

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ВОЛОГОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Е.В. Несговоров
Д.А. Колесниченко

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

Утверждено редакционно-издательским советом ВоГУ

Вологда
2014

УДК 62-83, 621.213

ББК 31.261

Н 55

Рецензенты:

канд. техн. наук, профессор, ведущий специалист сектора «Энергосбережение и повышение энергоэффективности» филиала ОАО "МРСК Северо-Запада" "Вологдаэнерго" **В.В. Орлов**

канд. техн. наук, доцент, начальник производственно-технического отдела
ГП ВО «Областные электротеплосети» **С.Б. Федотовский**

Несговоров, Е.В.

Н 55 Электрические машины: лабораторный практикум / Е.В. Несговоров, Д.А. Колесниченко. – Вологда: ВоГУ, 2014. – 76 с.

В лабораторном практикуме приведены методы испытаний, оборудование, применяемое при исследованиях, погрешности и ошибки при проведении опытных исследований, программы лабораторных работ по курсам «Электрические машины», «Электромеханика», правила оформления отчетов, инструкция по технике безопасности для студентов.

УДК 62-83, 621.213

ББК 31.261

© ВОГУ, 2014

© Несговоров Е.В., 2014

© Колесниченко Д.А., 2014

ВВЕДЕНИЕ

Для того чтобы электрическая машина могла считаться вполне доброкачественной, пригодной к эксплуатации, она должна удовлетворять ряду требований, предъявляемых к ней действующими стандартами. Для всех электрических машин действующий стандарт 183-74 "Машины электрические. Общие технические требования" предусматривает обширную программу испытаний. Кроме этого, в ряде случаев к машине предъявляются дополнительные требования, оговариваемые техническими условиями.

Промышленные испытания электрических машин, имеющие своей целью проверку соответствия изготовленной машины требованиям указанного стандарта, а также стандартов или технических условий, оговаривающих специальные требования к конкретным типам машин, делятся на типовые, контрольные, приёмо-сдаточные, эксплуатационные испытания. Могут также производиться специальные и исследовательские испытания. Методы промышленных испытаний рассмотрены в [1].

Программа учебных испытаний обычно в значительной мере отличается от программы промышленных испытаний, что объясняется различными целями, стоящими перед производителями электрических машин и перед учебным заведением. Комплекс вопросов, связанных с испытаниями электрических машин с учетом действующих стандартов, рассмотрен в [2].

Учебные испытания электрических машин имеют своей целью возможно более полное освещение основных физических процессов, которые рассматриваются в соответствующих разделах теоретического курса, изучение и оценку эксплуатационных свойств электрических машин, сравнение расчетных и экспериментальных данных. Работа в лаборатории прививает студентам практические навыки создания принципиальных электрических схем, схем подключения, обращения с измерительной аппаратурой, обработкой данных измерений, оценкой полученных результатов.

1. ОРГАНИЗАЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

До начала испытаний следует четко установить цели и задачи опытов, приготовить бланки протоколов. До разработки принципиальных схем включения исследуемых машин, аппаратуры управления и измерительных приборов необходимо произвести внешний осмотр машины, ознакомиться с конструкцией и номинальными данными, указанными на щитках, убедиться, что машины не имеют неисправностей, которые могут быть обнаружены внешним осмотром.

При разработке схем необходимо ознакомиться с аппаратурой и измерительными приборами, размещенными на стенде или имеющимися в лаборатории.

В учебной лаборатории электрических машин ВоГТУ выполняются следующие лабораторные работы:

1. Двигатель постоянного тока;
2. Трехфазный двухобмоточный трансформатор;
3. Параллельная работа трехфазных двухобмоточных трансформаторов;
4. Трехфазный двухобмоточный трансформатор в несимметричных режимах работы;
5. Исследование переходных процессов при подключении трансформатора к сети
6. Исследование переходных процессов при несимметричной работе трехфазного двухобмоточного трансформатора;
7. Трехфазная асинхронная машина с фазным ротором в режимах работы двигателем, генератором и электромагнитным тормозом;
8. Трехфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором;
9. Однофазный и конденсаторный асинхронный двигатель;
10. Исследование переходных процессов при прямом пуске асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором;
11. Исследование внешних характеристик асинхронного генератора;
12. Исследование переходных процессов при самовозбуждении асинхронного генератора;
13. Опытное определение параметров синхронных машин;
14. Экспериментальное определение характеристик синхронного генератора;
15. Параллельная работа трехфазного синхронного генератора с сетью;
16. Трехфазный синхронный двигатель;
17. Исследование переходных процессов при внезапных коротких замыканиях синхронного генератора.

2. ОБОРУДОВАНИЕ, ПРИМЕНЯЕМОЕ ПРИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

2.1. ИЗМЕРЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

2.1.1. Трехфазный мультиметр - Satec



Рис. 2.1. Внешний вид прибора

2.1.2. Сведения об изделии и технические данные

Прибор PM130 PLUS является компактным трехфазным измерителем, специально разработанным для удовлетворения потребностей широкого спектра пользователей – от разработчиков электрических панелей до операторов подстанций. Прибор обеспечивает трехфазные измерения параметров электроэнергии, включая показатели качества; мониторинг внешних событий посредством дискретных входов; взаимодействие с внешним оборудованием через контакты реле. Во входных токовых цепях приборов PM130 PLUS установлены высокоточные трансформаторы тока. Математическую обработку сигналов

обеспечивает контроллер с оперативной памятью RAM и внутренней энерго-независимой памятью EEPROM.

Производятся две модели PM130 PLUS:

- PM130P – базовая модель, измеряющая напряжение, ток, частоту, мощность и $\cos\varphi$;
- PM130EH – добавляются измерения интегрируемой мощности, энергии, измерение гармоник (КИС, K-factor, индивидуальные гармоники до 40-й (63-й через программу PAS).

Все модели серии PM130 PLUS подходят для монтажа в 4-дюймовый круглый или квадратный вырез 92 на 92 мм. Также возможно заказать прибор в специальном исполнении для монтажа на DIN-рейку.

Дисплей

Светодиодный дисплей (три окна) с настраиваемым временем обновления дисплея и яркостью. Графический светодиодный индикатор, показывающий максимальный фазный ток в процентах относительно определяемого пользователем тока нагрузки (100 %). В общей группе измерений доступна автопрокрутка показаний с программируемым интервалом прокрутки.

Коммуникация

Прибор стандартно оснащается портом связи RS-485 (протоколы ASCII, Modbus и DNP3.0). Используя дополнительный модуль, в прибор может быть установлен дополнительный коммуникационный порт Ethernet (протоколы Modbus TCP и DNP3 TCP) или PROFIBUS.

Возможности:

- три входа напряжения и три гальванически изолированные входа тока. Используются для прямого подключения, либо через трансформаторы тока и напряжения;
- многофункциональный трехфазный измеритель токов, напряжений, активной, реактивной и полной мощностей, $\cos\varphi$, частоты, несимметрии токов и напряжений, тока нейтрали;
- анализатор гармоник: коэффициент искажения синусоидальности (КИС) по токам и напряжениям, индивидуальные гармоники до 40-й. Спектр гармоник и углы (для PM130EH);
- трехфазный счетчик электрической энергии по 4 квадрантам, класса точности 0.5S (МЭК 62053-22:2003). Учет активной, реактивной и полной энергии, суммарной и по фазам (для PM130EH);
- многотарифная система учета электроэнергии: 4 регистра 4 тарифа, 4 сезона 4 типа дня. 8 времен начала нового тарифа в течение суток. На-

страиваемое расписание (для РМ130ЕН с дополнительным установленным модулем);

- 16 программируемых уставок, время срабатывания уставки 20 мс.;
- специальные версии для частоты 25/50/60/400 Гц.;
- встроенные часы и календарь, метка времени (сохранение времени в течение 30 сек, при отсутствии питания прибора). При установке дополнительного модуля сохранение питания часов при перерывах в питании до 5 лет;
- возможность обновления программы прибора через порты связи.

2.1.3. Электрическая установка

ВНИМАНИЕ: Перед монтажом необходимо убедиться в том, что устанавливаемый счетчик требуемой модификации, соответствует реальным условиям и режимам работы, т.е. номинальным (максимальным) значениям параметров подключаемой (измеряемой) сети.

ВНИМАНИЕ: Необходимо убедиться в отсутствии напряжения и тока в подключаемых цепях.

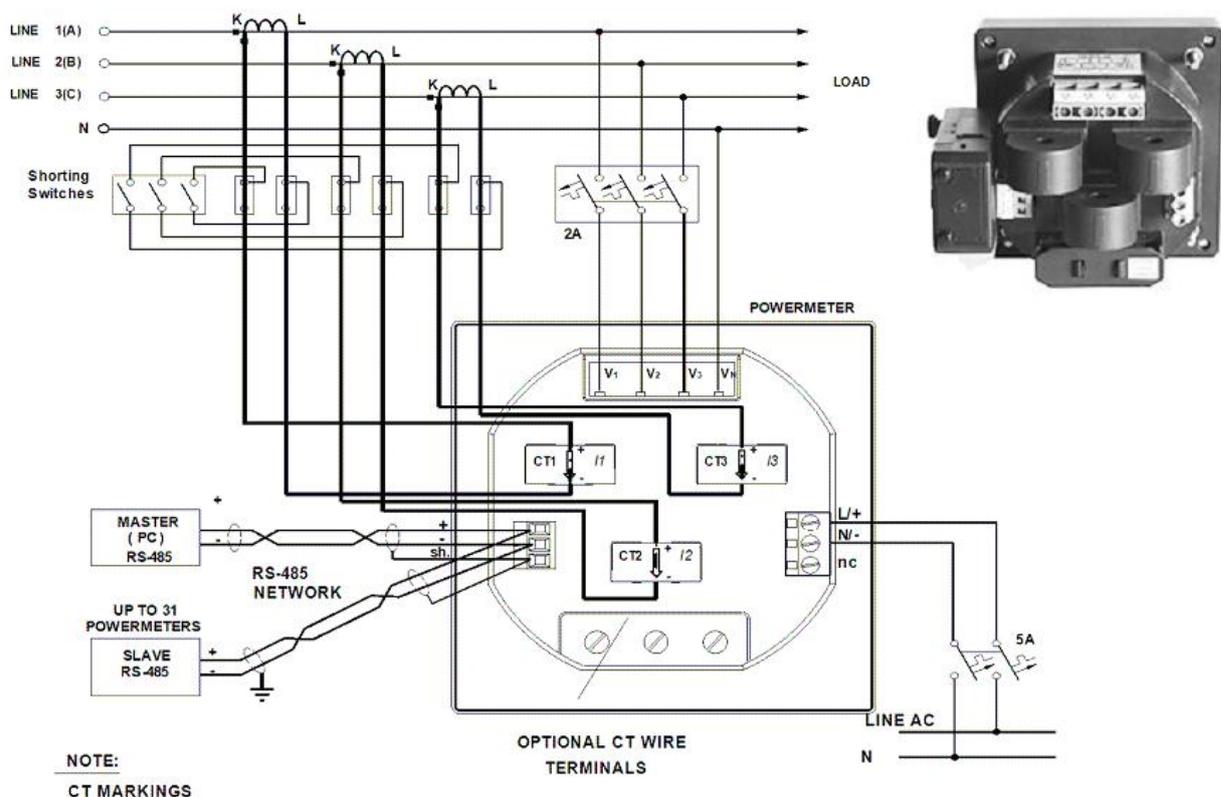


Рис. 2.2. Схема подключения прибора

2.1.4. Интерфейс пользователя

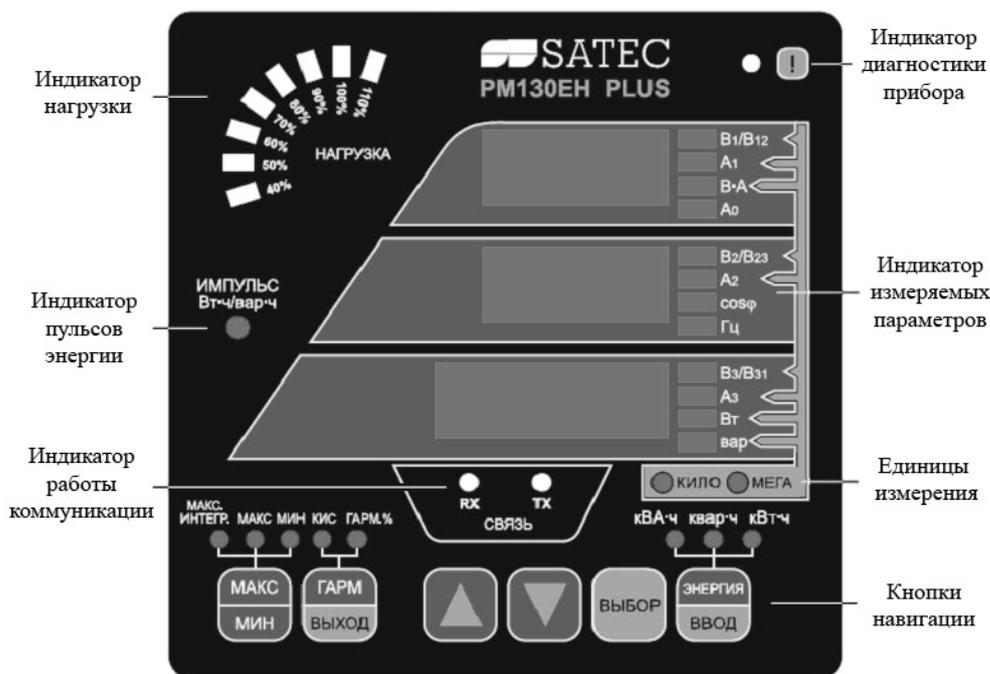


Рис. 2.3. Лицевая панель прибора

Индикатор диагностики прибора.

В течение 1 сек после включения питания прибора, включаются все светодиодные индикаторы для проверки работоспособности. Когда прибор регистрирует новое сообщение самодиагностики, включается индикатор “i” на лицевой панели прибора.

Индикатор нагрузки.

Индикатор нагрузки отображает величину токовой нагрузки в процентах относительно определенного пользователем номинального тока нагрузки. Наивысший фазный ток, измеряемый прибором, делится на номинальный ток нагрузки и отображается в виде процента светящимися светодиодами (от 40% до 110%). Например, если светятся все индикаторы от 40 % до 90 % включительно, это значит, что нагрузка составляет 90 % от номинальной нагрузки. Если номинальная нагрузка не установлена (установлены нулевые значения), за номинальный ток принимается первичный ток трансформатора тока.

Индикатор пульсов энергии.

Прибор PM130 PLUS имеет индикатор пульсов энергии, который может работать в двух режимах. Нормальный режим: показывает импорт актив-

ной мощности из расчета 1000 имп. на 1 кВт·ч. Тестовый режим: 10000 имп. на 1 кВт·ч/кВАр·ч. Когда прибор находится в тестовом режиме, общие данные о энергии не изменяются.

Индикатор работы коммуникации.

Прибор оснащен двумя зелеными светодиодами “RX” и “TX”, которые показывают активность порта связи COM1. Светодиодный индикатор загорается каждый раз, когда прибор отправляет или получает данные.

Свойства дисплея

PM130 PLUS имеет функцию выбора режима, реализующий при отображении токов, напряжений и мощности.

Режим: Low Resolution Option (низкое разрешение).

Токи отображаются в целых Амперах при токах до 10000А, и в килоамперах при токах свыше 10000А. Измеряемые единицы для напряжения и мощности зависят от типа подключения (значения РТ).

- Для прямого подключения, когда коэффициент трансформации трансформатора напряжения (РТ)=1 или не превышает 4, напряжение отображается в Вольтах и мощность в киловаттах.
- Для $РТ > 4$ напряжения отображаются в киловольтах, а мощности – в мегаваттах с тремя знаками после запятой.

Режим: High Resolution Option (высокое разрешение).

Токи отображаются в Амперах с двумя знаками после запятой при токах до 10000А, и в килоамперах при токах, превышающих 10000А. Измеряемые единицы для напряжения и мощности зависят от типа подключения (значения РТ).

- Для прямого подключения, когда коэффициент трансформации трансформатора напряжения (РТ) = 1, напряжение отображается в Вольтах с одним знаком после запятой, и мощность в киловаттах с 3 знаками после запятой.
- Для подключения, когда $1 < РТ < 4$, напряжение отображается в Вольтах и мощность в киловаттах.
- Для $РТ > 4$ напряжение отображается в киловольтах с тремя знаками после запятой, а мощность в мегаваттах с тремя знаками после запятой.

Измерение мощности.

При подключении прибора в сеть с нейтралью, в дополнение к измерению мощности трех фаз, прибор также может показывать мощность каждой фазы отдельно. По умолчанию данная установка отключена.

Автоматическая прокрутка.

Если разрешена опция Автоматической прокрутки, отображение общих измерений (основной экран) будет прокручиваться автоматически спустя

30 секунд. Для остановки автоматической прокрутки в токовой странице следует нажать любую из клавиш стрелок.

Автоматический возврат к основному экрану.

Если разрешена опция автоматического возврата, дисплей автоматически возвращается к основному экрану из любого другого экрана измерений спустя 30 секунд.

Быстрый сброс накопленных данных.

Когда изменение данных через переднюю панель не защищено паролем, Вы можете сбросить регистры минимальных/максимальных значений, максимальные интегрируемые значения и суммарные энергии из режима отображения без входа в меню сброса.

Выберите страницу дисплея, на которой находятся данные, которые Вы хотите сбросить. Для сброса:

Регистры журнала минимальных/максимальных значений (Min/Max): следует выбрать страницу минимальных/максимальных значений (Min/Max).

- Максимальные интегрированные значения Ампер и Вольт.
- Максимальные интегрированное значение мощности: необходимо выбрать страницу максимальных интегрированных значений мощности из дисплея измерений минимальных/максимальных значений (Min/Max).
- Суммарная энергия и энергия фаз: Следует выбрать дисплей измерений энергии.

Удерживая клавишу **Выбор**, нажать и удерживать в течение 5 секунд клавишу **ВВОД**. Отображаемые данные сбрасываются в нуль.

Настройка яркости

Прибор имеет три уровня яркости свечения светодиодных индикаторов. По умолчанию яркость параметров (см. раздел 4.9 подробной документации на прибор), установлена на максимум.

2.1.5. Кнопки навигации и управления



Рис. 2.4. Кнопки навигации и управления

1. Кнопка МАКС/МИН включает режим отображения максимальных и минимальных значений. При повторном нажатии возврат в общую группу измерений.

2. Кнопка ГАРМ/ВЫХОД включает режим отображения группы измерений гармоник (КИС, индивидуальные гармоники).
3. Кнопки вверх/вниз используются следующим образом в режимах дисплея:
 - ↓ - постраничная прокрутка вниз,
 - ↑ - постраничная прокрутка вверх,
 - ↑ ↓ - возвращение на первую страницу в пределах текущей группы измерений.
4. Кнопка ГАРМ/ВЫХОД используется для выхода из меню настроек прибора и для навигации по меню.
5. Кнопка ЭНЕРГИЯ включает режим отображения вида энергии и используется как кнопка ВВОД.

В таблице 2.1 показаны параметры, которые могут отображаться на лицевой панели прибора. Для перемещения по страницам используются кнопки вверх/вниз ↑ ↓ прибора.

Таблица 2.1

Отображаемые параметры для РМ130

Группа: Общие измерения		
Номер страницы	Отображаемый параметр	Комментарий
1	V12 V23 L V31	Линейное напряжение
2	V12 V23 P V31	Фазное напряжение
3	I1 I2 I3	Ток
4	кВА/МВА cosφ кВт/МВт	Полная мощность Коэффициент мощности Активная мощность
5	A0 Гц квар/Мвар	Ток нейтрали Частота Реактивная мощность
6	Ph.L1 cosφ кВт/МВт	Фаза №1 (если включена функция расчета мощности фазы)
7	кВА/МВА Ph.L1 квар/Мвар	Фаза №1 (если включена функция расчета мощности фазы)
8	Ph.L2 cosφ кВт/МВт	Фаза №2 (если включена функция расчета мощности фазы)

Продолжение табл. 2.1

9	кВА/МВА Ph.L2 квар/Мвар	Фаза №3 (если включена функция расчета мощности фазы)
10	Ph.L3 cosφ кВт/МВт	Фаза №3 (если включена функция расчета мощности фазы)
11	кВА/МВА Ph.L3 квар/Мвар	Фаза №3 (если включена функция расчета мощности фазы)
12	H01 PF кВт/МВт	Fundamental total powers (PM130EH, if enabled)
13	H1.L1 PF	Fundamental phase L1 powers (PM130EH, if enabled)
14	H1.L2 PF	Fundamental phase L2 powers (PM130EH, if enabled)
15	H1.L3 PF	Fundamental phase L3 powers (PM130EH, if enabled)
16	U.Unb V% unb	Несимметрия напряжений, в %
17	C.Unb I% unb	Несимметрия токов, в %
Группа: Минимальные/максимальные значения измерений		
Номер страницы	Отображаемый параметр	Комментарий
1	MIN V1/V2 V2/V23 V3/V31	Минимальное напряжение
2	MIN I1 I2 I3	Минимальный ток
3	MIN кВА/МВА cosφ кВт/МВт	Минимальная полная мощность, S Минимальный cosφ Минимальная активная мощность, P
4	MIN In Гц квар/Мвар	Минимальный ток нейтрали Минимальная частота Минимальная реактивная мощность, Q
5	MAX V1/V12 V2/V23 V3/V31	Максимальное напряжение

6	MAX	I1 I2 I3	Максимальный ток
7	MAX	кВА/МВА cosφ кВт/МВт	Максимальная полная мощность, S Максимальный cosφ Максимальная активная мощность, P
8	MAX	In Гц квар/Мвар	Максимальный ток нейтрали Максимальная частота Максимальная реактивная мощность, Q
9	MAX DMD	V1/V12 V2/V23 V3/V31	Максимальное интегрированное напряжение
10	MAX DMD	I1 I2 I3	Максимальный интегрированный ток
11	MAX DMD	кВА/МВА cosφ кВт/МВт	Максимальная интегрированная полная мощность, S Максимальный интегрированный коэффициент мощности Максимальная интегрированная активная мощность, P

2.1.6. Система сбора данных

Любой учебный процесс исследований (теоретических или экспериментальных) стоит перед необходимостью разработки математических или физических моделей, их идентификации, проведения экспериментов и регистрации результатов, их обработки и принятия решений на основе полученных данных. Для составления моделей и интерполяции полученных при проведении эксперимента результатов необходимы знания в предметной области. Не углубляясь в предметную область, можно выделить ряд задач, возникающих в процессе организации и проведения научного эксперимента, являющихся общими и решаемыми одними и теми же методами. Объекты исследования с установленными на них датчиками соединены с центром приема и обработки линиями связи. Сигналы с датчиков представляют собой смесь полезного сигнала с шумом. В центре обработки сигналы с помощью аналого-цифровых преобразователей (АЦП) превращаются в дискретные данные, записываемые в ЭВМ для дальнейших преобразований.

