннего источника;

- при прохождении тока i_B по обмотке возбуждения ее МДС F_B должна быть направлена согласно МДС остаточного магнетизма F_{OCT} . В этом случае под действием разности $(e - i_B \cdot \Sigma R_B)$ происходит процесс нарастания тока i_B магнитного потока возбуждения F_B и ЭДС e . Если указанные МДС направлены встречно, то МДС обмотки возбуждения создает поток, направленный против потока остаточного магнетизма, машина размагничивается, и процесс самовозбуждения не сможет начаться;

- положительная разность $(e - i_B \cdot \Sigma R_B)$, необходимая для возрастания тока возбуждения i_B от нуля до установившегося значения i_{B0} , может возникать только в том случае, если в указанном диапазоне изменения тока i_B прямая ОВ располагается ниже характеристики холостого хода ОА. При увеличении сопротивления цепи возбуждения ΣR_B возрастает угол наклона γ прямой ОВ к оси тока I_B и при некотором критическом значении угла γ_{KP} (соответствующем критическому значению сопротивления $\Sigma R_{B.KP}$) прямая ОВ практически совпадает с прямолинейной частью характеристики холостого хода. В этом случае $e \approx i_B \cdot \Sigma R_B$ и процесс самовозбуждения становится невозможным. Следовательно, для самовозбуждения генератора необходимо, чтобы сопротивление цепи возбуждения было меньше критического значения.

Если параметры цепи возбуждения подобраны так, что $\Sigma R_B \ll \Sigma R_{B.KP}$, то в точке С обеспечивается устойчивость режима самовозбуждения. При случайном уменьшении тока i_B ниже установившегося значения i_{B0} или увеличения его свыше i_{B0} возникает соответственно положительная или отрицательная разность $(e - i_B \cdot \Sigma R_B)$, стремящаяся изменить ток i_B так, чтобы он стал снова равным i_{B0} . Однако при $\Sigma R_B > \Sigma R_{B.KP}$ устойчивость режима самовозбуждения нарушается. Если в процессе работы генератора увеличить сопротивление цепи возбуждения ΣR_B до значения, большего $\Sigma R_{B.KP}$, то его магнитная система размагничивается и ЭДС уменьшается до E_{OCT} . Если генератор начал работать при $\Sigma R_B > \Sigma R_{B.KP}$, то он не сможет самовозбудиться. Следовательно, условие $\Sigma R_B < \Sigma R_{B.KP}$ ограничивает возможный диапазон регулирования тока возбуждения генератора и его напряжения. Обычно можно уменьшить напряжение генератора, увеличивая сопротивление ΣR_B , лишь до $(0,6 \div 0,7) \cdot U_{НОМ}$.

Внешняя характеристика генератора представляет собой зависимость $U = f(I_{НАГР})$ при $n = \text{const}$ и $R_B = \text{const}$ (рис. 4.2, кривая 1). Она располагается ниже внешней характеристики генератора с независимым возбуждением (кривая 2). Это объясняется тем, что в рассматриваемом генераторе, кроме двух причин, вызывающих уменьшение напряжения с ростом нагрузки (падения напряжения в якоре и размагничивающего действия реакции якоря),

существует еще третья причина – уменьшение тока возбуждения $I_B = \frac{U}{\Sigma R_B}$,

который зависит от напряжения U , т. е. от тока $I_{НАГР}$.