Так как длительность переходных процессов в электрических машинах зачастую сводится к весьма малым временным интервалам, поэтому наблюдение

действующих величин токов, напряжений и других параметров не может предоставить всей картины происходящего, а значит, например, нет возможность своевременного срабатывания защитной аппаратуры. Все описанное приводит к необходимости изучения и отслеживания мгновенных величин различных параметров. В сетях переменного тока при использовании измерительных трансформаторов «страдает» точность и быстродействие систем. При измерении тока и напряжения в сетях постоянного тока невозможно применение трансформаторов, поэтому очевидным выходом из данной ситуации может быть применение датчиков, построенных на эффекте Холла (свойство полупроводника наводить ЭДС в магнитном поле). Такой тип датчиков может работать как с периодическими сигналами, так и с постоянными и пульсирующими. Следует также отметить работоспособность таких датчиков при высоких частотах изменения измеряемого сигнала.

Функциональная схема измерительного комплекса представлена на рисунке 2.5.

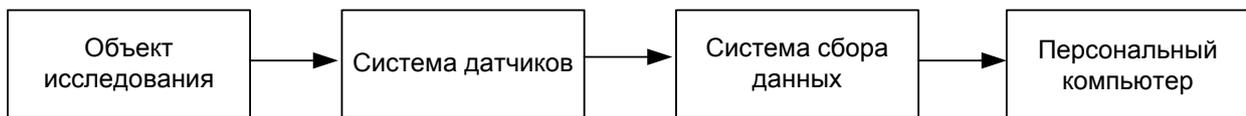


Рис. 2.5. Функциональная схема системы сбора и обработки данных

2.1.7. Датчики тока и напряжения

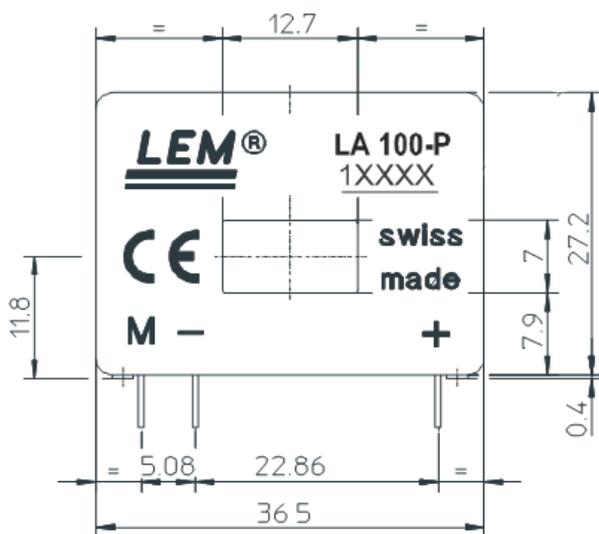


Рис. 2.6. Внешний вид датчика тока с указанием размеров

В качестве датчиков тока использованы датчики швейцарской фирмы LEM – LA 100 – P [14]. Технические характеристики датчиков приведены в таблице 2.2, внешний вид на рисунке 2.6, схема подключения – рисунок 2.7.

В качестве датчиков напряжения использованы следующие тип датчиков швейцарской фирмы LEM – LV 25 – P/SP5 [14]. Технические характеристики датчиков приведены в таблице 2.3, внешний вид на рисунке 2.8, схема подключения – рисунок 2.9.

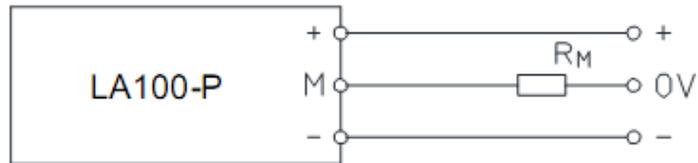


Рис. 2.7. Схема подключения датчика тока

Таблица 2.2

Технические характеристики датчиков тока

Номинальный входной ток, А	100
Диапазон измерения, А	0...±150
Величина нагрузочного резистора, Ом	0...110 (70°C) 20...102 (85°C)
Номинальный аналоговый выходной ток, мА	50
Коэффициент преобразования	1:2000
Ток потребления, мА	10
Напряжение питания, В	±12...±15
Электрическая прочность изоляции, кВ, 50Гц, 1 мин.	2,5
Точность преобразования, %	±0,45
Нелинейность, %	< 0,15
Начальный выходной ток, %	±0,10
Ток смещения, %	±0,15
Температурный дрейф, %	±0,25 (-25°C...85°C) ±0,5 (-40°C...-25°C)
Время задержки при 90% от макс. тока, мкс	<1
Скорость нарастания выходного тока, А/мкс	200
Частотный диапазон, кГц	0...200
Рабочая температура, °С	-40...+85
Вес, г	18

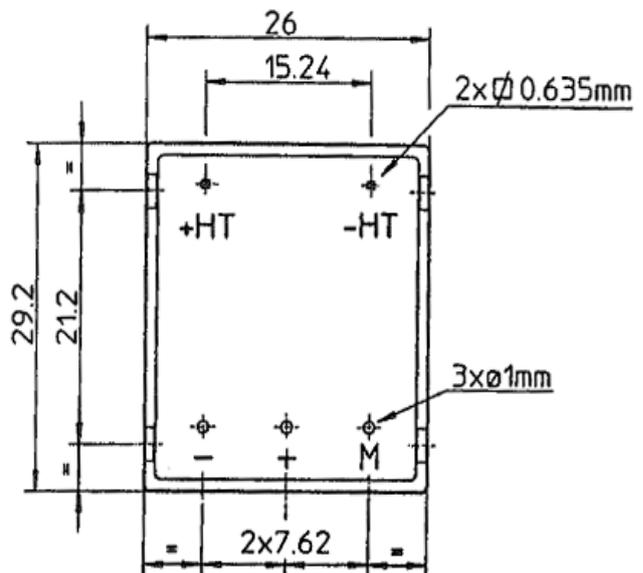


Рис. 2.8. Внешний вид датчика напряжения с указанием размеров

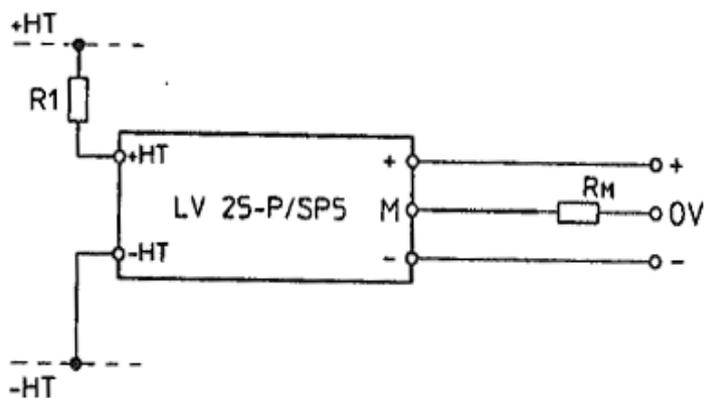


Рис. 2.9. Схема подключения датчика напряжения

Таблица 2.3

Технические характеристики датчиков тока

Номинальный входной ток, мА	10
Диапазон преобразования, мА	0...±14
Величина нагрузочного резистора, Ом	0...340 (10мА) 100...180 (14мА)
Номинальный аналоговый выходной ток, мА	25
Коэффициент преобразования	2500:1000
Ток потребления, мА	10
Напряжение питания, В	±15
Электрическая прочность изоляции, кВ, 50Гц, 1 мин.	4,1
Точность преобразования, %	±0,8
Нелинейность, %	< 0,2
Начальный выходной ток, %	±0,15
Температурный дрейф, %	±0,6 (-25°C...85°C) ±0,8 (-40°C...-25°C)
Время задержки при 90% от макс. напряжения, мкс	40
Рабочая температура, °С	-40...+85
Вес, г	22

2.1.8. Система сбора данных

Выходной величиной датчиков, пропорциональной измеряемой, является ток, поэтому выходы нагружены на переменный резистор, с которого снимается напряжение, более удобное для дальнейшей с ним работы. Для преобразования и записи эмпирической информации и управления с помощью персонального компьютера необходима система с аналогово-цифровым преобразователем и интерфейсом передачи информации. Поэтому из представленных на рынке образцов и ряда требований к ним, предъявляемым нами, в частности – мобильность, низкая стоимость, используется система сбора данных фирмы Lcard – E154 [13]. Ниже приведены внешний вид и функциональная схема устройства. В таблице 2.4 приведены рабочие характеристики E154.



Рис. 2.10. Внешний вид системы сбора данных

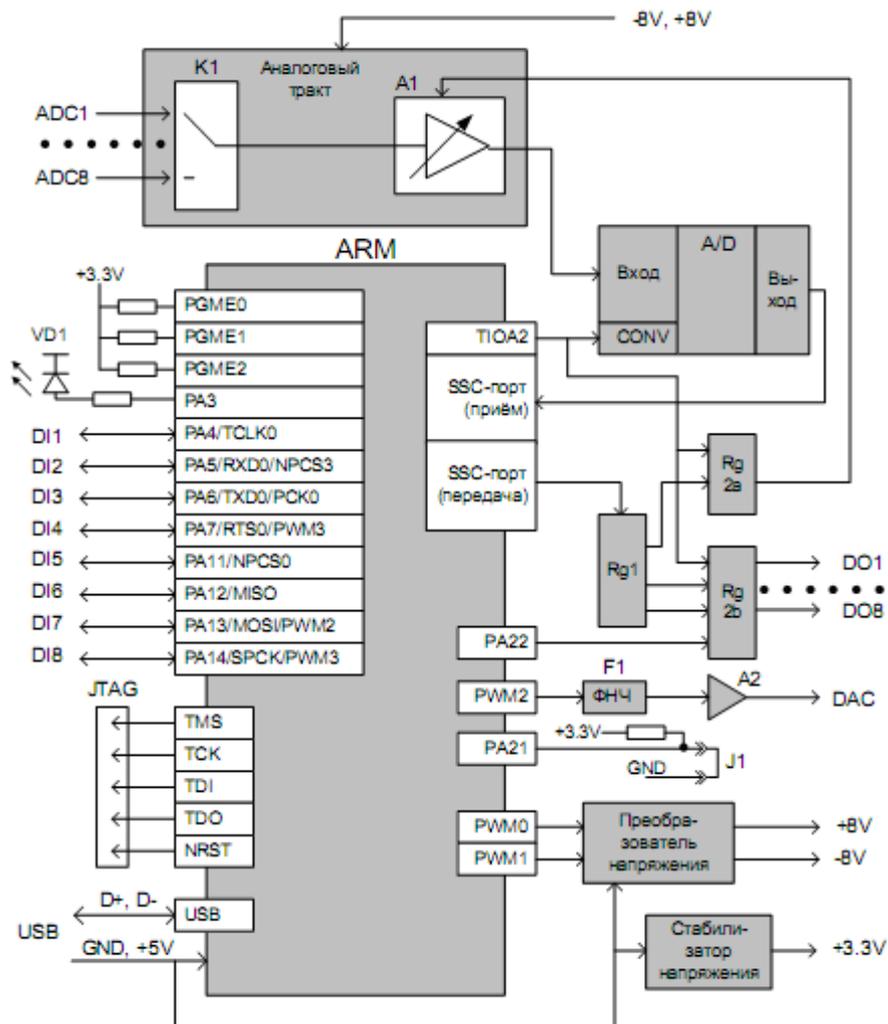


Рис. 2.11. Функциональная схема устройства

E154 – это USB-устройство на основе 32-битного ARM-микроконтроллера AT90SAM7S64 корпорации Atmel. Состав оборудования:

- контроллер. Вся логика внутреннего управления заложена в программе ARM-контроллера типа AT91SAM7S64 (ARM);
- USB-интерфейс используется для взаимосвязи с компьютером, цепь питания +5V USB используется для питания E-154;
- JTAG-интерфейс может быть задействован для учебно-отладочных задач;
- АЦП (A/D) представляет собой 12-битный аналого-цифровой преобразователь последовательного приближения типа AD7895AR;
- аналоговый тракт состоит из 8 (восьми) входов АЦП (ADC1, .. ADC8), электронного коммутатора К1, усилителя с управляемым коэффициентом передачи А1 (рис. 2.11) ;
- ЦАП устроен по принципу усреднения широтно-импульсного модулированного сигнала, снимаемого с линии PWM2 ARM. Канал ЦАП состоит из ФНЧ- F1, усилителя А2 и выхода DAC;
- цифровые входы DI1...DI8 с альтернативными функциями ввода-вывода. Переключки J1 резервного режима загрузки E-154;
- индикатор VD1 представляет собой светодиод красного цвета, зажигающийся от выходной логической единицы порта PA3 ARM контроллера;
- для записи информации с аналоговых входов и управления цифровыми входами/выходами Lcard распространяет бесплатные драйверы и программное обеспечение, так например программный продукт Lgraph2 (рис. 2.12). Так же, следует отметить, что для данного типа платы производитель бесплатно распространяет библиотеки для Borland C++ 5.02, Borland C++ Builder 5.0, Borland Delphi 6.0, Microsoft Visual C++ 6.0, LabView 7.1, LabWindows CVI 8.0.

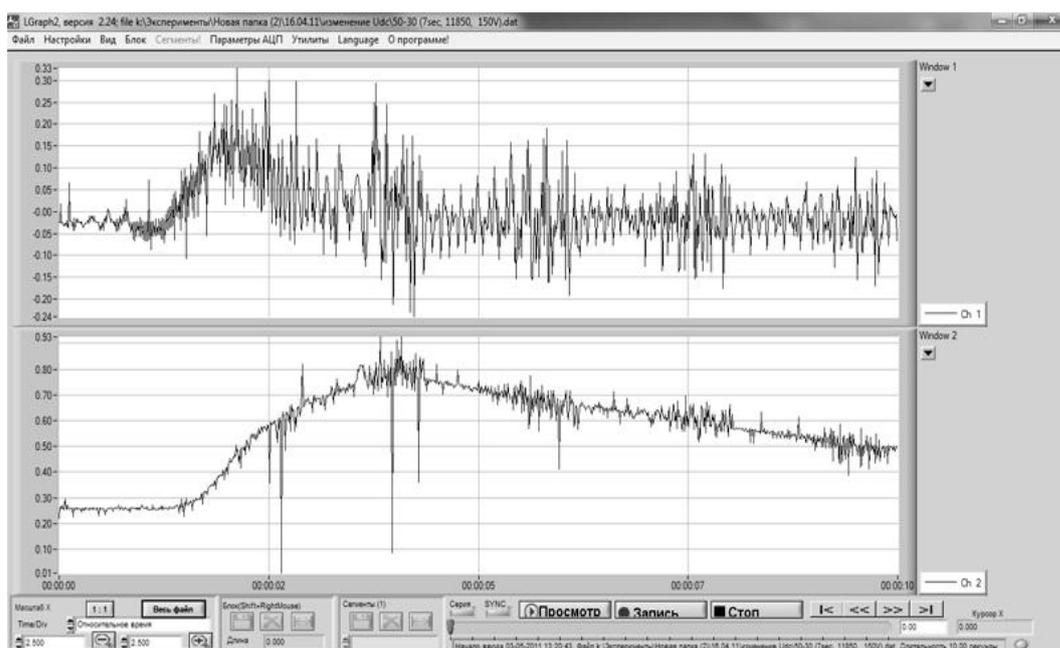


Рис. 2.12. Интерфейс Lgraph2

Рабочие характеристики АЦП системы E154

Параметр, характеристика	Значение, описание
Разрядность АЦП	12 бит
Максимальная частота преобразования	120 кГц
Количество входов АЦП	8 коммутируемых входов
Тип входа АЦП	Однофазный (с общей землей) вход напряжения
Диапазон входного сигнала	$\pm 5\text{В}$
Поддиапазоны входного сигнала	$\pm 5\text{В}$, $\pm 1.6\text{В}$, $\pm 0.5\text{В}$, $\pm 0.16\text{В}$
Типичное соотношение сигнал-шум	70 дБ($\pm 5\text{В}$), 70 дБ($\pm 1.6\text{В}$), 69 дБ($\pm 0.5\text{В}$), 68 дБ(± 0.16)
Основная приведенная погрешность измерения напряжения постоянного тока в поддиапазоне	$\pm 0.1\%$ ($\pm 5\text{В}$), $\pm 0.2\%$ ($\pm 1.6\text{В}$), $\pm 0.2\%$ ($\pm 0.5\text{В}$), $\pm 0.5\%$ (± 0.16)
Основная приведенная погрешность измерения напряжения переменного тока в диапазоне частот входных сигналов	$\pm 1\%$ (вх. Сигнал от 0,02 до 9 кГц, при частоте преобр. 20 кГц) $\pm 2\%$ (вх. Сигнал от 0,02 до 59 кГц, при частоте преобр. 120 кГц)
Входное сопротивление в одноканальном режиме	более 20 Мом
Собственный входной ток в одноканальном режиме	30 пА
Защита входов	$\pm 10\text{В}$

Метрологические характеристики комплекса

Оценка погрешности каждого блока системы измерения [12]. Относительная погрешность находится по формуле:

$$\delta = \sum_{i=0}^N \delta_i. \quad (2.1)$$

Тогда относительная погрешность канала измерения тока:

$$\delta = \pm 0,45\% \pm 0,15\% \pm 0,25\% \pm 1\% = \pm 1,85\% \quad (2.2)$$

Относительная погрешность канала измерения напряжения:

$$\delta = \pm 0,8\% \pm 0,2\% \pm 0,6\% \pm 1\% = \pm 2,6\% \quad (2.3)$$

Исходя из полученных результатов, относительная погрешность системы сбора данных составляет не более $\pm 2,6\%$. Наименьшей точностью обладают измерения, производимые по каналу напряжения.

2.2. ИЗМЕРЕНИЕ НЕЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

2.2.1. Измерение скорости вращения

При снятии рабочих характеристик электрических машин, работающих в двигательном режиме работы, скорость вала у синхронных двигателей не изменяется, у асинхронных двигателей изменяется в пределах нескольких процентов, у двигателей постоянного тока диапазон изменения шире, чем у асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором.

Соответственно стандарты, в частности 7217- 87, рекомендуют для различных двигателей разные способы измерения скорости вращения (скольжения).

Ниже описаны некоторые из рекомендованных способов.

2.2.1.1. Стробоскопический способ измерения скольжения

Принцип измерения скорости на стробоскопическом эффекте основан на том, что человеческий глаз имеет свойство сохранять некоторое время видимое изображение, т. е. если убрать источник света, то человек продолжает видеть изображение $1/15$ — $1/20$ с. Если перед глазом наблюдателя с большой скоростью проходят одни и те же изображения с разным положением (малые перемещения) отдельных деталей, то он увидит непрерывное движение этих деталей. Указанный эффект достигается при условии, что смена изображений происходит при отсутствии освещенности или ее значительном снижении.

Строботахометр состоит из осветителя и устройства, с помощью которого можно изменять частоту импульсов света. При освещении вращающейся детали, частоту вращения которой измеряют источником прерывистого света, получают такую картину: если частота импульсов света совпадает с частотой вращения детали, то она кажется неподвижной. Так как частоту импульсов света задают специальным генератором, то, плавно изменяя ее, можно добиться совпадения частоты импульсов света с частотой вращения объекта. Измеряемую частоту можно отсчитать по шкале генератора импульсов. Если частота импульсов отличается от частоты вращения, то изображение начинает вращаться. При этом, если частота импульсов меньше частоты вращения детали, изображение вращается в направлении действительного вращения объекта, а если частота импульсов превышает частоту вращения, изображение вращается в сторону, противоположную действительному направлению вращения объекта.

Необходимо помнить, что существуют и кратные стробоскопические картины, дающие ошибочную информацию о скорости вращения вала испытуемой машины.

2.2.1.2. Способ амперметра постоянного тока

Способ состоит в том, что в цепь одной из фазных обмоток ротора непосредственно или с помощью шунта вводится амперметр магнитоэлектрического типа. Амперметр должен быть выбран соответственно ожидаемой амплитуде тока в обмотке ротора. Желательно, чтобы амперметр имел нуль в середине шкалы.

Так как в пределах нагрузки до номинальной частота тока в роторе невелика, то стрелка амперметра может следить за изменениями тока, совершая колебания с той же частотой. При известных частотах тока статора и тока ротора появляется возможность вычисления скольжения, а позже и скорости вращения ротора.

Такой способ возможен только в асинхронных двигателях с фазным ротором.

2.2.1.3. Способ измерения скорости вращения тахогенераторами

Тахогенератор, постоянного или переменного тока, представляющий собой малогабаритные генераторы с выходным напряжением, пропорциональным скорости вращения, механически соединяется с валом испытуемой машины и включается на вольтметр. Для каждого вида тахометрического генератора применяют соответствующий электроизмерительный прибор. Тахометры с электрическими генераторами дают возможность дистанционной передачи показаний, так как вторичный прибор может быть удален на значительное расстояние от места измерения. Шкала вольтметра градуируется в единицах скорости вращения.

Тахогенератор ЭТ-7 представляет собой четырехполюсную машину постоянного тока с возбуждением от постоянных магнитов.

Номинальные данные:

1. Активное сопротивление нагрузки – 500 Ом;
2. Крутизна выходного напряжения – 60 (+/-3) мВ/об/мин;
3. Частота вращения – 2000 об/мин;
4. Нелинейность выходного напряжения, не более – +/- 2,5 %;
5. Асимметрия выходного напряжения, не более – +/- 5 %;
6. Статический момент трения, не более – 9,8 Н·См;
7. Момент инерции якоря, не более – $0,49 \times 10^{-3}$ Кг·М²;
8. Температурная погрешность выходного напряжения на 1 °С, – +/- 0,04 %;
9. Сопротивление цепи ротора, между выводами – 46 +/- 5 Ом;
10. Сопротивление изоляции в холодном состоянии – 100 Мом;
11. Электрическая прочность изоляции – 700 В.

Основные технические характеристики:

1. Исполнение тахогенератора – закрытое;
2. Крепление – лапы;
3. Рабочее положение в пространстве – произвольное;
4. Направление вращения вала – любое;
5. Охлаждение – естественное;
6. Номинальный режим работ – продолжительный S1;
7. Класс точность тахогенератора в диапазоне частот вращения от 500 до 2000 об/мин – 2,5;
8. Тахогенератор сохраняет класс точности при изменении сопротивления нагрузки от 500 до 1000 Ом;
9. Допускается работа тахогенератора в диапазоне частот вращения ниже 500 об/мин и выше 2000 об/мин до 2500 об/мин, при этом класс точности 2,5 не гарантируется;
10. Тахогенератор допускает подстройку выходного напряжения (крутизны) с помощью встроенного магнитного шунта в пределах +/- 5 %;
11. Средний срок службы тахогенератора до капитального ремонта – 6 лет при техническом ресурсе 3000 ч.;
12. Климатическое исполнение – У, категория размещения 3;
13. Электрощетки М20 6,3х8х20;
14. Тахогенератор предназначен для эксплуатации в следующих условиях:
 - температура окружающей среды от + 40 °С до – 40 °С,
 - относительная влажность воздуха до 98% при 25 °С,
 - вибрация в диапазоне частот от 10 до 60 Гц с ускорением до 9,8 м/с².



Рис. 2.13. Внешний вид тахогенератора ЭТ-7

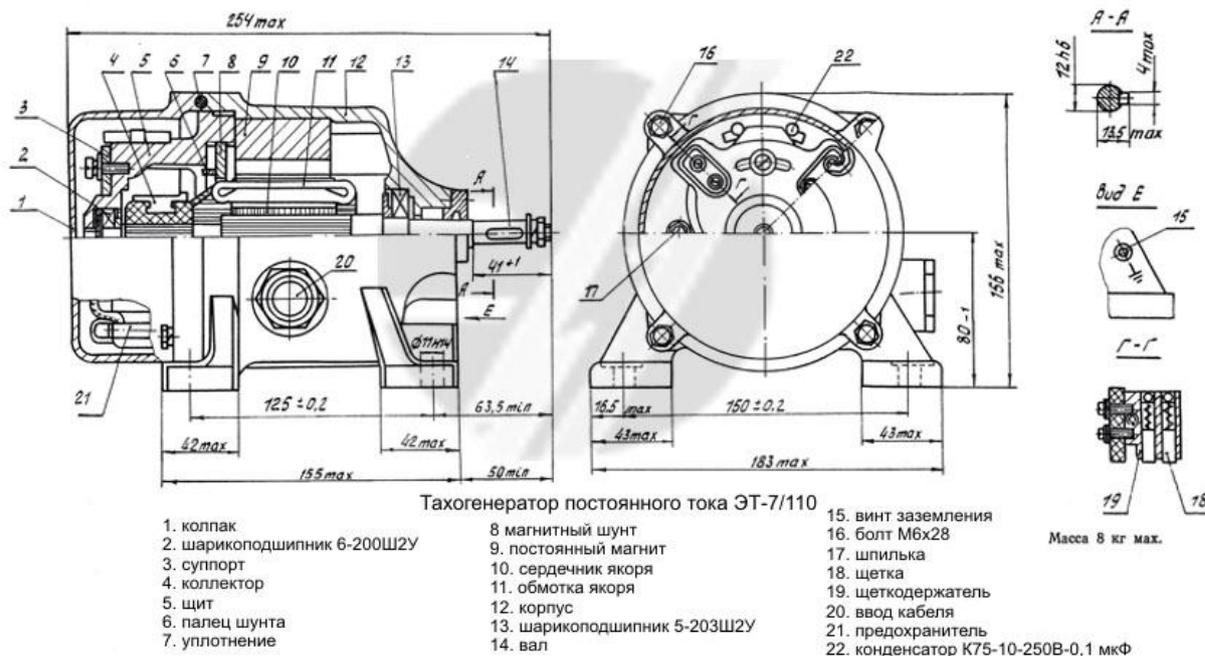


Рис. 2.14. Чертеж тахогенератора ЭТ-7

2.2.1.4. Измерение скорости вращения инкрементальными энкодерами

Для измерения частоты вращения могут быть использованы фотодатчики. Они состоят из осветителя, фотоприемника и диска с прорезями. Диск устанавливается на вращающемся объекте; на фотоприемник от осветителя поступают импульсы света, частота которых зависит от частоты вращения объекта, фотоприемник включается в схему электронного частотомера, по которому отсчитывается частота вращения. Иногда диск заменяют зеркальной меткой на объекте. Метка имеет большой коэффициент отражения. При определенных положениях объекта луч света отражается от зеркальной метки и попадает на фотоприемник, вызывая импульс фототока.

В качестве датчика скорости применен инкрементальный энкодер E40S8-60-3-T-24 фирмы Autonics. Технические особенности и характеристики этого датчика приведены ниже.

Таблица 2.5

Расшифровка маркировки датчика

E40S	8-	60-	3-	T-	24
E40-серия S-осевой тип	∅ 8мм	Им- пульс/1 оборот	Выход: А, В, Z	Комплементарный выход	Напряжение питания в В

Характеристики датчика

Тип	Энкодеры серии E40
Разрешение	60 имп./оборот.
Фазовая разность выходов	Выход между фазами А и В: $(T/4 \pm T/8)$ ($T=1$ цикл фазы)
Комплементарный выход	-низкий уровень : Токовая нагрузка max. 30мА., остаточное напряжение max. 0.4В. -высокий уровень : Токовая нагрузка max. 10мА., выходное напряжение min. (Напряжение питания – 1.5В.)
Время отклика	max. 1мксек.
Max. частота отклика	180 кГц.
Ток потребления	Max. 60 мА.(без нагрузки)
Изоляционное сопротивление	Min. 100 МОм (500 В.)
Диэлектрическая проницаемость	750 В. АС 50/60 за 1 минуту (для всех клемм и случаев)
Начальный момент	Max. 0.004 Н·м
Момент инерции	40 г·см ²
Максимальное количество оборотов	5000 об./мин.
Температура окружающей среды	-10 – 70°С (без замораживания)
Влажность	35-85%
Защита	IP50
Вес	120 г.



Рис. 2.15. Внешний вид инкрементального энкодера серии E40

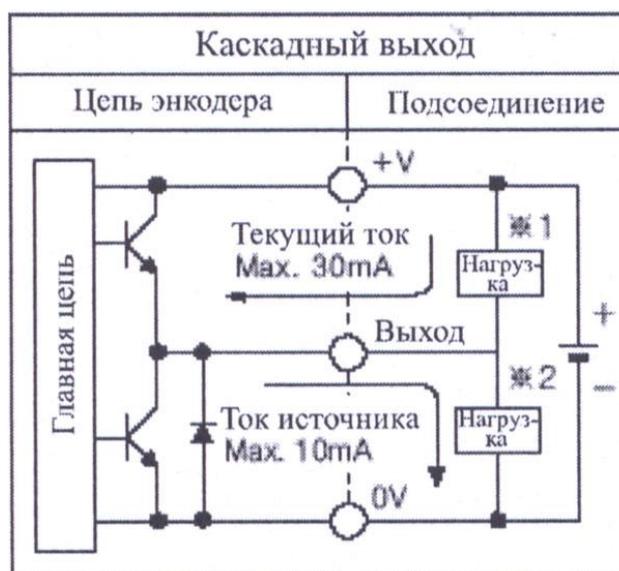


Рис. 2.16. Выходной каскад инкрементального энкодера серии E40

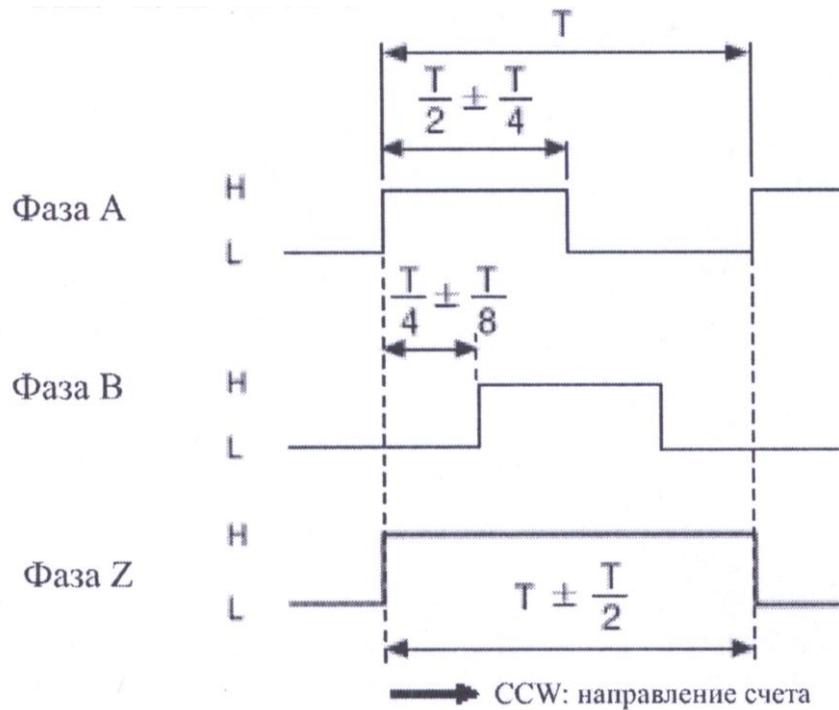


Рис. 2.17. Форма выходных сигналов для комплементарного выхода

2.2.2. Приспособления для нагрузки электродвигателей и способы ее измерения

На рисунке 2.18 показан «электромагнитный тормоз» системы М. А. Панасенкова. Четырехполюсный электромагнит 1, обмотки которого показаны в разрезе, укреплен на оси, установленной в шариковых подшипниках 3 стойки 4. На той же оси укреплен груз 5, поворачивающийся вместе с магнитами. На рис. 2.18 справа груз показан отведенным от вертикальной оси, по которой он располагается под действием силы тяжести. Полюсные наконечники 6 магнитов выполнены так, что между ними свободно вращается диск 7, закрепленный на валу 8 нагружаемого двигателя.

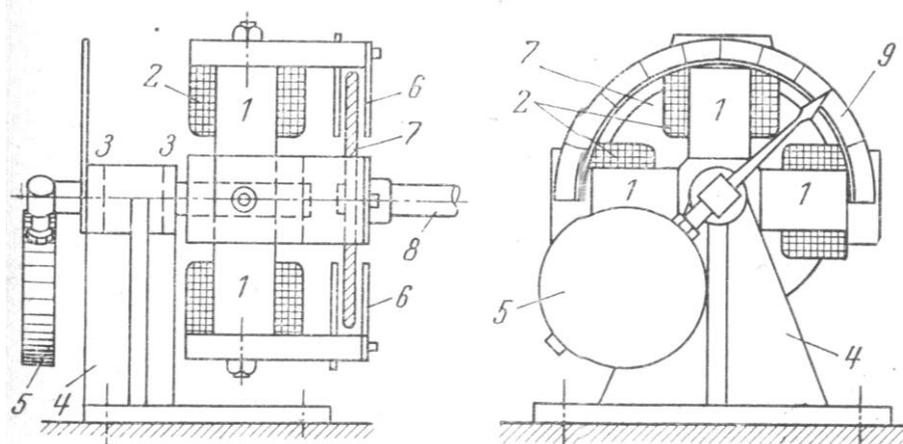


Рис. 2.18. Электромагнитный тормоз «Панасенкова»

Когда двигатель работает, а в обмотку электромагнитов включен постоянный ток, во вращающемся диске возникают вихревые токи. Между вращающимся диском 7 и полюсными наконечниками 6 возникает усилие, стремящееся увлечь подвижную систему магнитов в сторону вращения двигателя. Груз 5 противодействует поворачиванию электромагнитов. Регулируя ток в обмотке возбуждения и изменяя тем самым тормозной момент, можно получить различные углы поворота системы. Стрелка, поворачивающаяся вместе с грузом и магнитами, указывает на шкале 9 значение момента.

Как показала практика, такой «тормоз-моментомер» является наиболее простым и дешевым в изготовлении и различные варианты его получили большое распространение. В лаборатории электрических машин «тормоз-моментомер» имеет большее количество полюсов.

Общий недостаток этих моментомеров в том, что они имеют низкий класс точности и позволяют определить P_2 и к. п. д. с недостаточной для ряда случаев точностью.

Разновидностью способов нагрузки двигателя является способ тарированного генератора. Испытуемый двигатель соединяется при помощи муфты с генератором, который нагружают на реостат. Всякие промежуточные передачи (ременная и др.) для соединения с генератором следует признать нежелательными, так как потери в них трудно поддаются учету и будут вносить ошибки в измерения. Наиболее удобным следует признать генератор постоянного тока независимого возбуждения. При опыте измеряется мощность на входе двигателя (первичная): $P_d = U_d \cdot I_d$ и полезная мощность генератора (на выходе): $P_r = U_r \cdot I_r$. Тогда мощность на валу двигателя $P_2 = P_r / \eta_r$, где η_r — к. п. д. генератора, который определяют предварительно с возможной точностью для всего диапазона нагрузки генератора.

3. ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

При практическом использовании измерительной аппаратуры приходится сталкиваться с тем, что приборы имеют различные классы точности, следовательно, измеренные величины отличаются от действительных, погрешности измерений разнятся. Основная погрешность приборов обусловлена их недостатками. Класс точности прибора, указанный на шкале, определяется основной погрешностью.

Отклонение внешних условий от нормальных вызывает дополнительные погрешности. Точность измерений обычно повышают либо за счет увеличения числа измерений, либо за счет выбора более точных методов измерения и приборов, приблизив условия измерения к действительным. При выборе предела измерения необходимо, чтобы измеряемая величина приходилась на последнюю треть шкалы.

4. СИСТЕМА ОТНОСИТЕЛЬНЫХ ЕДИНИЦ

Система относительных единиц представляет собой набор безразмерных параметров или групп параметров, входящих в систему полностью или частично безразмерных уравнений. Относительные единицы широко используются для упрощения описания физических явлений.

- Использование относительных единиц при физическом или математическом моделировании электромеханических и электромагнитных преобразователей характеризуется рядом положительных моментов.
- Все переменные и параметры модели выражаются в долях от соответствующих базисных величин. При этом все величины, измеренные в относительных единицах, обычно не превышают единицы. Чаще всего в качестве базисных значений принимаются такие, которые характеризуют номинальный режим моделируемого объекта. Однако в ряде случаев возможно применение других базисных значений, если это приводит к большему упрощению.
- Безразмерные параметры помогают избежать ошибок при пересчете рабочих характеристик из одной системы единиц в другую.
- Относительные единицы позволяют упростить анализ многофазных цепей в симметричных режимах.

5. ИСПЫТАНИЕ ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА

РАБОТА № 1

5.1. РАБОЧИЕ И МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВИГАТЕЛЯ С НЕЗАВИСИМЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ

5.1.1. Рабочие характеристики двигателя с независимым возбуждением

$$P_1; \eta; \omega; I = f(P_2)$$

Поддерживать постоянными:

напряжение на зажимах двигателя $U=U_n$;

ток возбуждения $i_b = i_{b.n}$ соответственно номинальному режиму работы двигателя, т.е. нагрузив двигатель так, чтобы $n = n_n$; при $U=U_n$ и $I=I_n$;

Изменять полезный момент M_2 от $M_2 = 1,2 M_n$ до $M_2 = 0$.

Измерять: напряжение на зажимах двигателя U ; ток в якоре I_a ; ток возбуждения i_b ; момент M_2 ; скорость вращения n .

Вычислить: отдаваемую двигателем и подводимую к нему мощности P_2 и P_1 ; коэффициент полезного действия двигателя η ; относительное изменение скорости вращения Δn при изменении нагрузки от номинальной до холостого хода.

Построить: на графике №1 характеристики: n , I , M_2 и η в зависимости от мощности P_2 , отметив на нем значения M_n , P_{2n} ; η_n , соответствующие номинальному току I_n , и наибольшее значение к. п. д. двигателя $\eta_{нб}$.

5.1.2. Механические характеристики

Испытание проводится согласно п.5.1.1 при двух различных добавочных сопротивлениях $R_{дб}$, введенных последовательно в цепь якоря двигателя:

- При $R_{дб} = R_{дб1} \neq 0$;
- При $R_{дб} = R_{дб2} \neq R_{дб1}$.

Примечание: сопротивления $R_{дб1}$ и $R_{дб2}$ должны быть подобраны так, чтобы обеспечить скорость вращения $n = 0.5 n_n$ при $M=M_n$ (при $R_{дб1}$) и $n = 0.25 n_n$ при $M=M_n$ (при $R_{дб2}$).

Вычислить: отдаваемую двигателем и подводимую к нему мощности P_2 и P_1 ; коэффициент полезного действия двигателя η с учетом потерь в регуляторном реостате.

Построить: на графике №2 в зависимости от M_2 , естественную механическую характеристику и механические характеристики при двух указанных выше добавочных сопротивлениях в цепи якоря $R_{дб1}$ и $R_{дб2}$, характеристики

коэффициентов полезного действия η , отметив на нем наибольшее значение к.п.д. двигателя $\eta_{нб}$ на всех трех механических характеристиках.

5.1.3. Регулировочные характеристики при изменении тока возбуждения

Поддерживать постоянным напряжение на зажимах двигателя $U=U_H$;

Изменять ток возбуждения так, чтобы скорость вращения изменялась от наименьшего значения при $i_B = i_{B.нб}$ до значения $n = 1.25n_H$.

Измерять: напряжение на зажимах двигателя U ; ток в якоре I_a ; ток возбуждения i_B , скорость вращения n .

- При $M = 0,5M_H = \text{const}$;
- При $M = 0 = \text{const}$.

Вычислить: отдаваемую двигателем и подводимую к нему мощности P_2 и P_1 ; коэффициент полезного действия двигателя η .

Построить: на графике №3 зависимости n ; I_a ; $\eta = f(i_B)$ при $M=0,5M_H$, а на графике №4 зависимости n ; I_a ; $\eta = f(i_B)$ при $M=0$.

5.1.4. Регулировочные характеристики при изменении подводимого напряжения

Поддерживать постоянным ток возбуждения двигателя $U=U_H$;

Изменять напряжение, прикладываемое к якору так, чтобы скорость вращения изменялась от наименьшего значения при $i_B = i_{B.н}$ до значения $n = 1.25n_H$.

Измерять: напряжение на зажимах двигателя U ; ток в якоре I_a ; ток возбуждения i_B , скорость вращения n .

- При $M = 0,5M_H = \text{const}$;
- При $M = 0 = \text{const}$.

Вычислить: отдаваемую двигателем и подводимую к нему мощности P_2 и P_1 ; коэффициент полезного действия двигателя η .

Построить: на графике №5 зависимость $n = f(U)$ при $M=0,5M_H$, а также зависимость $n = f(U)$ при $M=0$.

5.2. ПОСТРОЕНИЯ

- На графике № 5 построить кривую намагничивания $E/n = f(i_B)$ по характеристике $n = f(i_B)$ при $M_2=0$.
- На графике № 6 по данным пп. 5.1.4 построить дополнительные механические характеристики $n = f(M_2)$ при пониженных напряжениях $U = 0.75U_H$, и $U = 0.5U_H$ и при пониженных токах возбуждения $i_B = 0.8 i_{BH}$ и $i_B = 0.6 i_{BH}$.

5.3. РАБОЧИЕ И МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВИГАТЕЛЯ СО СМЕШАННЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ

5.3.1. Рабочие характеристики двигателя со смешанным возбуждением при согласном включении последовательной и параллельной обмоток возбуждения

$$P_1; \eta; \omega; I = f(P_2).$$

Поддерживать постоянными: напряжение на зажимах двигателя $U=U_H$; ток возбуждения $i_B = i_{B,H}$ соответственно номинальному режиму работы двигателя, т.е. нагрузив двигатель так, чтобы при $U=U_H$ ток был равен номинальному значению ($I=I_H$);

Изменять полезный момент M_2 от $M_2 = 1,2 M_H$ до $M_2 = 0$.

Измерять: напряжение на зажимах двигателя U ; ток в якоре I_a ; ток возбуждения i_B ; момент M_2 ; скорость вращения n .

Вычислить: отдаваемую двигателем и подводимую к нему мощности P_2 и P_1 ; коэффициент полезного действия двигателя η ; относительное изменение скорости вращения Δn при изменении нагрузки от номинальной до холостого хода.

Построить: на графике №7 характеристики: n , I , M_2 и η в зависимости от мощности P_2 , отметив на нем значения M_H , P_{2H} ; η_H , соответствующие номинальному току I_H и наибольшее значение к. п. д. двигателя η_{H6} .

5.3.2. Механические характеристики двигателя со смешанным возбуждением

Построить: на графике №1 характеристики: n , I , в зависимости от момента M_2 . На тот же график перенести соответствующие зависимости $n = f(M_2)$, $I = f(M_2)$ из п.2.1.1.