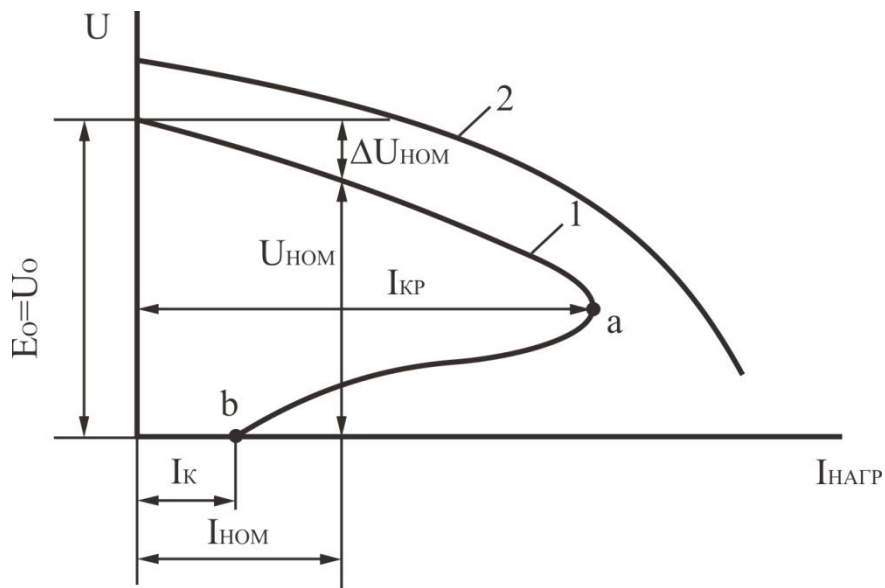


Рисунок 4.2 – Внешние характеристики генераторов с независимым (1) и параллельным (2) возбуждением

Генератор может быть нагружен только до некоторого максимального тока $I_{КР}$. При дальнейшем снижении сопротивления нагрузки $R_{НАГР}$ ток $I_B = \frac{U}{R_{НАГР}}$

начинает уменьшаться, так как напряжение U падает быстрее, чем уменьшается $R_{НАГР}$. Работа на участке ab внешней характеристики неустойчива; в этом случае машина переходит в режим работы, соответствующий точке b , то есть в режим короткого замыкания.

При переходе от режима номинальной нагрузки к режиму холостого хода напряжение генератора изменяется на 10...20 %, то есть больше, чем в генераторе с независимым возбуждением.

При установившемся коротком замыкании якоря ток I_K генератора с параллельным возбуждением сравнительно мал (рис. 4.2), так как в этом режиме напряжение и ток возбуждения равны нулю. Следовательно, ток короткого замыкания создает только ЭДС от остаточного магнетизма и составляет $(0,4 \div 0,8) \cdot I_{НОМ}$.

Регулировочная и нагрузочная характеристики генератора с параллельным возбуждением имеют такой же характер, как и у генератора с независимым возбуждением.

Большинство генераторов постоянного тока, выпускаемых отечественной промышленностью, имеют параллельное возбуждение. Для улучшения внешней характеристики они обычно имеют небольшую последовательную обмотку (один-три витка на полюс). При необходимости такие генераторы можно включать и по схеме с независимым возбуждением.

В генераторе с последовательным возбуждением (рис. 4.3, а) ток возбуждения $I_B = I_a = I_{НАГР}$. Внешнюю характеристику генератора (рис. 4.3, б, кривая 1) можно построить по характеристике холостого хода (кривая 2) и реактивному треугольнику ABC , стороны которого увеличиваются

пропорционально току $I_{НАГР}$. При токах, меньших $I_{КР}$, с увеличением тока нагрузки возрастает магнитный поток Φ и ЭДС генератора E , вследствие чего увеличивается и его напряжение U . Только при больших токах $I_{НАГР} > I_{КР}$ напряжение U с возрастанием нагрузки уменьшается, так как в этом случае магнитная система машины насыщается и небольшое возрастание потока Φ не может скомпенсировать увеличение падения напряжения на внутреннем сопротивлении ΣR_a . Поскольку в генераторе с последовательным возбуждением напряжение сильно изменяется при изменении нагрузки, а при холостом ходе оно близко к нулю, такие генераторы непригодны для питания большинства электрических потребителей. Их используют лишь при электрическом торможении двигателей с последовательным возбуждением, которые при этом переводятся в генераторный режим.