5.4. ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ

- По рабочим характеристикам определить номинальные значения: мощностей $P_{1н}$ и $P_{2н}$, $M_{2н}$, к. п. д. $\eta_{н}$, тока возбуждения $i_{вн}$ и скорости вращения $n_{н}$, полученные из опыта при $I_a = I_{ан}$, и сопоставить их с паспортными данными машины.
- По механическим характеристикам определить изменения скорости вращения Δn при изменении момента M_2 от 0 до $M_{2н}$, величины к.п.д. η при $M_{2н}$, наибольшие значения к.п.д. $\eta_{нб}$ и соответствующие им значения M_2 для различных $R_{дб}$.
- По регулировочным характеристикам определить пределы изменения скорости вращения n и к. п. д. η соответственно при изменении напряжения на якоре U_a и тока возбуждения $i_{в}$, в пределах, принятых в опытах.
- Оценить достоверность полученной информации.

6. ТРЕХФАЗНЫЙ ДВУХОБМОТОЧНЫЙ ТРАНСФОРМАТОР

РАБОТА № 2

6.1. ИСПЫТАНИЕ ТРАНСФОРМАТОРА ПО СПОСОБУ ХОЛОСТОГО ХОДА И КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

6.1.1. Опыт холостого хода трансформатора

Изменять подводимое линейное напряжение U_1 от $U_1 = 1,1U_{н}$ до возможного минимума.

Измерять: первичное и вторичное линейные напряжения U_1 , U_2 , ток холостого хода I_0 во всех трех фазах, подводимую мощность P_0 .

Вычислить: среднее арифметическое значение тока холостого хода, коэффициент трансформации k , коэффициент мощности $\cos \varphi_0$.

Построить: на графике №1 кривые I_0 , P_0 , $\cos \varphi_0 = f(U_1)$; По данным графика определить значения $I_{0н}$, $P_{0н}$, соответствующие номинальному первичному напряжению.

6.1.2. Опыт короткого замыкания

Изменять подводимое напряжение так, чтобы ток короткого замыкания I_k изменялся в пределах от $I_k = 0,5 I_n$ до $I_k = 1,1 I_n$. Опыт нужно вести с возможной быстротой, ограничившись 3 – 4 отсчетами.

Измерять: подводенное напряжение U_k , первичный ток I_k , подводимую мощность P_k .

Вычислить: коэффициент мощности $\cos\varphi_k$; параметры трансформатора Z_k, r_k, x_k , напряжение короткого замыкания и его активную и индуктивную составляющие $u_k, u_{k.a}, u_{k.x}$ (в процентах).

Построить: на графике №2 кривые $I_k, P_k, \cos\varphi_k = f(U_k)$; По данным графика определить значения U_{kn}, P_{kn} , соответствующие номинальному первичному току ($I_k = I_n$).

6.2. ИСПЫТАНИЕ ТРАНСФОРМАТОРА МЕТОДОМ НЕПОСРЕДСТВЕННОЙ НАГРУЗКИ

Поддерживать постоянными напряжение на зажимах трансформатора $U_1=U_{1n}$, коэффициент мощности нагрузки $\cos\varphi_2$.

Изменять нагрузку так, чтобы ток нагрузки I_2 изменялся в пределах от $I_2 = 0$ до $I_2 = I_n$.

Измерять: подводенное U_1 и вторичное U_2 напряжения, первичный I_1 и вторичный I_2 токи, подводимую P_1 и отдаваемую P_2 мощности, коэффициент мощности нагрузки $\cos\varphi_2$.

Вычислить: коэффициент мощности $\cos\varphi_1$; коэффициент полезного действия η .

Построить: на графике №3 кривые $I_1, P_1, \cos\varphi_1, \eta = f(P_2)$. По данным графика определить значения U_{2n}, P_{1n}, η_n , соответствующие номинальной мощности трансформатора ($P_2 = P_{2n}$).

6.3. ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ

- Определить и сопоставить с данными стандарта относительные величины тока холостого хода, потерь холостого хода, напряжения короткого замыкания, потерь короткого замыкания, изменения напряжения при нагрузке, к.п.д. η_n .
- Оценить достоверность полученной информации.

7. ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ РАБОТА ТРЕХФАЗНЫХ ДВУХОБМОТОЧНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

РАБОТА № 3

7.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРУППЫ СОЕДИНЕНИЙ ТРАНСФОРМАТОРА

- Определение маркировки выводов трансформатора.
- Сборка заданной преподавателем группы соединений.

Построить на графике № 1 векторные диаграммы первичных и вторичных напряжений трансформаторов, соответствующих заданной группе соединений. На этом же графике привести схему соединений обмоток.

7.2. ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ РАБОТА ДВУХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Поддерживать постоянными: напряжение на зажимах трансформатора $U_1=U_{1н}$, симметрию токов нагрузки, коэффициент мощности нагрузки $\cos\varphi_2 \approx 1$;

Изменять нагрузку так, чтобы ток нагрузки $I_{нг}$ изменялся в пределах от $I_{нг} = 0$ до тех пор, пока ток в одном из трансформаторов не достигнет номинального значения.

Измерять: подведенное U_1 и вторичное U_2 напряжения, ток нагрузки $I_{нг}$, первичный I_1 и вторичный I_2 токи каждого из трансформаторов.

Построить: на графике №2 зависимость вторичных токов I_{21} и I_{22} от тока нагрузки $I_{нг}$. По данным графика определить одинаковы или нет коэффициенты трансформации, а также одинаковы или нет значения напряжений короткого замыкания обоих трансформаторов.

7.3. ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ

- Сделать вывод о количественной разнице в величинах коэффициентов трансформации, а также напряжений короткого замыкания обоих трансформаторов.
- Оценить достоверность полученной информации.

8. ТРЕХФАЗНЫЙ ДВУХОБМОТОЧНЫЙ ТРАНСФОРМАТОР В НЕСИММЕТРИЧНЫХ РЕЖИМАХ РАБОТЫ

РАБОТА № 4

8.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ НУЛЕВОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ СТЕРЖНЕВОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Определить значения сопротивлений нулевой последовательности, соответствующих схемам соединения трансформатора Y/Y_0 , и Δ/Y_0 . Вторичная обмотка трансформатора в первом случае должна быть разомкнута, а во втором – замкнута в треугольник.

Поддерживать постоянной частоту питающего тока $f_1=f_{1н}$.

Изменять подводимое напряжение так, чтобы ток изменялся в пределах от $I=0,5 I_n$ до $I_k = I_n$.

Измерять: подведенное напряжение U_1 , первичный ток I_1 , подводимую мощность P_1 .

Вычислить: полное, активное и индуктивное сопротивления нулевой последовательности Z_{00} , G_{00} , X_{00} .

8.2. ОПЫТ ОДНОФАЗНОГО КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

Опыт произвести:

- На стержневом трансформаторе при соединении обмоток по схеме Y/Y_0 .
- На стержневом трансформаторе при соединении обмоток по схеме Δ/Y_0 .

Изменять подводимое напряжение так, чтобы ток однофазного короткого замыкания $I_{к1}$ изменялся в пределах от $I_{к1}=0,5 I_n$ до $I_k=1,1 I_n$.

Измерять все первичные линейные и фазные напряжения; токи в трех фазах первичной обмотки трансформатора; ток короткого замыкания $I_{к1}$.

Вычислить фазное напряжение на первичной обмотке трансформатора, находящейся на одном стержне с короткозамкнутой вторичной обмоткой при отсутствии потоков нулевой последовательности U_1^* , относительные значения этого напряжения U_1^* и тока короткого замыкания I_1^* , электродвижущую силу нулевой последовательности E_{00} для тока однофазного короткого замыкания, равного номинальному $I_{к1} = I_n$.

Построить: на графике №1 зависимость $I_{к1} = f(U_1^*)$. По данным опыта построить векторные диаграммы первичных линейных и фазных напряжений для $I_{к1} = I_n$ и определить смещение нейтрали трансформатора.

8.3. ОПЫТ ДВУХФАЗНОГО КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

Изменять подводимое напряжение так, чтобы ток двухфазного короткого замыкания $I_{к2}$ изменялся в пределах от $I_{к2} = 0,5 I_n$ до $I_k = I_n$.

Измерять: все первичные линейные и фазные напряжения; токи в трех фазах первичной обмотки трансформатора; ток короткого замыкания $I_{к2}$.

Вычислить: относительные значения тока короткого замыкания $I_{к2}$ и первичного линейного напряжения между обмотками, находящимися на одних стержнях с короткозамкнутыми обмотками U_1 .

Построить на графике № 2 зависимость $I_{к2} = f(U_1^*)$. На этом же графике нанести зависимость тока трехфазного короткого замыкания $I_{к3} = f(U_1^*)$. (Работа №2).

8.4. ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ

- Сделать вывод о влиянии способа соединений обмоток трансформатора на величину электродвижущей силы нулевой последовательности E_{00} , при несимметричной нагрузке при соединении обмоток по схеме Y/Y_0 , а также при соединении обмоток по схеме Δ/Y_0 .
- Сравнить по величине одно-, двух- и трехфазные токи короткого замыкания.
- Оценить достоверность полученной информации.

9. ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ПОДКЛЮЧЕНИИ ТРАНСФОРМАТОРА К СЕТИ И ПРИ НЕСИММЕТРИЧНОЙ РАБОТЕ ТРЕХФАЗНОГО ДВУХОБМОТОЧНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

РАБОТА № 5

9.1. ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ПОДКЛЮЧЕНИИ ТРАНСФОРМАТОРА К СЕТИ

Произвести подключение трансформатора к сети.

Датчики тока и напряжения следует расположить так, как указано на рисунке 12.1.

9.2. ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ НЕСИММЕТРИЧНОМ РЕЖИМЕ РАБОТЫ ТРАНСФОРМАТОРА

Произвести внезапное трехфазное, двухфазное и однофазное короткое замыкание трансформатора при холостом ходе для значений входного напряжения $U_0 = (0,9 - 0,1) \cdot U_H$, при $f = 50$ Гц.

Датчики тока и напряжения следует расположить так, как указано на рисунке 17.1.

В соответствующих случаях записать напряжения на свободных фазах.

Оценить:

- сопоставить значения токов коротких замыканий, найденных из опытов внезапных коротких замыканий и путем расчета по параметрам, найденным их опытов холостого хода и трехфазного короткого замыкания.
- соответствие соотношений между постоянными времени и индуктивными сопротивлениями для различных видов коротких замыканий.

10. АСИНХРОННАЯ МАШИНА С ФАЗНЫМ РОТОРОМ

РАБОТА № 6

10.1. ИСПЫТАНИЕ МАШИНЫ ПО СПОСОБУ ХОЛОСТОГО ХОДА И КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

10.1.1. Определение коэффициента трансформации напряжений

Изменять: напряжение на зажимах обмотки статора U_1 в пределах $U_1 = (0,5 - 0,8) U_H$

Измерять напряжение на зажимах разомкнутой обмотки ротора U_2 во всех трех фазах;

Вычислить коэффициент трансформации напряжений и его среднее значение.

Примечание. Если первичное и вторичное напряжения симметричны, то можно ограничиться измерением напряжений только между двумя какими-либо зажимами обмоток статора и ротора.

10.1.2. Характеристика холостого хода

Изменять напряжение на зажимах обмотки статора U_1 от $U_1 = (1,2 - 1,3) U_H$ до $U_1 = (0,4 - 0,5) U_H$.

Измерять напряжение U_1 ; ток I_0 ; мощность холостого хода P_0 .

Вычислить сумму потерь в стали и механических $P_{0.} = P_{0.} - 3_0 \phi r_1$, коэффициент мощности $\cos \varphi_0$ соответственно мощности P_0 .

Построить: на графике №1 кривые $I_0, P_0, \cos \varphi_0 = f(U_1)$, зависимость $P_0 = f(U_1^2)$ для разделения потерь $p_{мх}$ и p_c .

Определить по характеристикам холостого хода номинальные значения тока, мощности, коэффициента мощности холостого хода, а также номинальные значения механических потерь и потерь в стали $I_{0н}, P_{0н}, \cos \varphi_{0н}, p_{мх}$ и p_c и поместить их на графике и в отчете. (Под номинальными значениями этих величин понимают их значения при $U_1 = U_H$, и $f_1 = f_{н.}$)

10.1.3. Характеристика короткого замыкания

Изменять подводимое напряжение так, чтобы получить 3–4 значения тока короткого замыкания I_K в пределах от $I_K = (1,2 - 1,3) I_H$.

Измерять: напряжение короткого замыкания $U_K = U_1$; ток $I_K = I_1$; мощность короткого замыкания P_K .

Вычислить: коэффициент мощности $\cos \varphi_K$; параметры короткого замыкания Z_K, r_K, X_K .

Построить на графике №2 кривые $U_K, P_K, \cos \varphi_K, r_K, X_K = f(I_K)$.

10.2. РАБОЧИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ В РЕЖИМЕ ДВИГАТЕЛЯ И ГЕНЕРАТОРА

- В двигательном режиме работы.
- В режиме работы электромагнитным тормозом.
- В генераторном режиме работы.

Поддерживать постоянным напряжение $U_1 = U_H$.

Изменять полезный момент M_2 от значения, соответствующего току $(1,1 - 1,3) I_H$, до нуля.

Измерять: напряжение U_1 ; ток I_1 ; потребляемую мощность P_1 , скорость вращения n , напряжение U_2 ; ток I_2 нагрузочного генератора.

Вычислить: коэффициент мощности $\cos\varphi$; полезную мощность P_2 ; скольжение s ; коэффициент полезного действия η .

Построить: на графике №3 зависимости $I_1, P_1, M_2 = f(P_2)$; на графике № 4 – $\cos\varphi, \eta, s = f(P_2)$ для двигательного режима работы; на графике № 5 зависимости $I_1, P_1, M_2 = f(P_2)$; на графике №6 – $\cos\varphi, \eta, s = f(P_2)$ для генераторного режима работы.

Примечание. В режиме работы электромагнитным тормозом напряжение - $U_1 \neq U_H$, его величина выбирается из условия ограничения тока I_2 в пределах $I_2 = (0,7 \div 0,8) I_{2H}$.

10.3. МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИ ВВЕДЕНИИ В ЦЕПЬ РОТОРА ДОБАВОЧНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ

$$M = f(\omega)$$

при

- $R_{дб1} \neq 0$;
- $R_{дб1} \neq R_{дб2} \neq 0$.

Поддерживать постоянным напряжение $U_1 = U_H$.

Изменять полезный момент M_2 от значения, соответствующего току $(1,1 - 1,3) I_H$, до нуля.

Измерять: напряжение U_1 ; ток I_1 ; потребляемую мощность P_1 , скорость вращения n , напряжение U_2 ; ток I_2 нагрузочного генератора.

Вычислить: коэффициент мощности $\cos\varphi$; полезную мощность P_2 ; скольжение s ; коэффициент полезного действия η , момент на валу M .

Построить на графике № 6 зависимости $n = f(M_2)$ для всех значений добавочного сопротивления.

10.4. ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ

- Оценить относительную величину тока холостого хода.
- Оценить кратность тока короткого замыкания, кратность пускового момента.
- Величину $\cos\varphi$ и η при номинальной нагрузке.
- Оценить перегрузочную способность двигателя.
- Отметить максимальное значение коэффициента полезного действия $\eta_{\text{нб}}$ и передаваемую мощность P_2 (в долях от номинальной), при которой он получается.
- Оценить достоверность полученной информации.

11. АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ

РАБОТА № 7

11.1. ИСПЫТАНИЕ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ В СИММЕТРИЧНОМ ТРЕХФАЗНОМ РЕЖИМЕ

11.1.1. Характеристика холостого хода

Изменять напряжение на зажимах обмотки статора U_1 от $U_1 = (1,2 - 1,3) U_{\text{н}}$ до $U_1 = (0,4 - 0,5) U_{\text{н}}$.

Измерять напряжение U_1 ; ток I_0 ; мощность холостого хода P_0 .

Вычислить: сумму потерь в стали и механических $P_0' = P_0 - 3 \cdot I_0^2 r_1$, коэффициент мощности $\cos\varphi_0$ соответственно мощности P_0 .

Построить: на графике №1 кривые I_0 , P_0 , $\cos\varphi_0 = f(U_1)$, зависимость $P_0 = f(U_1^2)$ для разделения потерь $p_{\text{мх}}$ и $p_{\text{с}}$.

Определить: по характеристикам холостого хода номинальные значения тока, мощности, коэффициента мощности холостого хода, а также номинальные значения механических потерь и потерь в стали $I_{0\text{н}}$, $P_{0\text{н}}$, $\cos\varphi_{0\text{н}}$, $p_{\text{мх}}$ и $p_{\text{с}}$ и поместить их на графике и в отчете. (Под номинальными значениями этих величин понимают их значения при $U_1 = U_{\text{н}}$, и $f_1 = f_{\text{н}}$.)

11.1.2. Характеристика короткого замыкания

Изменять подводимое напряжение так, чтобы получить 3–4 значения тока короткого замыкания I_K в пределах от $I_K = (1,2 - 1,3) I_H$.

Измерять: напряжение короткого замыкания $U_K = U_1$; ток $I_K = I_1$; мощность короткого замыкания P_K .

Вычислить: коэффициент мощности $\cos \varphi_K$; параметры короткого замыкания Z_K, r_K, X_K .

Построить на графике № 2 кривые $U_K, P_K, \cos \varphi_K, r_K, X_K = f(I_K)$.

Определить: по опытам холостого хода и короткого замыкания параметры схемы замещения асинхронной машины.

11.1.3. Рабочие характеристики двигателя

Поддерживать постоянным напряжение $U_1 = U_H$.

Изменять полезный момент M_2 от значения, соответствующего току $(1,1 - 1,3) I_H$, до нуля.

Измерять: напряжение U_1 ; ток I_1 ; потребляемую мощность P_1 , момент на валу M_2 ; скорость вращения n .

Вычислить: коэффициент мощности $\cos \varphi$; полезную мощность P_2 ; скольжение s ; коэффициент полезного действия η .

Построить: на графике № 3 зависимости $I_1, P_1, M_2 = f(P_2)$; на графике № 4 – $\cos \varphi, \eta, s = f(P_2)$.

11.2. ИСПЫТАНИЕ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ В НЕСИММЕТРИЧНЫХ РЕЖИМАХ

11.2.1. Рабочие характеристики двигателя в однофазном режиме

Пусть двигатель в ход при трехфазном питании, *отключить* одну фазу питающей линии, далее:

Поддерживать постоянным напряжение $U_1 = U_H$.

Изменять полезный момент M_2 от значения, соответствующего току $(1,1 - 1,2) I_H$, до нуля.

Измерять: напряжение U_1 ; ток I_1 ; потребляемую мощность P_1 , момент на валу M_2 ; скорость вращения n .

Вычислить: коэффициент мощности $\cos \varphi$; полезную мощность P_2 ; скольжение s ; коэффициент полезного действия η .

Построить: на графике № 5 зависимости $I_1, P_1 = f(P_2)$; на графике № 6 – $\cos \varphi, \eta, s = f(P_2)$.

11.2.2. Рабочие характеристики двигателя в конденсаторном режиме

Пуск двигателя в ход.

Подсчитать пусковую емкость

$$C_{\text{пуск}} = \frac{10^6}{2 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot (2 - 3) \cdot X_k}. \quad (11.1)$$

Произвести запуск двигателя при значениях пусковой емкости (по указанию преподавателя) $0,5C_{\text{пуск}}$, $C_{\text{пуск}}$, $(1,5 \div 2,0) \cdot C_{\text{пуск}}$, следя за изменением тока в фазах и длительностью пуска. По мере разгона пусковую емкость уменьшить до рабочей $C_{\text{раб}} \approx 0,3 \cdot C_{\text{пуск}}$ в момент достижения током в одной из фаз величины I_H .

Примечание. Для вычисления пусковой емкости используется значение индуктивного сопротивления короткого замыкания X_k , полученное из графика № 2 для номинального тока I_H .

Поддерживать постоянным напряжение $U_1 = U_H$.

Изменять полезный момент M_2 от значения, соответствующего току в одной из фаз $(1,1 - 1,2) I_H$, до нуля.

Измерять: напряжение U_1 ; ток I_1 ; потребляемую мощность P_1 , момент на валу M_2 ; скорость вращения n .

Вычислить: относительную несимметрию фазных токов

$$\Delta I = \frac{I_{\text{нб}} - I_{\text{нм}}}{I_{\text{ср}}}, \quad (11.2)$$

где $I_{\text{нб}}$ – наибольший из фазных токов; $I_{\text{нм}}$ – наименьший из фазных токов;

$$I_{\text{ср}} = \frac{I}{3} \cdot (I_u + I_v + I_w). \quad (11.3)$$

Построить: на графике № 7 зависимости $I_1, P_1, = f(P_2)$; на графике № 8 – $\eta, s = f(P_2)$.

11.3. ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ

Оценить:

- относительную величину тока холостого хода.
- кратность тока короткого замыкания, кратность пускового момента.
- величину $\cos \varphi$ и η при номинальной нагрузке.
- перегрузочную способность двигателя.
- максимальное значение коэффициента полезного действия $\eta_{\text{нб}}$ и отдаваемую мощность P_2 (в долях от номинальной), при которой он получается.
- сравнить рабочие свойства двигателя при трехфазном, однофазном питании и с конденсатором при номинальном значении тока.
- достоверность полученной информации.

12. ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ПРЯМОМ ПУСКЕ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ

РАБОТА № 8

12.1. КРИВЫЕ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ ПУСКЕ АСИНХРОННОЙ МАШИНЫ ОТ СЕТИ

$$u; i = f(t).$$

При помощи измерительного комплекса, описанного в п. 2.2:

Измерять: напряжение (фазное или линейное) на клеммах обмотки статора двигателя - u ; ток фазы двигателя - i ;

Построить: на графике №1 характеристики: u и i в зависимости от времени t , отметив точку окончания переходного процесса.

12.2. КРИВЫЕ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ ОТКЛЮЧЕНИИ АСИНХРОННОЙ МАШИНЫ ОТ СЕТИ

$$u; i = f(t).$$

При помощи измерительного комплекса, описанного в п. 2.2:

Измерять: напряжение (фазное или линейное) на клеммах обмотки статора двигателя - u ; ток фазы двигателя - i ;

Построить: на графике №2 характеристики: u и i в зависимости от времени t , сделав вывод по характеру кривых тока и напряжения.

Датчики тока и напряжения следует расположить так, как указано на рисунке 12.1.