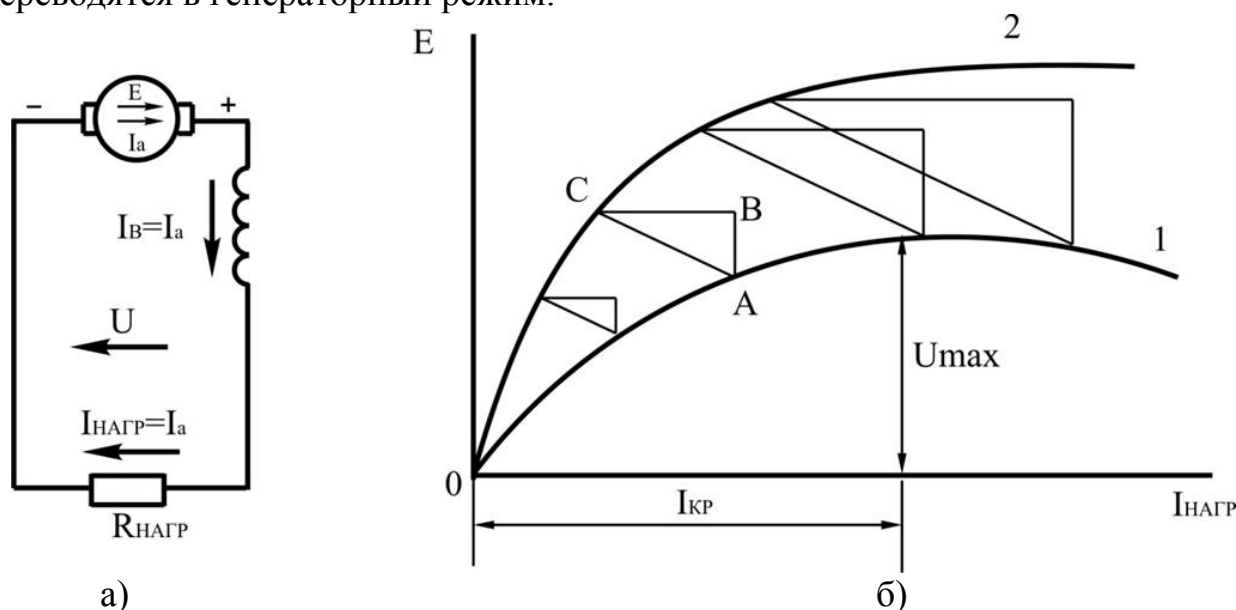


Рисунок 4.3 – Схема генератора с последовательным возбуждением (а) и его внешняя характеристика (б)

В генераторе со смешанным возбуждением (рис. 4.4, а) имеются две обмотки возбуждения: основная (параллельная) и вспомогательная (последовательная). Согласно включение двух обмоток позволяет получить приблизительно постоянное напряжение генератора при изменении нагрузки. Внешнюю характеристику генератора (рис. 4.4, б) в первом приближении можно представить в виде суммы характеристик, создаваемых каждой из обмоток возбуждения. При включении одной параллельной обмотки, по которой проходит ток возбуждения $I_{В1}$, напряжение генератора U постепенно уменьшается с увеличением тока нагрузки $I_{НАГР}$ (кривая 1). При включении одной последовательной обмотки, по которой проходит ток возбуждения $I_{В2} = I_{НАГР}$, напряжение возрастает с увеличением тока $I_{НАГР}$ (кривая 2).

Подбирая число витков последовательной обмотки так, чтобы при номинальной нагрузке создаваемое ею напряжение $\Delta U_{ПОСЛ}$ компенсировало суммарное падение напряжения ΔU при работе машины с одной только параллельной обмоткой, можно добиться, чтобы напряжение U при изменении тока нагрузки от нуля до $I_{НОМ}$ оставалось почти неизменным (кривая 3).

Практически оно изменяется в пределах 2÷3 %. Увеличивая число витков последовательной обмотки, можно получить характеристику, при которой напряжение $U_{НОМ} > U_0$ (кривая 4). Такая характеристика обеспечивает компенсацию падения напряжения не только во внутреннем сопротивлении ΣR_a генератора, но и в линии, соединяющей его с нагрузкой. Если последовательную обмотку включить так, чтобы МДС была направлена против МДС параллельной обмотки (встречное включение), то внешняя характеристика генератора при большом числе витков последовательной обмотки будет крутопадающей (кривая 5). Встречное включение последовательной и параллельной обмоток возбуждения применяют в сварочных генераторах и других специальных машинах, где требуется ограничить ток короткого замыкания.