12.3. КРИВЫЕ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ НАБРОСЕ И СБРОСЕ НАГРУЗКИ НА АСИНХРОННУЮ МАШИНУ

$$u; i = f(t, M_{mp}).$$

При помощи измерительного комплекса, описанного в п. 2.2:

Изменять: скачкообразно момент сопротивления на валу машины;

Измерять: напряжение (фазное или линейное) на клеммах обмотки статора двигателя - u ; ток фазы двигателя - i ;

Построить: на графике №3 характеристики: u и i в зависимости от времени t , сделав вывод по характеру кривых тока и напряжения.

Датчики тока и напряжения следует расположить так, как указано на рисунке 12.1.

12.4. ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ

По характеру кривых и токов сделать вывод по всем проделанным экспериментальным исследованиям. В частности, о величинах и временных параметрах превышения значений токов относительно номинальных.

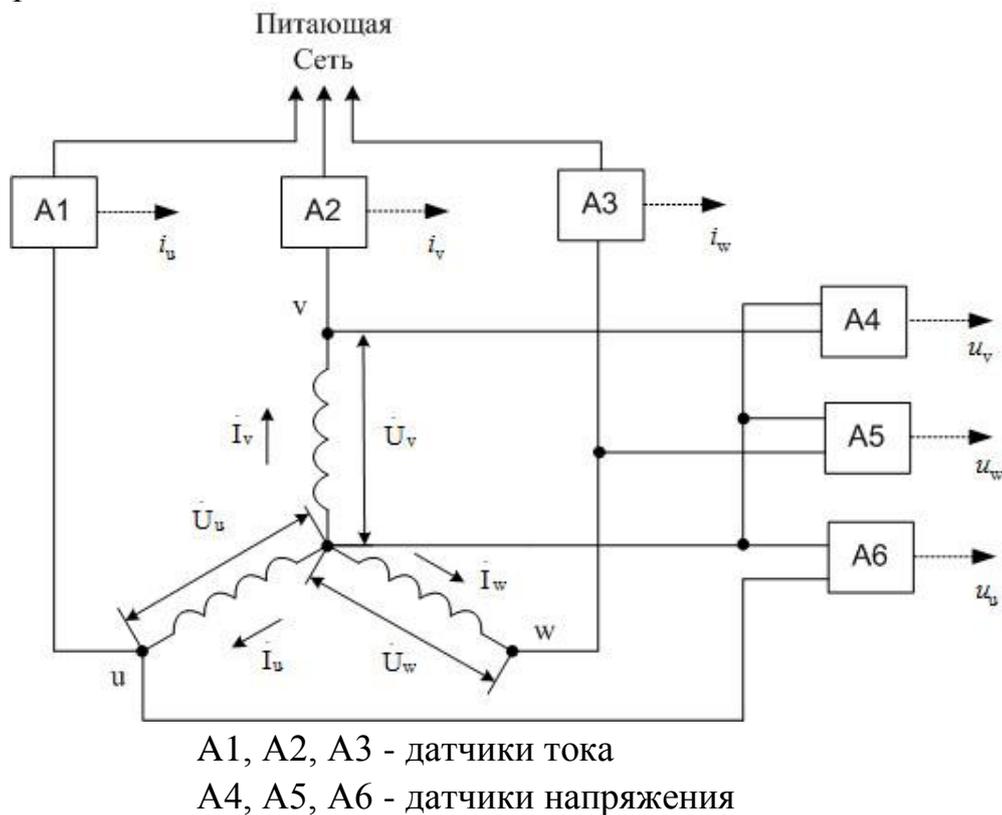


Рис. 12.1 Схема размещения датчиков при пуске асинхронного двигателя

13. ВНЕШНИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АСИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА, ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ САМОВОЗБУЖДЕНИИ АСИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА

РАБОТА № 9

13.2. ВНЕШНИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АСИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА

$$U = f(I),$$

при $\cos\varphi = 0,8 = \text{const}$, $C = \text{var}$.

Поддерживать постоянными: скорость вращения $n = n_n$; коэффициент мощности $\cos\varphi = 0,8$.

Изменять ток нагрузки от $I = 0$ до $I = I_n$.

Примечание опыт проделать для различных величин емкости возбуждения.

Измерять: напряжение на зажимах генератора U ; ток нагрузки I ; отдаваемую генератором мощность P скорость вращения n_n .

Нанести на график № 1 кривые $U = f(I)$ для различных величин емкостей возбуждения.

13.2. КРИВЫЕ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ ВОЗБУЖДЕНИИ АСИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ВЕЛИЧИНЫ ЕМКОСТИ

$$u; i = f(t, C).$$

Изменять: скачкообразно подключать емкость C_1, C_2, C_3, \dots , при $n = n_{\text{ном}}$.

Измерять: напряжение (фазное или линейное) на клеммах обмотки статора двигателя - u ; ток фазы двигателя - i .

Построить: на графике №1 характеристики: u и i в зависимости от времени t , отметив точку окончания переходного процесса (возбуждения асинхронного генератора).

Датчики тока и напряжения следует расположить так, как указано на рисунке 13.1.

13.3. КРИВЫЕ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ ВОЗБУЖДЕНИИ АСИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА И ИЗМЕНЕНИИ ВЕЛИЧИНЫ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ

$$u; i = f(t, C, n).$$

Изменять: изменять скорость по возможности скачкообразно с подключенной емкостью C_1, C_2, C_3

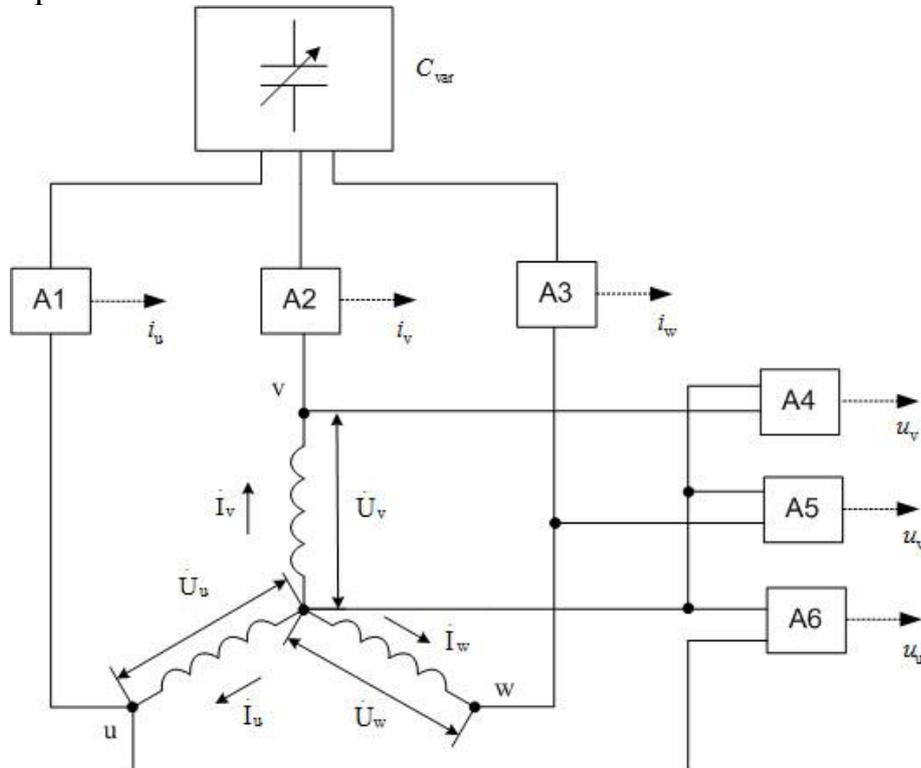
Измерять: напряжение (фазное или линейное) на клеммах обмотки статора двигателя - u ; ток фазы двигателя - i ; .

Построить: на графике №2 характеристики: u и i в зависимости от времени t , для различных скоростей и емкостей, отметив точку окончания переходного процесса (возбуждения асинхронного генератора).

Датчики тока и напряжения следует расположить так, как указано на рисунке 13.1.

13.4. ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ

По характеру полученных кривых напряжений и токов сделать вывод по всем проделанным экспериментальным исследованиям. В частности, о времени процесса возбуждения асинхронного генератора, зависимости от самовозбуждения от скорости и емкости.



A1, A2, A3 - датчики тока

A4, A5, A6 - датчики напряжения

Рис. 13.1. Схема размещения датчиков при подключении генератора к сети

14. ТРЕХФАЗНЫЙ СИНХРОННЫЙ ГЕНЕРАТОР

РАБОТА № 10

(Работа рассчитана на два посещения)

14.1. ОПЫТНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ

14.1.1. Характеристика холостого хода

$$U_0 = f(i_B),$$

при $f = f_H = \text{const}$.

Примечание: $i_{B,нб}$ считается током возбуждения, при котором $U_0 = 1.3U_H$.

Измерять: фазное напряжение $U_{0ф}$, линейное напряжение U_0 ; ток возбуждения i_B ; скорость вращения n .

Примечание: Фазное напряжение можно измерять в одной какой-либо фазе, а линейное – в каком-нибудь одном плече, если предварительно убедиться, что фазные и линейные напряжения образуют симметричные системы.

Нанести на график № 1 кривые: $U_{0ф} = f(i_B)$, $U_0 = f(i_B)$

Примечания:

1. Все характеристики и параметры в этой работе должны быть определены в относительных единицах (в долях базисных величин).
2. За базисные величины принимаются:
 - номинальное напряжение обмотки статора U_H ;
 - номинальный ток фазы статора I_H ;
 - сопротивление статора $Z_6 = U_H / I_H$;
 - ток возбуждения, создающий на зажимах обмотки статора генератора номинальное напряжение U_H при холостом ходе и номинальной скорости вращения ротора генератора.

14.1.2. Характеристика трехфазного короткого замыкания

$$I_{кз} = f(i_B),$$

при $n = n_H = \text{const}$.

Поддерживать постоянной скорость вращения $n = n_H$.

Изменять ток возбуждения так, чтобы ток короткого замыкания изменялся в пределах от $I_{кз} \approx I_H$ до $I_{кз} \approx 0$.

Измерять: ток короткого замыкания $I_{кз}$; ток возбуждения i_B ; напряжение между нулевыми точками генератора и цепи короткого замыкания $U_{кз}$ (третья гармоническая напряжения); скорость вращения n .

Нанести на график № 2 кривую

$$I_{k3} = f(i_B).$$

14.1.3. Характеристика короткого замыкания двух фаз на нейтраль

$$I_{k20} = f(i_B),$$

при $n = n_H = \text{const}$.

Поддерживать постоянной скорость вращения $n = n_H$.

Изменять ток возбуждения i_B от $i_{B.H0}$ до $i_B = 0$.

Примечание: току возбуждения $i_{B.H0}$ соответствует ток в нейтральном проводе $I_{k20} = 3 \cdot I_0 \approx I_H$

Измерять: ток возбуждения i_B ; ток в нейтральном проводе I_{k20} ; напряжение свободной фазы U_C ; скорость вращения n .

Нанести на график № 2 кривую $I_{k20} = f(i_B)$.

Примечание. Опыт короткого замыкания двух фаз на нейтраль, как и опыт других несимметричных коротких замыканий, следует проводить по возможности быстрее, чтобы не получить заметного увеличения нагрева частей ротора, обусловленного обратно-синхронным полем.

14.1.4. Характеристика двухфазного короткого замыкания

$$I_{k2} = f(i_B) \text{ при } n = n_H = \text{const}.$$

Поддерживать постоянной скорость вращения $n = n_H$.

Изменять ток возбуждения i_B от $i_{B.H0}$ до $i_B = 0$.

Примечание: току возбуждения $i_{B.H0}$ соответствует ток $I_{k2} = I_H$.

Измерять: ток возбуждения i_B ; ток короткого замыкания I_{k2} ; мощность по ваттметру, токовая обмотка которого включается в цепь короткого замыкания, а обмотка напряжения – на напряжение U_{CK} между свободной и любой из короткозамкнутых фаз; скорость вращения n .

Нанести на график № 2 кривую $I_{k2} = f(i_B)$.

14.1.5. Характеристика однофазного короткого замыкания

$$I_{k1} = f(i_B) \text{ при } n = n_H = \text{const}.$$

Поддерживать постоянной скорость вращения $n = n_H$.

Изменять ток возбуждения i_B от $i_{B.H0}$ до $i_B = 0$.

Примечание: току возбуждения $i_{B.H0}$ соответствует ток $I_{k1} = I_H$.

Измерять: ток возбуждения i_B ; ток короткого замыкания $I_{к1}$; скорость вращения n .

Нанести на график № 2 кривую $I_{к1} = f(i_B)$.

14.1.6. Индукционная характеристика при $\cos\varphi \approx 0$.

$$U = f(i_B),$$

при $I = \text{const}$, $\cos\varphi \approx 0$ и $n = n_H = \text{const}$.

Поддерживать постоянными: скорость вращения $n = n_H$, ток в обмотке статора $I = I_H$; $\cos\varphi \approx 0$ (практически не выше 0,1 – 0,2)

Изменять ток возбуждения i_B от $i_{B,нб}$ до возможного минимума, сопротивление нагрузочной цепи – соответственно условиям опыта.

Примечание: току возбуждения $i_{B,нб}$ соответствует напряжение на зажимах обмотки статора на 10 – 15% больше номинального; под минимальным током возбуждения понимается ток, соответствующий наименьшему значению напряжения, при котором еще возможно получить $I = I_H$, $\cos\varphi \approx 0$.

Измерять: ток возбуждения i_B ; ток I ; напряжение на зажимах обмотки статора U ; скорость вращения n .

Нанести на график № 3 кривую $U = f(i_B)$. На этот же график перенести с графика № 1 нисходящую ветвь характеристики холостого хода и с графика № 2 – характеристику трехфазного короткого замыкания.

14.1.7. Определение индуктивного сопротивления нулевой последовательности x_0 статическим методом

Изменять подводимое к обмотке статора напряжение так, чтобы ток изменялся в пределах от $I = I_H$ до $I \approx 0,2 I_H$.

Измерять: подводимое к обмотке статора напряжение U ; ток в обмотке статора I , подводимую к статору мощность P , частоту тока статора f .

Примечание. Опыт проделать при короткозамкнутой обмотке возбуждения для двух положений ротора: одного, при котором ось обмотки возбуждения совпадает с осью пульсирующего поля третьей гармонической составляющей в зазоре и второго, при котором ось обмотки возбуждения сдвинута относительно оси пульсирующего поля третьей гармонической составляющей на 30 электрических градусов основной гармонической или 90 электрических градусов третьей гармонической составляющей. Предварительно необходимо определить искомые положения ротора по наибольшему и наименьшему показаниям вольтметра в цепи возбуждения при медленном поворачивании ротора, поддерживая постоянными частоту $f = f_H$ и ток $I = I_H$ в статоре.

14.1.8. Определение переходных индуктивных сопротивлений по продольной (x_d) и поперечной (x_q) осям статическим методом

Изменять подводимое к обмотке статора напряжение так, чтобы ток изменялся в пределах от $I = 0,5I_H$ до $I \approx 0,1 I_H$.

Измерять: подводимое к обмотке статора напряжение U ; ток статора I , подводимую к статору мощность P , частоту тока статора f .

Примечание. Предварительно необходимо определить искомые положения ротора по наибольшему и наименьшему показаниям амперметра в цепи возбуждения при медленном поворачивании ротора, при постоянном по величине тока в обмотке статора и постоянной частоте. Обмотка возбуждения обязательно должна быть замкнута.

14.2. ИСПЫТАНИЕ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА МЕТОДОМ НЕПОСРЕДСТВЕННОЙ НАГРУЗКИ ПРИ СОЕДИНЕНИИ ОБМОТКИ СТАТОРА ЗВЕЗДОЙ

РАБОТА № 11

14.2.1. Внешняя характеристика

$$U = f(I),$$

при $i_B = \text{const}$; $\cos \varphi = 0,8 = \text{const}$.

Поддерживать постоянными: скорость вращения $n = n_H$, ток в обмотке возбуждения i_B ; коэффициент мощности $\cos \varphi = 0,8$.

Изменять ток нагрузки от $I = 0$ до $I = I_H$.

Измерять: напряжение на зажимах генератора U ; ток нагрузки I ; ток возбуждения i_B ; отдаваемую генератором мощность P скорость вращения n_H .

Примечание. Опыт следует проделать, начиная с $U = U_H$, $I = I_H$ и $\cos \varphi = 0,8$.

Нанести на график № 4 кривую $U = f(I)$.

14.2.2. Регулировочная характеристика

$$i_B = f(I),$$

при $U = U_H = \text{const}$; $n = n_H = \text{const}$; $\cos \varphi = 0,8 = \text{const}$.

Поддерживать постоянными: скорость вращения $n = n_H$; напряжение на зажимах генератора U ; коэффициент мощности $\cos \varphi = 0,8$.

Изменять ток нагрузки от $I = 0$ до $I = I_H$, ток возбуждения i_B так, чтобы $U = U_H = \text{const}$.

Измерять: напряжение на зажимах генератора U ; ток нагрузки I ; ток возбуждения i_B ; отдаваемую генератором мощность P скорость вращения n_H .

Нанести на график №4 кривую $i_B = f(I)$.

14.3. ВЫЧИСЛЕНИЯ И ПОСТРОЕНИЯ

1. Определение повышения напряжения, а также определение тока возбуждения генератора для $\cos\varphi = 0,8$; $I = I_H$; $U = U_H$; и $n = n_H$ на основании опытных данных (опыты по снятию внешних и регулировочных характеристик).
2. Определение параметров
 - 2.1. Определение индуктивного сопротивления рассеяния $x_{\sigma a}$ по нисходящим ветвям характеристик холостого хода и индукционной при $\cos\varphi = 0$ для $U = U_H$ на графике № 3;
 - 2.2. Определение синхронного индуктивного сопротивления по продольной оси x_d по спрямленной части характеристики холостого хода и характеристике трехфазного короткого замыкания;
 - 2.3. Определение переходного индуктивного сопротивления по продольной оси x_d по данным опыта п.14.1.8;
 - 2.4. Определение индуктивного сопротивления обратной последовательности x_2 из опыта п.14.1.4 двухфазного короткого замыкания по показаниям ваттметра и амперметра;
 - 2.5. Определение индуктивного сопротивления нулевой последовательности x_0 :
 - Из опыта п.4 короткого замыкания двух фаз на нейтраль по напряжению свободной фазы;
 - По данным опыта п.8.

14.4. РАСЧЕТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

14.4.1. Определение установившихся токов трехфазного, двухфазного и однофазного коротких замыканий при возбуждении, которое при номинальной скорости вращения и разомкнутой обмотке статора дает на зажимах обмотки статора номинальное напряжение, взятое по продолжению прямолинейной части характеристики холостого хода с использованием:

- характеристик короткого замыкания (график № 3);
- подсчетом по сопротивлениям различной последовательности и спрямленной части характеристики холостого хода.

14.4.2. Подсчет ударного тока трехфазного короткого замыкания при номинальном напряжении на зажимах генератора на холостом ходу, при номинальной частоте, по переходному сопротивлению.

14.5. ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ

- Отметить степень несимметрии линейных напряжений генератора на холостом ходу.
- Сравнить величины токов трехфазного, двухфазного и однофазного коротких замыканий.
- Оценить достоверность полученной информации.

15. ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ РАБОТА ТРЕХФАЗНЫХ СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ

РАБОТА № 12

15.1. ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ ВКЛЮЧЕНИЕ ГЕНЕРАТОРОВ

Опыт проделать в следующем порядке:

- Подключить генератор к сети с помощью синхроскопа или синхронизирующих ламп, соединенных по схеме «на потухание».
- Нагрузить генератор на сеть до номинальной нагрузки при коэффициенте мощности сети $\cos\varphi_c = 1,0$ при номинальном напряжении и номинальной частоте.

15.2. СНЯТИЕ U-ОБРАЗНЫХ КРИВЫХ ГЕНЕРАТОРА

$$I = f(i_B),$$

при $U = U_H = \text{const}$; $f = f_H = \text{const}$;

Подключив генератор к сети, нагрузить его до мощности, равной примерно 0,25 номинальной при $\cos\varphi = 1,0$. Из этой исходной точки, уменьшая ток возбуждения генератора снять ветвь U-образной кривой, соответствующей недовозбуждению генератора. Затем, возвратившись в исходную точку, произвести регулирование тока возбуждения генератора в обратном порядке, а именно, увеличивать его, снимая тем самым ветвь U-образной кривой, соответствующей перевозбуждению генератора.

При выполнении опыта:

Поддерживать постоянными: скорость вращения $n = n_H$; напряжение на зажимах генератора $U = U_c = U_H$

Изменять ток возбуждения i_B так, чтобы напряжение на генераторе оставалось постоянным и в таких пределах, при которых ток в статоре достигает номинального значения.

Измерять: напряжение на зажимах генератора U ; ток нагрузки I ; ток возбуждения i_B ; отдаваемую генератором мощность P , скорость вращения n_H .

Нанести на график № 1 кривую $i_B = f(I)$.

Выполнив опыт для мощности, равной примерно 0,25 номинальной, повторить его для мощности, равной примерно 0,75 номинальной.

15.3. ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ

- Отметить степень несимметрии линейных напряжений генератора на холостом ходу.
- Сравнить величины токов трехфазного, двухфазного и однофазного коротких замыканий.
- Оценить достоверность полученной информации.

16. ТРЕХФАЗНЫЙ СИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ

РАБОТА № 13

16.1. ПУСК СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ В ХОД

- Пуск двигателя в ход при помощи вспомогательного двигателя.
- Асинхронный пуск двигателя. Пуск произвести при добавочном сопротивлении в цепи возбуждения $R_d = 50r_B$, где r_B – сопротивление обмотки возбуждения.

16.2. U – ОБРАЗНЫЕ КРИВЫЕ СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

16.2.1. При холостом ходе двигателя (нагрузочный генератор должен быть отсоединен)

16.2.2. При постоянном тормозном моменте

Опыт проделать для момента, равного примерно половине номинального момента двигателя. При выполнении опыта:

Поддерживать постоянным напряжение на зажимах двигателя $U = U_H$.

Изменять ток возбуждения i_B от $i_{Bнб}$, соответствующего номинальному значению опережающего тока в обмотке статора, до $i_{Bнм}$, соответствующего номинальному значению отстающего тока в обмотке статора.

Измерять: напряжение, подводимое к двигателю $U_c = U_H$; ток в обмотке статора I ; подведенную к статору мощность P_1 ; ток возбуждения i_B ; ток и напряжение вспомогательного генератора I_G и U_G .

Вычислить коэффициент мощности $\cos \varphi$ для пунктов 2.1., 2.2.

Нанести на график № 1 кривые I и $\cos \varphi = f(i_B)$.

16.3. РАБОЧИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВИГАТЕЛЯ

$$P_1; \eta; \cos \varphi; I = f(P_2).$$

При выполнении опыта:

Поддерживать постоянными: напряжение на зажимах двигателя $U = U_c = U_H$, ток возбуждения i_{BH} .

Примечание. Под номинальным током i_{BH} понимается ток i_B , соответствующий номинальному режиму работы двигателя.

Изменять тормозящий момент посредством изменения нагрузки вспомогательного генератора постоянного тока. При этом изменение нагрузки генератора постоянного тока производить, поддерживая постоянным его ток возбуждения i_{BG} .

Измерять: подводимое к двигателю напряжение U_c ; ток в статоре I ; мощность, подводимую к статору P_1 ; ток возбуждения двигателя i_{BH} ; напряжение U_r , ток в якоре I_r и ток возбуждения i_{BG} нагрузочного генератора.

Вычислить: коэффициент мощности $\cos \varphi$; полезную мощность P_2 ; полезный момент M_2 ; коэффициент полезного действия η .

Нанести на график № 2 кривую $i_B = f(I)$.

16.4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕРЬ ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ГЕНЕРАТОРА

Измерить сопротивление цепи якоря вспомогательного генератора.

Определить потери холостого хода вспомогательного генератора при том токе возбуждения, который имел место при снятии рабочих характеристик синхронного двигателя.

16.5. ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ

1. Отметить величину отклонения коэффициента полезного действия для номинальной нагрузки η_H по сравнению с коэффициентом полезного действия, гарантированным заводом – изготовителем, сравнить с допуском по стандарту.
2. Сравнить измеренные опытным путем данные режимы при номинальном токе статора, сопоставив с данными щитка машины.
3. Отметить максимальное значение коэффициента полезного действия η_{H6} и отдаваемую мощность P_2 (в долях от номинальной), при которой он получается.
4. Оценить достоверность полученной информации.

17. ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ВНЕЗАПНЫХ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЯХ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА

Работа № 14

17.1. ОПЫТ ВНЕЗАПНЫХ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ

Произвести внезапное трехфазное, двухфазное и однофазное короткое замыкание синхронного генератора, работающего на холостом ходу, для значений напряжения $U_0 = (0,5 - 0,75) \cdot U_H$, при $f = 50$ Гц.

Датчики тока и напряжения следует расположить так, как указано на рисунке 17.1.

В соответствующих случаях записать напряжения на свободных фазах.

17.2. ПОДКЛЮЧЕНИЕ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА НА ПАРАЛЛЕЛЬНУЮ РАБОТУ С СЕТЬЮ

Произвести Синхронизацию генератора на параллельную работу с сетью $U_0 = 1,2 \cdot U_H$, при $f = 50$ Гц.

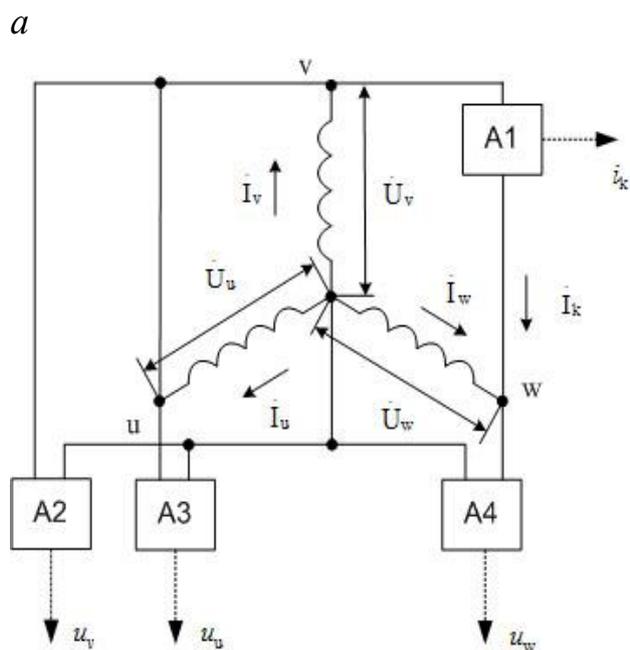
Датчики тока и напряжения следует расположить так, как указано на рисунке 17.2.

17.3 Оценка результатов

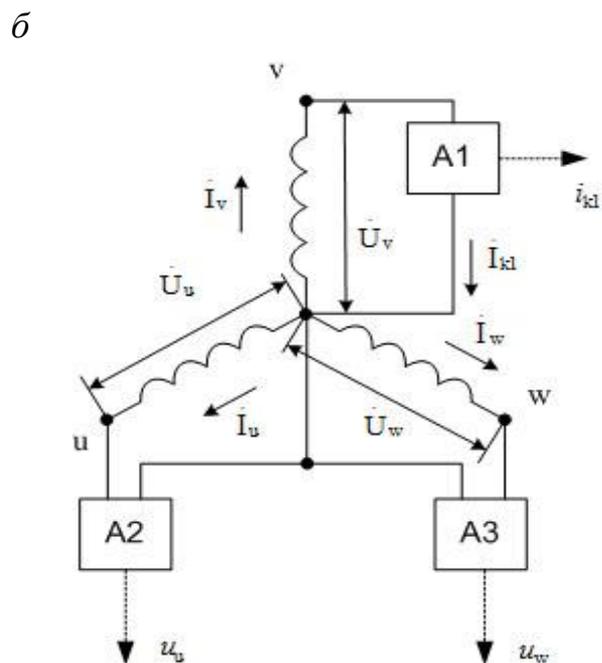
Определить: начальные значения апериодических и периодических составляющих токов коротких замыканий, динамические, индуктивные сопротивления ($x'_d; x''_d$), динамические постоянные времени ($T'_d; T''_d$), величину кратности токов относительно номинальных значений при подключении синхронного генератора к сети.

Оценить:

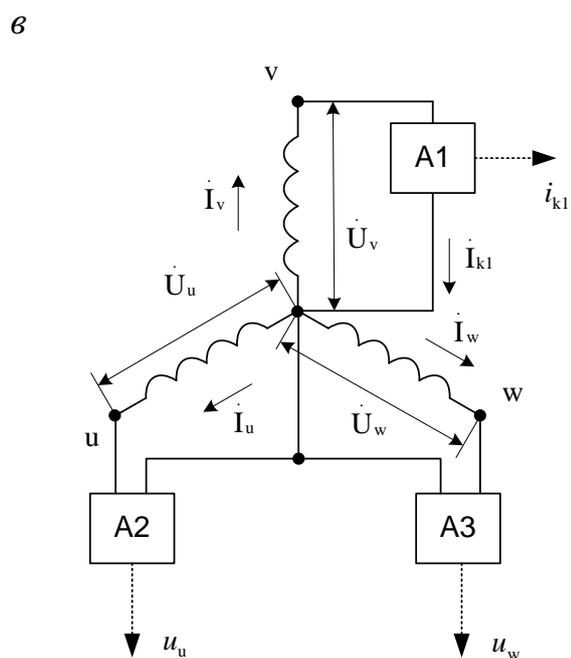
- сопоставить значения ударных токов коротких замыканий, найденных из опытов внезапных коротких замыканий и путем расчета по параметрам (работа «Синхронный генератор»);
- оценить соответствие соотношений между постоянными времени и индуктивными сопротивлениями для различных видов коротких замыканий.



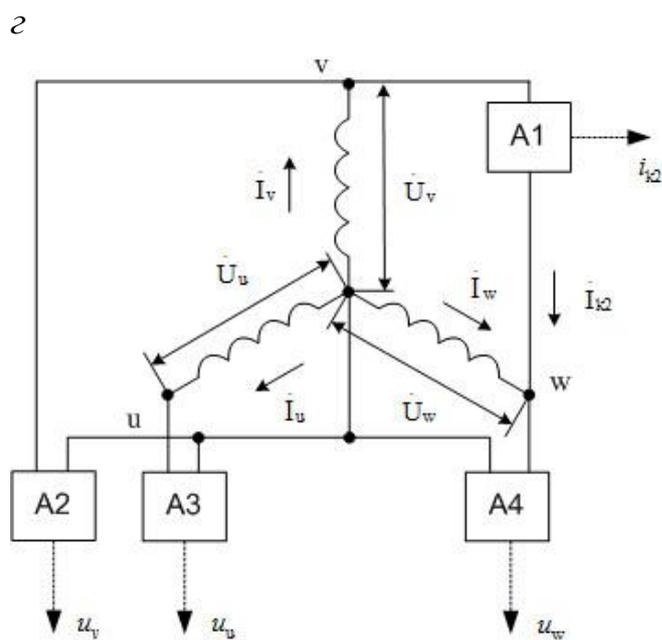
*A1 - датчик тока
A2, A3, A4 - датчики напряжения*



*A1 - датчик тока
A2, A3 - датчики напряжения*

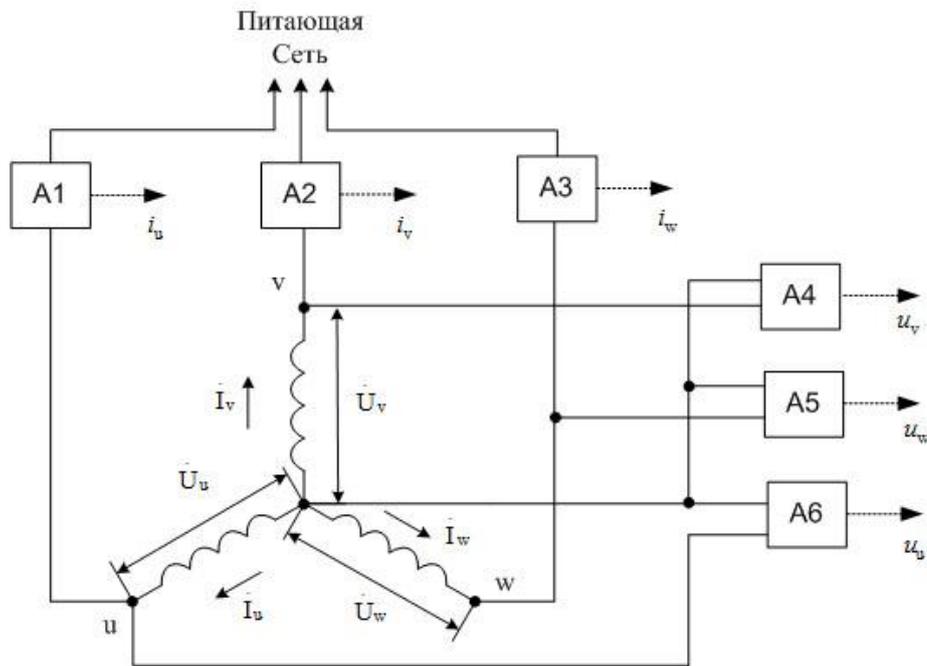


*A1 - датчик тока
A2, A3 - датчики напряжения*



*A1 - датчик тока
A2, A3, A4 - датчики напряжения*

*Рис. 17.1 Схемы размещения датчиков при коротких замыканиях:
а – трехфазном; б – однофазном; в – двухфазном;
г – двухфазном на нейтраль.*



$A1, A2, A3$ - датчики тока

$A4, A5, A6$ - датчики напряжения

Рис. 17.2 Схема размещения датчиков при подключении генератора к сети

18. ПРИМЕР ОБРАБОТКИ

18.1. ПРИМЕР РАБОТЫ В ПО ФИРМЫ Л-КАРД - LGRAPH 2.

Внешний вид ПО.

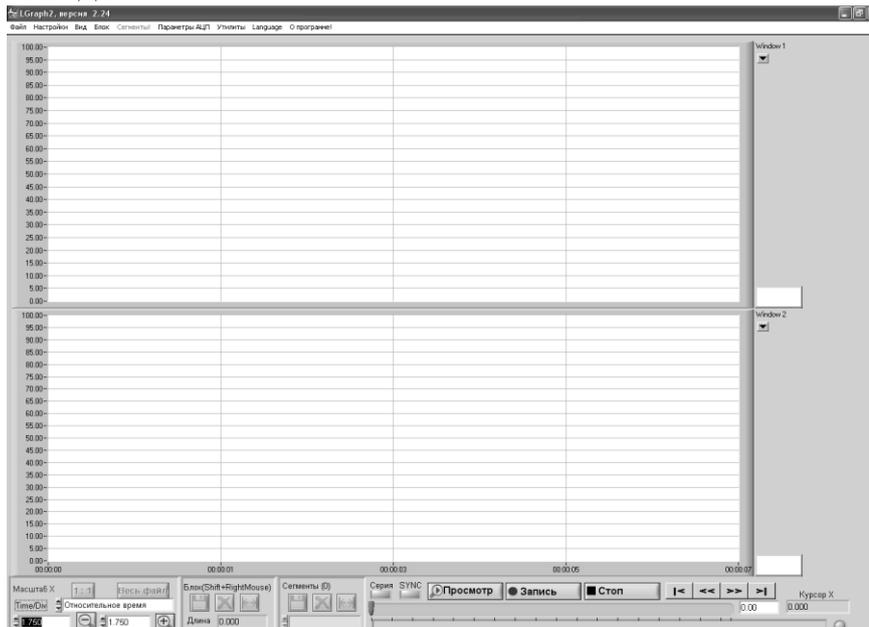


Рис. 18.1. Пользовательский интерфейс Lgraph 2

Для выбора снимаемых каналов и настройки частоты оцифровки заходим в меню *Параметры АЦП/ Параметры ввода* (рис. 18.2).

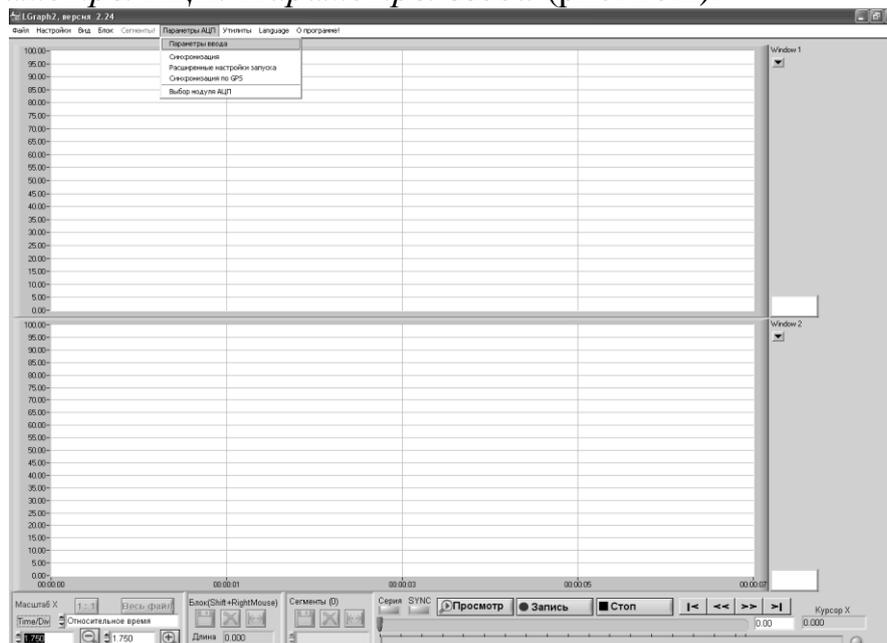


Рис. 18.2. Меню - *Параметры АЦП/ Параметры ввода*

Внешний вид меню настройки каналов, частоты оцифровки и времени записи представлен на рисунке 18.3. В меню настройки канала (правая часть выскочившего меню) есть возможность выбора диапазона каждого канала, возможность включения/ выключения необходимых каналов, отображение/ отключение отображения канала и его калибровка. В нижней левой части меню интервал сбора и частота съема на один канал с возможностью корректировки размерностей. В нижнем среднем отделении выбирается формат записываемых данных.

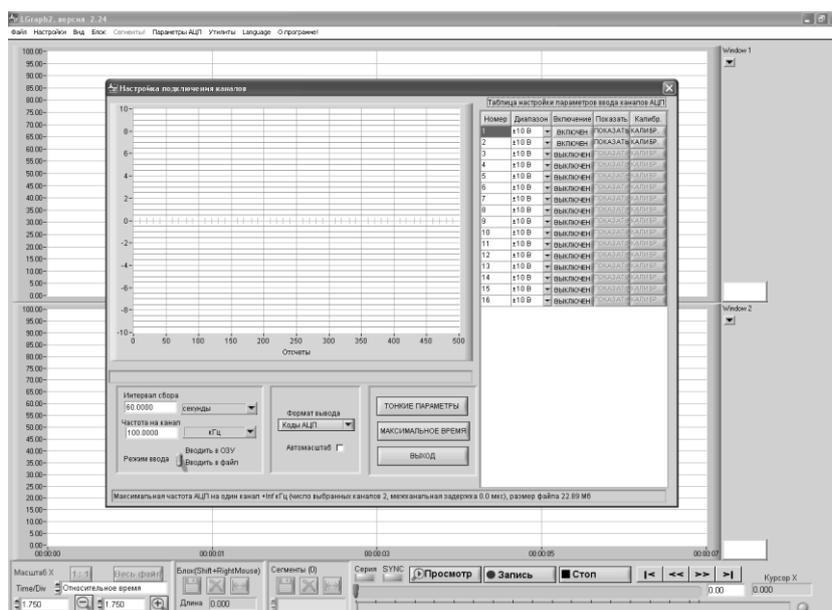


Рис. 18.3. Внешний вид меню настройки каналов

Для настройки отображаемых величин заходим в меню *Настройки/ Настройки каналов* (рис. 18.4).

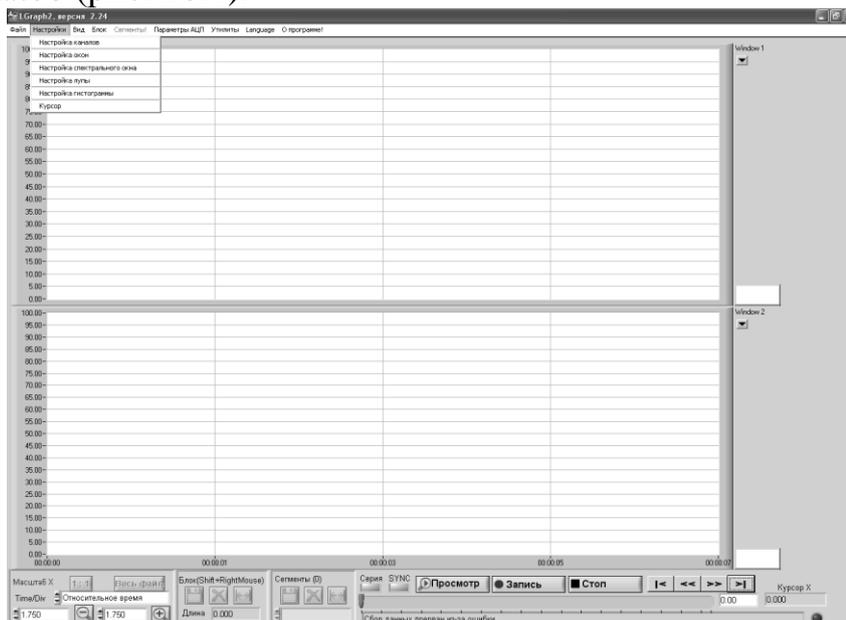


Рис. 18.4. Меню - Настройки/ Настройки каналов

Внешний вид меню настройки отображения каналов представлен на рисунок 18.5. В данном меню выбора окна для того или другого канала, типа линии, ее цвета, количества разрядов, формата вывода, диапазона, а также возможность калибровки и просмотра статуса канала. После настройки необходимо сохранить их и выйти.

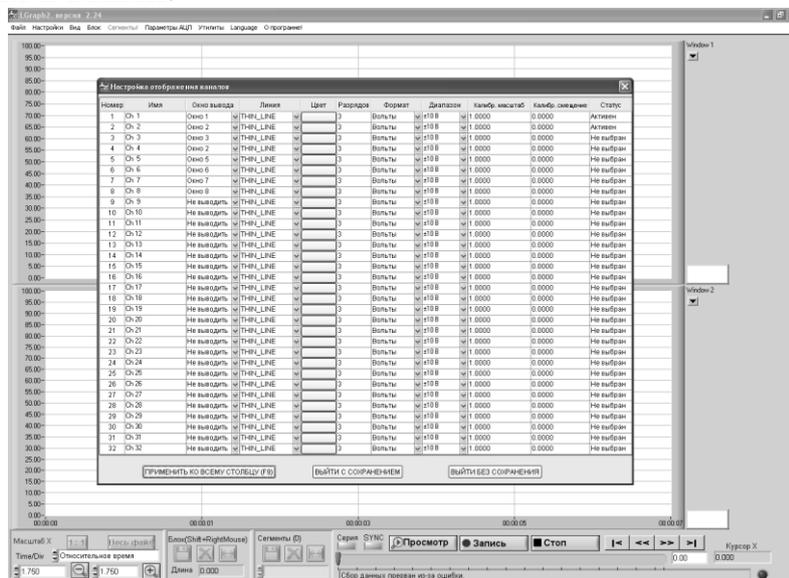


Рис. 18.5. Внешний вид меню настройки

Для просмотра текущих величин, поданных на систему, необходимо нажать кнопку *Просмотр*, для записи кнопку *Запись*. Для записи полученных ре-

зультатов заходим в меню *Файл/Сохранить* (рис. 18.6). Далее задаем необходимое имя и сохраняем.