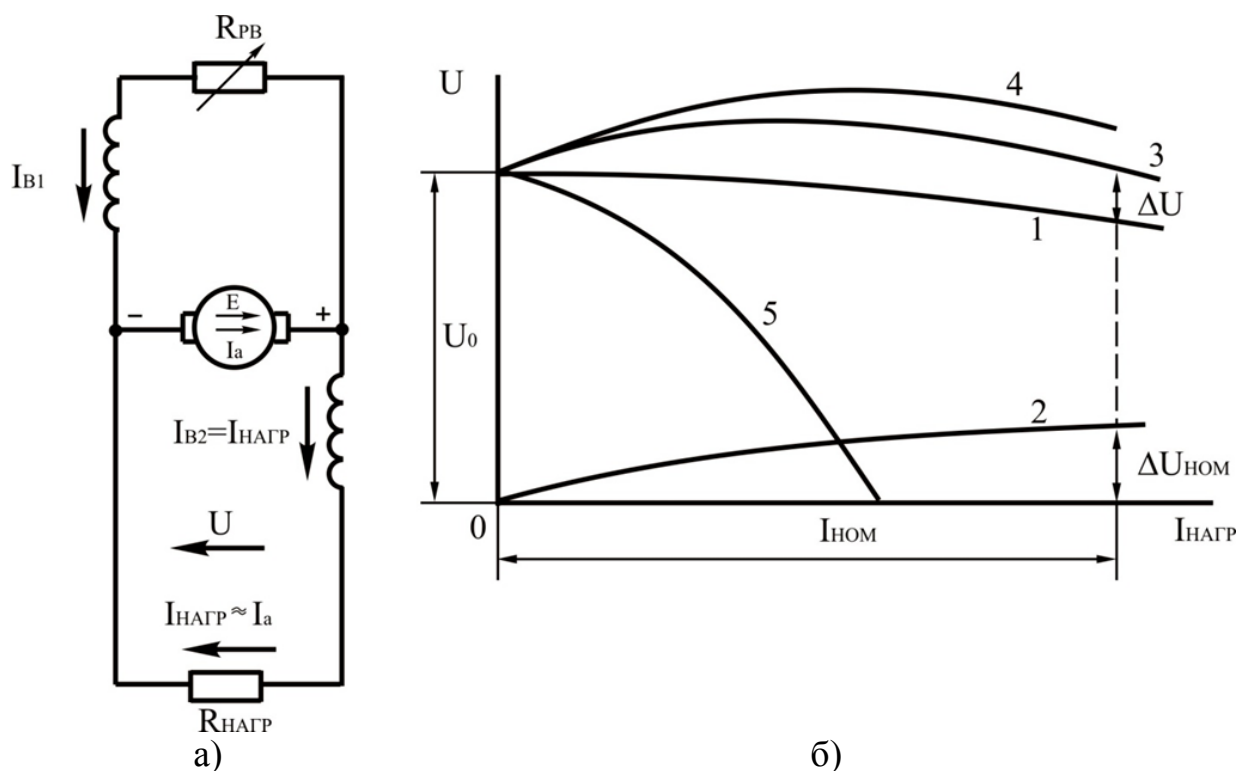


Рисунок 4.4 – Схема генератора со смешанным возбуждением (а) и его внешние характеристики (б)

МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТ

1. Ознакомиться с установкой. Записать паспортные данные генератора (табл. 4.1).

Таблица 4.1 – Паспортные данные генератора

ТИП	$P_{НОМ}$, Вт	$U_{НОМ}$, В	$I_{НОМ}$, А	$n_{НОМ}$, об/мин
П-6	1500	220	8,65	1500

2. Ознакомиться с асинхронным двигателем, приводящим во вращение генератор.

4. Собрать схему (рис. 4.5) для изучения генератора параллельного возбуждения.

4.1. Снять внешнюю характеристику генератора параллельного возбуждения – зависимость $U = f(I_{НАГР})$ при $R_B = \text{const}$.

4.1.1. Включить автоматический выключатель QF2, якорь генератора приводится во вращение (сопротивление нагрузки выведено, то есть SA1...SA4 выключены).

4.1.2. С помощью реостата R_B устанавливаем максимальное значение напряжения U .

4.1.3. Не изменяя положения реостата R_B в цепи возбуждения, постепенно нагрузить генератор (поочередно включая SA1...SA4). Результаты измерений занести в таблицу 4.2.