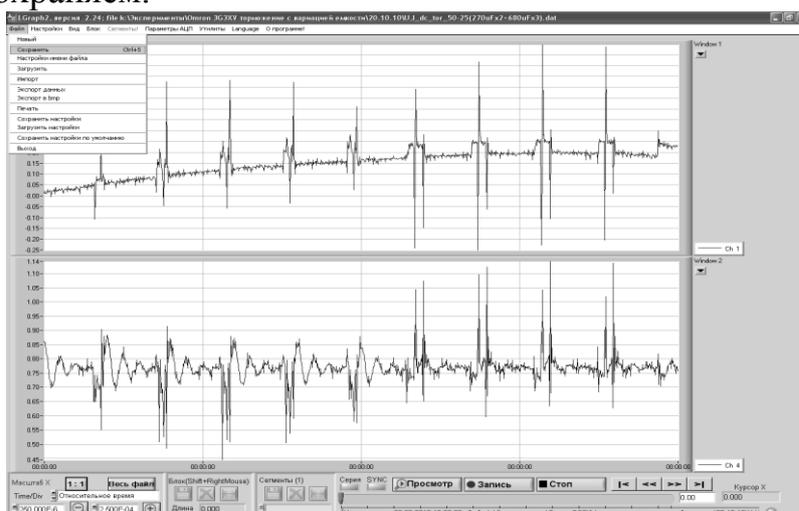


Рис. 18.6. Меню - Файл/Сохранить

Переводим в более доступный формат файла. Для этого заходим в меню *Файл/ Экспорт данных*.

Далее проводим необходимую настройку, в частности: Формат вывода – Вольты, Разделитель между колонками - Пробел, ставим галочку, добавляя столбец времени, при этом число знаков после запятой должно быть таким, чтобы не потерять полезную информацию координаты времени при данной частоте дискретизации, пример представлен на рисунке 18.7, после чего нажимаем кнопку *экспортировать* и задаем необходимое имя текстового файла, а затем сохраняем.

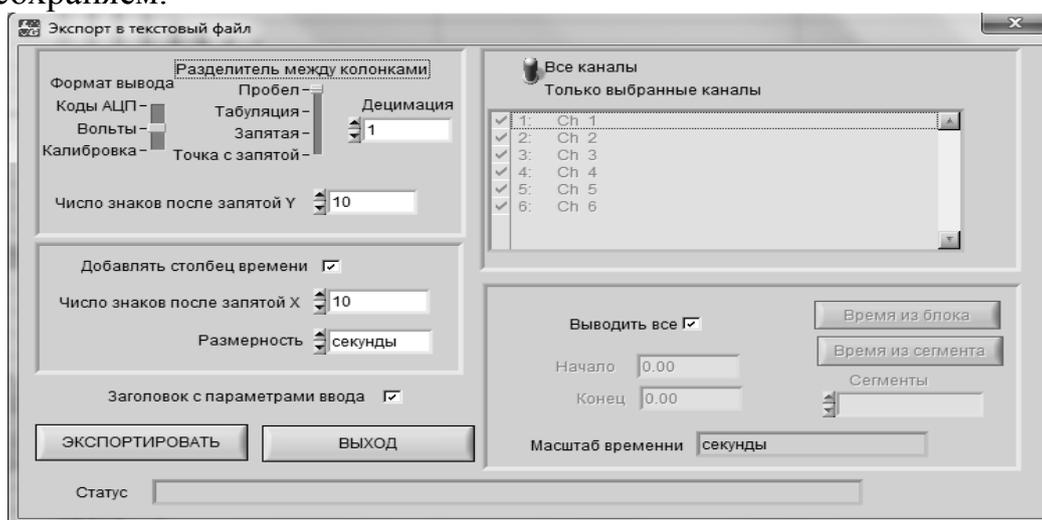


Рис. 18.7. Экспорт в текстовый файл

18.2. ПРИМЕР ОБРАБОТКИ ДАННЫХ В МАТЕМАТИЧЕСКОМ ПАКЕТЕ

Дальнейшая обработка собранных данных выполняется с помощью математического пакета. Производится чтение внешнего файла: для этого щелкаем правой кнопкой мыши на свободном поле, далее *Вставить/ Файл вывода* (рис.18.8). Убирается галочка у надписи «Запятая как разделитель целой и дробной частей», указывается путь к файлу после нажатия на кнопку *Обзор*.

Задается номер строки, с которой необходимо начать считывание файла (для данного типа файла – 13 (20)), также номер строки окончания чтения. Необходимо учитывать то обстоятельство, что длинные файлы читаются достаточно большое время, поэтому имеет смысл, по возможности, уменьшить число читаемых строк, что значительно ускоряет процесс обработки данных и построения по ним графиков, но при этом не теряется полезная информация. Присваиваются значения необходимым коэффициентам, нулевой столбец прочитанного файла назначаем параметром времени, нечетные каналы - токами, четные - напряжениями, умножая при этом на необходимые коэффициенты (ток – $20 \text{ A/V}_{\text{ащп}}$, напряжение – $200 \text{ В/ V}_{\text{ащп}}$, $V_{\text{ащп}}$ – выходное значение напряжения АЦП.). После это производятся, необходимые расчеты, строятся графики (рис. 18.9, 18.11).

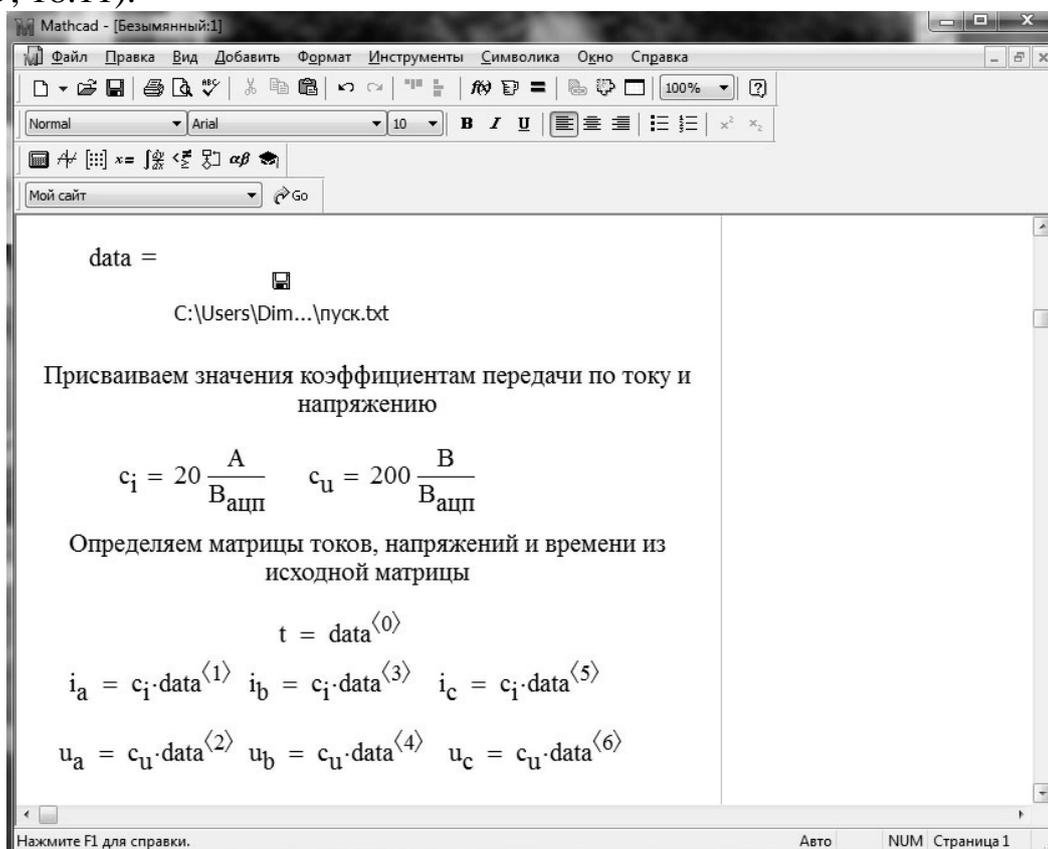


Рис. 18.8. Пример обработки полученных данных

Примеры графиков, построенных при прямом пуске асинхронного двигателя без нагрузки на валу, представлены на рисунке 18.10 (кривые величины фазных токов в функции времени) и рисунке 18.11 (кривые величины фазных напряжений в функции времени).

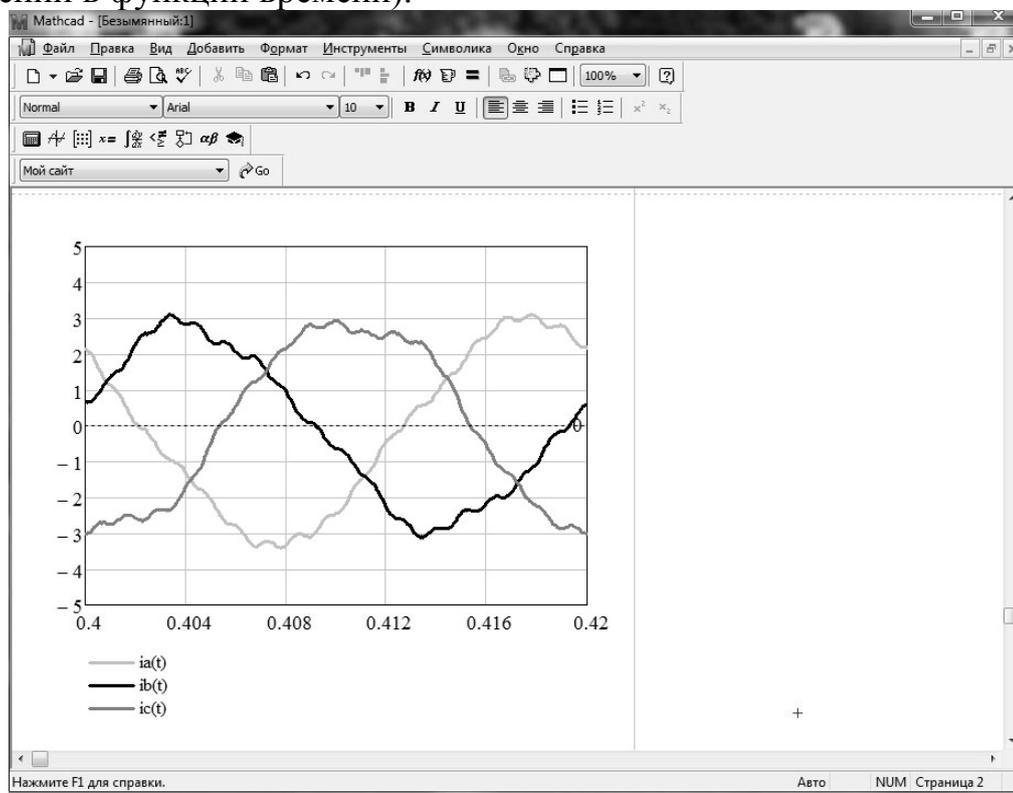


Рис. 18.9. Пример построения графиков

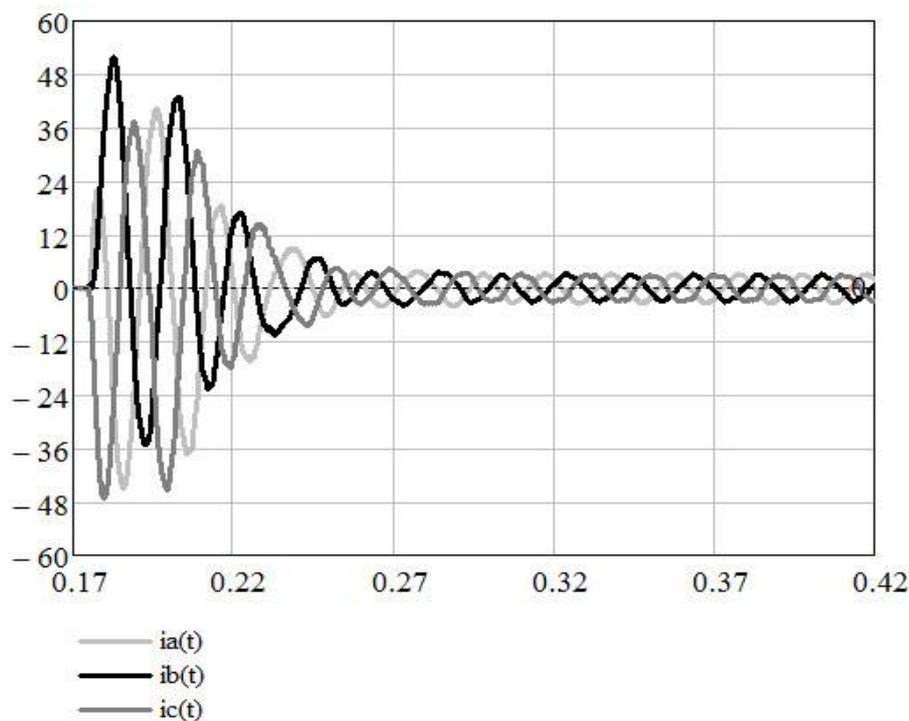


Рис. 18.10. График изменения величины фазных токов в функции времени

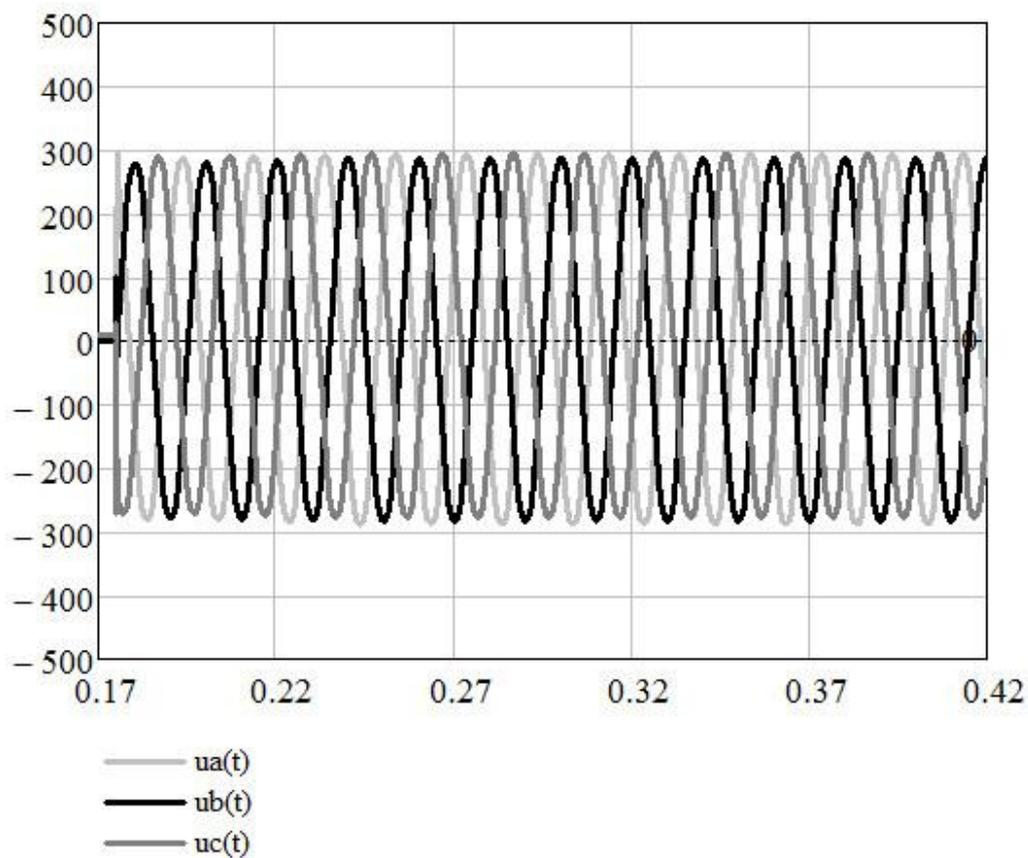


Рис. 18.11. График изменения величины фазных напряжений в функции времени

19. ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ ОТЧЕТА

19.1. СТРУКТУРА РАБОТЫ

Лабораторная работа должна содержать:

- титульный лист;
- содержание;
- введение;
- основную часть;
- заключение;
- список использованных источников;

19.2. ТРЕБОВАНИЯ К СОДЕРЖАНИЮ РАБОТЫ

19.2.1. Титульный лист работы

Титульный лист содержит полное наименование университета, факультета, кафедры; наименование дисциплины и темы работы; шифр работы; ученую степень, звание, фамилию, имя, отчество научного руководителя и (или) консультанта; фамилию, имя, отчество автора, курс, дату сдачи и дату защиты работы и оценку; город и год.

Шифр работы:

XXXXXX.

XX.

XXX

Код направления
(специальности)

Код кафедры

Порядковый номер студента

Например:

Направление: 140400 «Электроэнергетика и электротехника»

Код кафедры: 06 - каф. «Управляющие и вычислительные системы»

Порядковый номер: 001

Шифр работы: 140400.06.001

19.2.2. Содержание

Содержание включает введение, наименование всех глав, пунктов, заключение и список использованных источников с указанием номеров страниц, с которых начинаются эти элементы.

19.2.3. Введение

Во введении должно содержаться: предмет, объект и методы исследования, оценка современного состояния решаемой научно-технической, социальной, экономической проблемы. Введение, как правило, составляет до 2 страниц.

19.2.4. Основная часть

Основная часть работы содержится в главах, в которых дается:

- обзор литературы по теме и выбор направления исследований;
- изложение общей методики и основных методов исследований;
- экспериментальная часть и методика исследований, проведенные теоретические и (или) экспериментальные (практические) исследования;
- анализ и обобщение результатов исследований.

19.2.5. Заключение

Содержит краткие выводы по результатам выполненной работы, социальную и экономическую ценность работы и предложения по совершенствованию.

19.2.6. Список использованных источников

Список источников является необходимой структурной частью работы. Он должен содержать перечень источников, использованных при написании контрольной работы. Помещается после основного текста, перед приложениями (если они есть) и имеет сквозную нумерацию.

19.3. ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ ТЕКСТОВЫХ ДОКУМЕНТОВ

19.3.1. Общие требования к оформлению рукописи

Компьютерная верстка текста выполняется в соответствии с таблицей. Страницы текста и включенные в текст иллюстрации и таблицы должны соответствовать формату А4 по ГОСТ 9327-60. Допускается применение формата А3 при наличии таблиц и иллюстраций данного формата. Работа должна быть выполнена с использованием компьютера и принтера на одной стороне листа бумаги. Текст набирается машинописным шрифтом в стиле Times New Roman. Сокращение слов в текстах и надписях не допускается, кроме общепринятых. Заполненность листа не должна быть менее 75%. Недопустимо использование технического жаргона, следует избегать длинных и запутанных фраз.

Работа может быть представлена в электронном виде на сайт центра дистанционного образования, оформленная по описанным требованиям.

19.3.2. Нумерация глав, пунктов, подпунктов

Главы, пункты и подпункты обозначаются арабскими цифрами без точки в конце. Главы должны иметь порядковую нумерацию в пределах всего текста, за исключением приложений. Введение и заключение не нумеруются.

Таблица 19.1

Компьютерная верстка текста

Наименование элементов	1 –й вариант (предпочтительный)	2 –й вариант (допускаемый)
1	2	3
Заголовок главы		
Новая страница	Да	Да
Шрифт, пт	14 (ПРОПИСНЫМ)	14 (ПРОПИСНЫМ)
Интервал до, пт	0	0

Продолжение табл. 19.1

1	2	3
Интервал после, пт	18	12
Выравнивание	По центру	По центру
Межстрочное расстояние	1,5 инт.	1 инт.
Заголовок пункта		
Новая страница	Нет	Нет
Шрифт, пт	14	12
Абзацный отступ, см	1,0-1,2	1,0-1,2
Интервал до, пт	12	12
Интервал после, пт	12	12
Выравнивание	Слева	Слева
Межстрочное расстояние	1,5 инт.	1,5 инт.
Основной текст		
Шрифт	14	12
Абзацный отступ, см	1,0-1,2	0,8-1,2
Выравнивание	По ширине	По ширине
Межстрочное расстояние	1,5 инт.	1,5 инт.
Размер символов в математических выражениях соответствует шрифту	14	12
Подписи к рисункам и заголовкам таблиц		
Шрифт Times New Roman, пт	12	
Шрифт текста в таблице		
Шрифт Times New Roman, пт	Не менее 8 пт	
Параметры документа		
Размер бумаги, мм	A4(210x297)	
Верхнее поле, мм	20	
Нижнее поле, мм	20	
Правое поле, мм	10	
Левое поле, мм	30	

Пример:

7 ОФОРМЛЕНИЕ ТЕКСТА

Номер пункта включает номер главы и порядковый номер пункта, разделенные точкой.

Пример:

7.1 ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ

Номер подпункта включает номер главы, пункта и порядковый номер подпункта, разделенные точкой.

Пример:

7.1.3 Сокращение русских слов и словосочетаний - по ГОСТ 7.12-93.

Если глава имеет только один пункт или пункт имеет один подпункт, то нумеровать его не следует.

Во всех заголовках запрещено: подчеркивание слов; перенос слов; сокращение слов. В конце номера главы, пункта, подпункта точка не ставится.

19.3.3. Нумерация страниц

Страницы следует нумеровать арабскими цифрами, соблюдая сквозную нумерацию по всему тексту. Номер страницы проставляют в центре нижней части листа без точки.

Титульный лист и задание включают в общую нумерацию страниц записки. Номер страницы на титульном листе и на листах задания не проставляют, но в нумерации учитывают.

Иллюстрации и таблицы, расположенные на отдельных листах, включают в общую нумерацию страниц записки. Иллюстрации и таблицы на листе формата А3 учитывают как одну страницу. На листах с иллюстрациями, расположенными с поворотом по часовой стрелке, номер страницы не ставится.

19.3.4. Иллюстрации и их нумерация

Иллюстрации (чертежи, графики, схемы, компьютерные распечатки, диаграммы, фотоснимки) следует располагать в записке непосредственно после текста, в котором они упоминаются впервые, или на следующей странице. На все иллюстрации должны быть даны ссылки.