Таблица 4.2 – Данные опыта

$U, \text{В}$						
$I_{НАГР}, \text{А}$						
$I_B, \text{А}$						

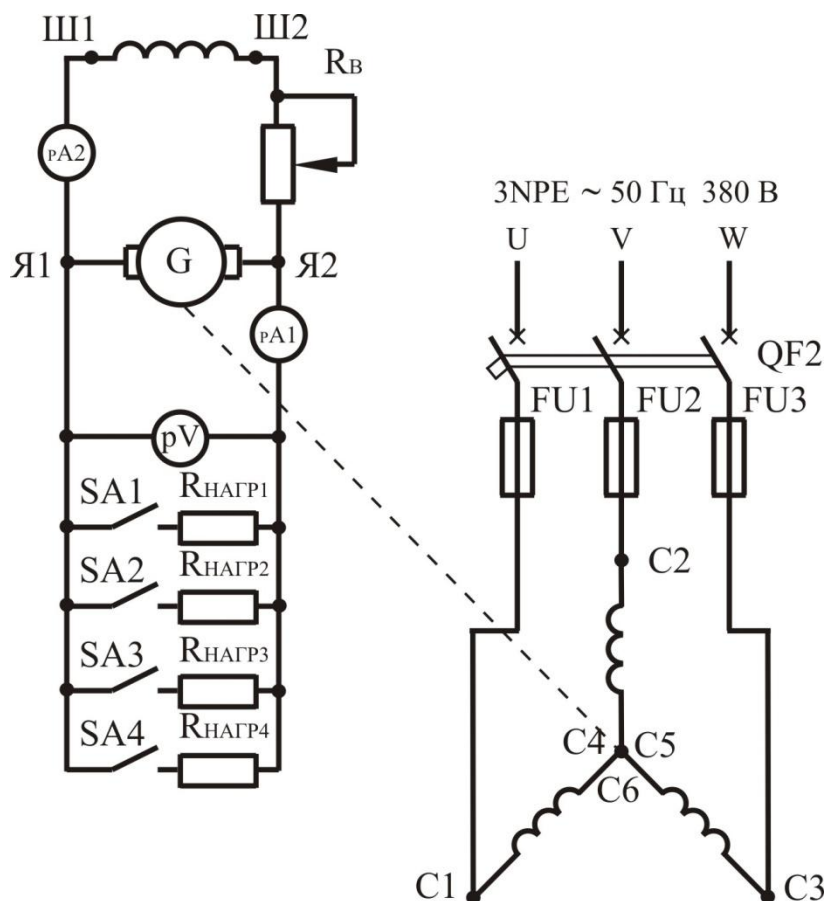


Рисунок 4.5 – Схема опыта для снятия характеристик генератора параллельного возбуждения

4.1.4. По полученной внешней характеристике определить процентное изменение напряжения:

$$\Delta U = \frac{(U_0 - U_{\text{н}})}{U_{\text{н}}} \cdot 100, \%, \quad (4.6)$$

где U_0 – напряжение при холостом ходе; $U_{\text{НОМ}}$ – напряжение при номинальной нагрузке.

По результатам опытов на одних координатных осях построить внешнюю характеристику.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Наименование и цель работы.
2. Электрические схемы испытания генератора постоянного тока.
3. Результаты проведенных опытов и построенные характеристики.
4. Краткие ответы на контрольные вопросы.
5. Краткие выводы по работе.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие характеристики определяют свойства генераторов параллельного, последовательного и смешанного возбуждения?
2. Что представляют собой нагрузочная, регулировочная и внешняя характеристики генератора параллельного возбуждения?
3. Что представляют собой нагрузочная, регулировочная и внешняя характеристика генератора смешанного возбуждения?
4. Почему нагрузочная характеристика генератора смешанного возбуждения при согласном включении обмоток может проходить или выше, или ниже характеристики холостого хода?
5. В каких устройствах применяется встречное включение параллельной и последовательной обмоток возбуждения и почему?
6. Назовите способы возбуждения генераторов постоянного тока. Назначение последовательной обмотки возбуждения в генераторе смешанного возбуждения?
7. Почему внешняя характеристика генератора параллельного возбуждения проходит ниже внешней характеристики генератора независимого возбуждения?
8. Какие основные причины приводят к уменьшению напряжения на зажимах генератора при увеличении его нагрузки?