Чертежи, графики, диаграммы, схемы, иллюстрации, помещаемые в записке, должны соответствовать требованиям государственных стандартов ЕСКД и быть четкими. Иллюстрации при необходимости сканируются и по-

мещаются в текст записки «кадром». Иллюстрации выполняются посредством компьютерной печати (в т.ч. в цветном изображении).

Иллюстрации следует нумеровать арабскими цифрами сквозной нумерацией. Слово «Рисунок», его номер и наименование располагают через тире по середине строки под рисунком.

Пример:

Рисунок 1 - Детали прибора

Допускается нумеровать иллюстрации в пределах главы. В этом случае номер иллюстрации состоит из номера главы и порядкового номера иллюстрации, разделенные точкой.

Пример:

Рисунок 2.1 - Детали прибора

Иллюстрации каждого приложения обозначают отдельной нумерацией арабскими цифрами с добавлением перед цифрой обозначения приложения.

Если на рисунке имеются цифровые или буквенные обозначения, они должны быть описаны в тексте или объяснены под рисунком. В случае записи под рисунком позиции отделяют друг от друга точкой с запятой, номера позиций отделяют от расшифровок знаком тире.

Пример:

Рисунок 1 – Водозабор руслового типа:

*1 – водоприемник; 2 – самотечные водоводы; 3 – сифонные водоводы;
4 – береговой колодец*

При ссылках на иллюстрации следует писать «... в соответствии с рисунком 1» при сквозной нумерации и «... в соответствии с рисунком 2.1» при нумерации в пределах главы.

19.3.5. Таблицы

Таблицы применяют для лучшей наглядности и удобства сравнения показателей. Наименование таблицы, при его наличии, должно отражать ее содержание, быть точным, кратким. Наименование таблицы следует помещать над таблицей слева, без абзацного отступа в одну строку с ее номером через тире. Таблицу следует располагать непосредственно после текста, в котором она упоминается впервые, или на следующей странице. На все таблицы должны быть ссылки в записке. При ссылке следует писать слово «таблица» с указанием ее номера.

Таблицу с большим числом строк допускается переносить на другой лист (страницу). При переносе части таблицы на другой лист (страницу) слово «Таблица», ее номер и наименование указывают один раз слева над первой ча-

стью таблицы, а над другими частями также слева пишут слова «Продолжение таблицы» и указывают номер таблицы.

Таблицу с большим количеством граф допускается делить на части и помещать одну часть под другой в пределах одной страницы. Если строки и графы таблицы выходят за формат страницы, то в первом случае в каждой части таблицы повторяется головка, во втором случае - боковик. При делении таблицы на части допускается ее головку или боковик заменять соответственно номером граф и строк. При этом нумеруют арабскими цифрами графы и (или) строки первой части таблицы.

Если повторяющийся в разных строках графы таблицы текст состоит из одного слова, то его после первого написания допускается заменять кавычками; если из двух и более слов, то при первом повторении его заменяют словами «То же», а далее - кавычками. Ставить кавычки вместо повторяющихся цифр, марок, знаков, математических и химических символов не допускается. Если цифровые или иные данные в какой-либо строке таблицы не приводят, то в ней ставят прочерк.

Пример:

Таблица _____ - наименование таблицы

Рисунок 19.1 - Пример оформления таблиц

Таблицы, за исключением таблиц приложений, следует нумеровать арабскими цифрами сквозной нумерацией. Допускается нумеровать таблицы в пределах главы. В этом случае номер таблицы состоит из номера главы и порядкового номера таблицы, разделенных точкой. Если в записке одна таблица, то она должна быть обозначена «Таблица 1». Таблицы каждого приложения обозначают отдельной нумерацией арабскими цифрами с добавлением перед цифрой обозначения приложения.

Заголовки граф и строк таблицы следует писать с прописной буквы в единственном числе, а подзаголовки граф - со строчной буквы, если они составляют одно предложение с заголовком, или с прописной буквы, если они имеют самостоятельное значение. В конце заголовков и подзаголовков таблиц точки не ставят.

Таблицы слева, справа и снизу, как правило, ограничивают линиями. Разделять заголовки и подзаголовки боковика и граф диагональными линиями не допускается. Заголовки граф, как правило, записывают параллельно строкам таблицы. Допускается перпендикулярное расположение заголовков граф. Головка таблицы должна быть отделена линией от остальной части таблицы.

19.3.6. Формулы и уравнения

Уравнения и формулы следует выделять из текста в отдельную строку. Формулы набираются во встроенном редакторе формул. Порядок изложения в записке математических уравнений такой же, как и формул. Выше и ниже каждой формулы или уравнения должно быть оставлено не менее одной свободной строки. Если уравнение не умещается в одну строку, то оно должно быть перенесено после знака равенства (=) или после знаков плюс (+), минус (-), умножения (x), деления (:), или других математических знаков, причем знак в начале следующей строки повторяют. При переносе формулы на знаке, символизирующем операцию умножения, применяют знак «х». Переносить на другую строку допускается только самостоятельные члены формулы. Не допускается при переносе разделение показателей степени, выражений в скобках, дробей, а также выражений, относящихся к знакам корня, интеграла, суммы, логарифмических, тригонометрических функций и т.п. В формулах точка или знак умножения не ставится перед буквенным символом, а также перед скобкой и после скобки. В рамку формула не обводится и цветом не выделяется.

Пояснение значений символов и числовых коэффициентов с расшифровкой их размерности следует приводить непосредственно под формулой в той же последовательности, в которой они даны в формуле. Перечень символов располагают с новой строки после слова «где» в виде колонки.

Символ отделяют от расшифровки знаком тире. После расшифровки каждого символа ставят точку с запятой, размерность буквенного обозначения отделяют от текста запятой.

Пример:

$$Q_{эл} = \frac{W_{взв} \cdot \rho_{636}}{c_{636} \cdot T_{636}}, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (1)$$

где $Q_{эл}$ – производительность гидроэлеватора, $\text{м}^3/\text{ч}$;

$W_{взв}$ – объем отложившейся взвеси, м^3 ;

$\rho_{взв}$ – плотность взвеси, $\text{г}/\text{м}^3$;

$c_{взв}$ – концентрация взвеси в откачиваемой пульпе $\text{г}/\text{м}^3$;

$T_{от}$ – расчетное время продолжительности откачки, ч.

После сокращения денежных единиц ставят точку.

Пример: руб., коп.

Формулы в записке следует нумеровать порядковой нумерацией в пределах всей записки арабскими цифрами в круглых скобках в крайнем правом положении на строке. Допускается нумерация формул в пределах главы. В этом случае номер формулы состоит из номера главы и порядкового номера формулы, разделенные точкой, например (3.1).

Одну формулу обозначают - (1). В многострочной формуле номер формулы пишут против последней строки.

Формулы, помещаемые в приложениях, должны нумероваться отдельной нумерацией арабскими цифрами в пределах каждого приложения с добавлением перед каждой цифрой обозначения приложения, например формула (1.1). Ссылки в тексте на порядковые номера формул дают в скобках.

Пример:..... в формуле (1).

19.3.7. Библиографические ссылки

Во всех случаях использования цитат, формулировок, формул, графиков, таблиц, рисунков и др., заимствованных из опубликованных источников, необходима соответствующая ссылка на них. Ссылки на использованные источники следует указывать порядковым номером библиографического описания источника в списке использованных источников. Порядковый номер ссылки заключают в квадратные скобки.

Примеры:

[21], что означает 21-ый источник. Согласно [2]..., в [1] приведено описание работы ..., график работы определяется по формуле (2.1)... Как показано в [3], характеристики имеют вид..., см. рисунок 1.2..., см. таблицу 2.3.

Если текст цитируется не по первоисточнику, а по другому изданию, то ссылку следует начинать со слов «Цит. по...». Когда надо подчеркнуть, что источник, на который делается ссылка, - лишь один из многих, используют слова «См...например...».

При ссылках на стандарты в основном тексте записки указывают только их обозначение, при этом допускается не указывать год их утверждения при наличии полного описания стандарта в списке использованных источников в соответствии с ГОСТ 7.1-2003.

19.4. Пример титульного листа

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования

«Вологодский государственный университет»

«Электроэнергетический факультет»

(наименование факультета)

«Управляющих и вычислительных систем»

(наименование кафедры)

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

Дисциплина: «Электрические машины»

Наименование темы: «Исследование машины постоянного тока»

Шифр работы 140600.06.001

код специальности. регистрационный номер по журналу... год

Руководитель	<u>Колесниченко Дмитрий Александрович, ст. преп.</u> (уч. степень, звание, должность. Ф.И.О)
Выполнил (а) студент	<u>Иванов Иван Иванович</u> (Ф.И.О)
Группа, курс	<u>ЭП-31, 3 курс</u>
Дата сдачи	<u>1 марта 2014 г.</u>
Дата защиты	<u></u>
Оценка по защите	<u></u> (подпись преподавателя)

Вологда
2014

20. ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ ГРАФИКОВ

1. График выполняется на листе того же формата, что и весь отчет, или на листе миллиметровой бумаги формата А4(210x297).
2. При ручном исполнении графики выполняются остро отточенным карандашом.
3. На листе может быть только одна система осей координат. В этой системе для каждой величины имеется своя ось. Все параллельные оси должны быть одинаковой длины и иметь равномерные шкалы по всей оси (кроме шкал $\cos\varphi$ и к.п.д., заканчивающимися отметками 1,0 и 100%). Исключением являются графики с использованием нескольких квадрантов, на которых все шкалы приходится размещать на одной оси.
4. Отметка 0 делается в начале координат.
5. Если на графике имеется несколько осей ординат или абсцисс, начало координат следует размещать в ближайшей к используемому квадранту точке пересечения координатных осей. На поле квадранта никаких осей и цифровых отметок шкал не допускается.
6. Цены делений шкал следует выбирать такими, чтобы кривая занимала по возможности большую часть поля графика. При этом в единице длины шкалы может быть 1, 2, 5, 10 и т.д. единиц откладываемых величин и наоборот.
7. Около последней цифровой пометки шкалы проставляется единица измерения и обозначение откладываемой величины.
8. В полученной системе координат строятся необходимые характеристики. Построение следует вести таким образом, чтобы были видны все опытные точки.
9. Проводить кривую через все точки нет необходимости, так как в опыте всегда имеет место некоторый разброс. Построенная кривая должна быть средней по отношению к имеющимся опытным точкам.
10. Если на графике имеется несколько кривых, возле каждой из них следует поставить соответствующее обозначение. Точки, по которым построены эти кривые, должны быть помечены кружочками, крестиками или иными символами, чтобы было ясно, какие именно точки определяют данную кривую.

Если на графике имеется лишь одна независимая переменная, то обозначать кривые следует без указания аргумента и значка функции.
11. График снабжается порядковым номером, названием характеристик с необходимыми пояснениями и названием работы, к которой он относится.

21. ИНСТРУКЦИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ, ЗАНИМАЮЩИХСЯ В ЛАБОРАТОРИИ «ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ»

Работа в лаборатории электрических машин проводится студентами при напряжениях 110 – 220В постоянного тока и до 400В переменного тока и токах 20 и более ампер, что требует определенной осторожности и безусловного выполнения правил техники безопасности.

1. Каждый студент может выполнять только ту работу, которая назначена преподавателем, соблюдая все указания последнего при сборке схемы и проведении экспериментов.
2. Схема собирается таким образом, чтобы было обеспечено удобство и безопасность работы. Сборка и разборка рабочих схем проводится *только при выключенном напряжении* на входном выключателе стенда.
Запрещается во время работы производить изменения в схемах, находящихся под напряжением.
3. Работа и всякие изменения в схеме могут производиться только с разрешения преподавателя, так же как и приведение в действие установки при вновь собранной или измененной схеме.
4. Категорически запрещается производить включение тех иных источников, питающих лабораторию – это может быть выполнено только преподавателем.
5. Соединение машин в агрегаты и их разъединение может быть выполнено обслуживающим персоналом лаборатории. Запрещается производить работу на машинах без кожухов, закрывающих соединительные полумуфты.
6. В случае аварии на рабочем месте, порчи приборов или оборудования студент обязан отключить установку от источника энергии и сообщить о случившемся преподавателю.
7. Запрещается:
 - прикасаться голыми руками к незащищенным частям рабочей установки, находящейся под напряжением;
 - оставлять без наблюдения работающую или находящуюся под напряжением установку или схему;
 - прикасаться к собранным или работающим установкам, не имеющим отношения к выполняемой студентом работе;
 - оставлять на полу или на машинах неиспользованные проводники;
 - сращивать применяемые проводники.

За выполнение данной инструкции студент несет личную ответственность.

При нарушении инструкции по технике безопасности студент может быть отстранен от работы, а в случае повторного нарушения не допущен к дальнейшей работе в лаборатории.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Основная:

1. Копылов, И.П. Электрические машины: учебник для вузов / И.П. Копылов. – 2-е изд., прераб. – М.: Высш.шк.; Логос, 2000. – 607 с.: ил.
2. Вольдек, А.И. Электрические машины. Введение в электромеханику. Машины постоянного тока и трансформаторы / А. И. Вольдек, В.В. Попов. – СПб.: Питер, 2008. – 320 с.: ил.
3. Вольдек, А.И. Электрические машины. Машины переменного тока / А. И. Вольдек, В.В. Попов. – СПб.: Питер, 2008. – 350 с.: ил.
4. Беспалов, В. Я. Электрические машины: учебник для вузов по направлению подгот. "Электроэнергетика и электротехника" / В. Я. Беспалов, Н. Ф. Котеленец. - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Академия, 2013. - 319, [1] с.: ил.
5. Иванов-Смоленский, А. В. Электрические машины: учебник для вузов: в 2 т. Т. 1 / А. В. Иванов-Смоленский. - 3-е изд., стер. - М.: МЭИ, 2006. - 651, [1] с.: ил.
6. Иванов-Смоленский, А. В. Электрические машины: учебник для вузов: в 2 т. Т. 2 / А. В. Иванов-Смоленский. - 3-е изд., стер. - М.: МЭИ, 2006. - 531, [1] с.: ил.
7. Гольдберг, О.Д. Испытания электрических машин: учебник для вузов по спец. «Электромеханика» / О.Д. Гольдберг.- М.: Высш.шк., 1990. – 255 с.
8. Жерве, Г.К. Промышленные испытания электрических машин: учеб. пособие для вузов / Г.К. Жерве. - Л.: Энергоатомиздат, 1984. - 392с.
9. Гаррис, М. Системы относительных единиц в теории электрических машин: пер. с англ. / М. Гаррис, П. Лауренсон, Дж. Стефенсон. – М.: Энергия, 1975. – 120с.: ил

Дополнительная:

10. Герман-Галкин, С. Г. Электрические машины: лаборатор. работы на ПК / С. Г. Герман-Галкин, Г. А. Кардонов. - СПб.: КОРОНА принт, 2007. - 256 с.: ил.
11. Макаров, Е.Г. Инженерные расчеты в Mathcad 14 (+CD) / Е.Г. Макаров. – СПб.: Питер, 2007. – 592 с.
12. Кетков, Ю.Л. MATLAB7 : программирование, численные методы / Ю.Л. Кетков, А.Ю. Кетков, М.М. Шульц. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 752 с.: ил.
13. Черных, И.В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems, Simulink / И.В. Черных. – М.: ДМК Пресс; СПб.: Питер, 2008. – 288 с.: ил.
14. Черных, И.В. Simulink: среда создания инженерных приложений / И.В. Черных; под общ. ред. к.т.н. В.Г. Потемкина. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2003. – 496 с.
15. Афанасьева, Н. Ю. Вычислительные и экспериментальные методы научного эксперимента: учеб. пособие / Н.Ю. Афанасьева. – М.: КНОРУС, 2010. – 336 с.
16. L-CaRD [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.lcard.ru
17. Маглем: датчики, преобразователи [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.maglem.ru
18. Exponenta.ru [Электронный ресурс]: образовательный математический сайт. – Режим доступа: <http://www.exponenta.ru>

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. ОРГАНИЗАЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА	4
2. ОБОРУДОВАНИЕ, ПРИМЕНЯЕМОЕ ПРИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ	5
2.1. ИЗМЕРЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН	5
2.1.1. Трехфазный мультиметр - Satec	5
2.1.6. Система сбора данных	13
2.2. ИЗМЕРЕНИЕ НЕЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН	20
2.2.1. Измерение скорости вращения	20
2.2.2. Приспособления для нагрузки электродвигателей и способы ее измерения	25
3. ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ	27
4. СИСТЕМА ОТНОСИТЕЛЬНЫХ ЕДИНИЦ	27
5. ИСПЫТАНИЕ ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА	28
5.1. РАБОЧИЕ И МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВИГАТЕЛЯ С НЕЗАВИСИМЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ	28
5.2. ПОСТРОЕНИЯ	30
5.3. РАБОЧИЕ И МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВИГАТЕЛЯ СО СМЕШАННЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ	30
6. ТРЕХФАЗНЫЙ ДВУХОБОМОТОЧНЫЙ ТРАНСФОРМАТОР	31
6.1. ИСПЫТАНИЕ ТРАНСФОРМАТОРА ПО СПОСОБУ ХОЛОСТОГО ХОДА И КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ	31
6.2. ИСПЫТАНИЕ ТРАНСФОРМАТОРА МЕТОДОМ НЕПОСРЕДСТВЕННОЙ НАГРУЗКИ	32
7. ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ РАБОТА ТРЕХФАЗНЫХ ДВУХОБОМОТОЧНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ	33
7.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРУППЫ СОЕДИНЕНИЙ ТРАНСФОРМАТОРА	33
7.2. ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ РАБОТА ДВУХ ТРАНСФОРМАТОРОВ	33
8. ТРЕХФАЗНЫЙ ДВУХОБОМОТОЧНЫЙ ТРАНСФОРМАТОР В НЕСИММЕТРИЧНЫХ РЕЖИМАХ РАБОТЫ	34
8.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ НУЛЕВОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ СТЕРЖНЕВОГО ТРАНСФОРМАТОРА	34
8.2. ОПЫТ ОДНОФАЗНОГО КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ	34
8.3. ОПЫТ ДВУХФАЗНОГО КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ	35
8.4. ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ	35
9. ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ПОДКЛЮЧЕНИИ ТРАНСФОРМАТОРА К СЕТИ И ПРИ НЕСИММЕТРИЧНОЙ РАБОТЕ ТРЕХФАЗНОГО ДВУХОБОМОТОЧНОГО ТРАНСФОРМАТОРА	36
9.1. ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ПОДКЛЮЧЕНИИ ТРАНСФОРМАТОРА К СЕТИ	36
9.2. ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ НЕСИММЕТРИЧНОМ РЕЖИМЕ РАБОТЫ ТРАНСФОРМАТОРА	36
10. АСИНХРОННАЯ МАШИНА С ФАЗНЫМ РОТОРОМ	37
10.1. ИСПЫТАНИЕ МАШИНЫ ПО СПОСОБУ ХОЛОСТОГО ХОДА И КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ	37
10.2. РАБОЧИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ В РЕЖИМЕ ДВИГАТЕЛЯ И ГЕНЕРАТОРА	38
10.3. МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИ ВВЕДЕНИИ В ЦЕПЬ РОТОРА ДОБАВОЧНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ	38
11. АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ	39
11.1. ИСПЫТАНИЕ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ В СИММЕТРИЧНОМ ТРЕХФАЗНОМ РЕЖИМЕ	39
11.2. ИСПЫТАНИЕ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ В НЕСИММЕТРИЧНЫХ РЕЖИМАХ	40
12. ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ПРЯМОМ ПУСКЕ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ	42
12.1. Кривые тока и напряжения при пуске асинхронной машины от сети	42
12.2. Кривые тока и напряжения при отключении асинхронной машины от сети	42
12.3. Кривые тока и напряжения при набросе и сбросе нагрузки на асинхронную машину	42
13. ВНЕШНИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АСИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА, ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ САМОВОЗБУЖДЕНИИ АСИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА	44
13.2. Внешние характеристики асинхронного генератора	44
13.2. Кривые тока и напряжения при возбуждении асинхронного генератора при изменении величины емкости	44

13.3. Кривые тока и напряжения при возбуждении асинхронного генератора и изменении величины скорости вращения	45
14. ТРЕХФАЗНЫЙ СИНХРОННЫЙ ГЕНЕРАТОР	46
14.1. Опытное определение основных параметров	46
14.2. Испытание синхронного генератора методом непосредственной нагрузки при соединении обмотки статора звездой	49
14.3. Вычисления и построения	50
14.4. Расчет токов короткого замыкания	50
15. ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ РАБОТА ТРЕХФАЗНЫХ СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ	51
15.1. Параллельное включение генераторов	51
15.2. Снятие U-образных кривых генератора	51
16. ТРЕХФАЗНЫЙ СИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ	52
16.1. Пуск синхронного двигателя в ход	52
16.2. U – образные кривые синхронного двигателя	52
16.3. Рабочие характеристики двигателя	53
16.4. Определение потерь вспомогательного генератора	53
17. ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ВНЕЗАПНЫХ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЯХ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА	54
17.1. Опыт внезапных коротких замыканий	54
17.2. Подключение синхронного генератора на параллельную работу с сетью	54
18. ПРИМЕР ОБРАБОТКИ	56
18.1. Пример работы в ПО фирмы Л-кард - LGRAPH 2.	56
18.2. Пример обработки данных в математическом пакете	60
19. ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ ОТЧЕТА	62
19.1. Структура работы	62
19.2. Требования к содержанию работы	63
19.3. Правила оформления текстовых документов	64
19.4. Пример титульного листа	71
20. ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ ГРАФИКОВ	72
21. ИНСТРУКЦИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ, ЗАНИМАЮЩИХСЯ В ЛАБОРАТОРИИ «ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ»	73
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	74

Учебное издание

Евгений Валерьянович Несговоров
Дмитрий Александрович Колесниченко

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ
Лабораторный практикум

Редактор Куликова И.Т.

Подписано в печать 6.03.2014 г.
Формат 60х90/16. Бумага офисная.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 4,45.
Тираж экз. Заказ .

Отпечатано: РИО ВоГУ
160000, г. Вологда, ул. Ленина, 15.