

Министерство образования и науки Украины
Севастопольский национальный технический
университет



МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к лабораторным работам № 6÷9

по дисциплинам

СУДОВЫЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И ИХ ЭКСПЛУАТАЦИЯ

и

СУДОВЫЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

для студентов и магистрантов специальностей
7.092201, 8.092201 - Электрические системы и
комплексы транспортных средств
7.092203, 8.092203 - Электромеханические
системы автоматики и электропривод

всех форм обучения
часть 2

Севастополь
2006

УДК 629.12.03(07)
М545

Методические указания к лабораторным работам №6÷9
по дисциплинам «Судовые электроэнергетические системы и их эксплуатация» и «Судовые электроэнергетические системы» для студентов специальностей 7.092201, 7.092203 и магистрантов специальностей 8.092201, 8.092203 всех форм обучения / Разраб. С.А. Конева А.В. Конев – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2006.-32 с.

Цель методических указаний: оказать помощь студентам всех форм обучения при выполнении **лабораторных работ** по дисциплинам «Судовые электроэнергетические системы и их эксплуатация», «Судовые электроэнергетические системы »

Методические указания утверждены на заседании кафедры «Судовые и промышленные электромеханические системы», протокол № 7 от 17 мая 2006 г.

Допущено учебно - методическим центром СевНТУ в качестве методических указаний.

Рецензент: канд. техн., наук, доцент Шоцкий А.Н.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1. Лабораторная работа № 6	6
Исследование параллельной работы синхронных генераторов судовой электростанции	
2. Лабораторная работа № 7	13
Исследование переходных процессов в электроэнергетической системе при различных способах синхронизации судовых синхронных генераторов	
3. Лабораторная работа № 8	20
Исследование режима короткого замыкания в СЭС с автономно работающим синхронным генератором	
4. Лабораторная работа № 9	24
Исследование переходных процессов в динамических режимах работы СЭС	
Библиографический список	31

ВВЕДЕНИЕ

Настоящее методическое указание предназначено в качестве учебного пособия для выполнения лабораторных работ по курсу «Судовые электроэнергетические системы и их эксплуатация».

Целью лабораторных работ является исследование статических и динамических режимов судовых электроэнергетических установок и их автоматики.

Содержание лабораторных работ включает вопросы, связанные с изучением режимов работы судовых генераторов переменного тока и их систем автоматического регулирования; исследование влияния параметров генераторов, систем возбуждения и асинхронной нагрузки при их параллельной работе, исследование переходных процессов в судовой электроэнергетической системе (СЭС) при различных способах синхронизации судовых синхронных генераторов.

Кроме того, рассматриваются вопросы исследования переходных процессов в динамических режимах работы СЭС, а так же изучение современных способов испытания электрооборудования и автоматики судовых электростанций.

Выполнение лабораторных работ должно закрепить знания, полученные при изучении теоретического курса, развить навыки экспериментального исследования, дать представления о методах наладки, настройки и эксплуатации электрооборудования судовой электростанции

Лабораторные работы выполняются бригадой студентов не более 3-4 человек. До выполнения лабораторных работ, проводится контрольная провер-

ка подготовки студентов с использованием технических средств обучения.

Задание на лабораторную работу включает, помимо вопросов, входящих в обязательную программу, вопросы, связанные с подготовкой и проведением самостоятельного исследования отдельных режимов работы электрооборудования СЭС.

По окончании каждой лабораторной работы оформляется отчет в виде протокола испытаний. В отчете должны быть отражены следующие материалы:

1. Основные технические данные используемого электрооборудования и измерительных приборов.
2. Принципиальные схемы, по которым проводились исследования.
3. Результаты исследования (графики зависимостей, таблицы исследований и т.п.).
4. Анализ полученных результатов.
5. Расчеты отдельных режимов и сопоставления их с результатами испытаний.
6. Общие выводы по лабораторной работе.
7. Библиографический список.

Защита лабораторных работ производится бригадой, выполнявшей работы, с индивидуальным опросом каждого студента.

До начала выполнения лабораторных работ, каждый студент обязан пройти инструктаж по технике безопасности с учетом особенностей электрооборудования лаборатории судовых электроэнергетических систем.

1. Лабораторная работа №6

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ СУДОВОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

1. Цель работы

Целью лабораторной работы является ознакомление с физической моделью электроэнергетической системы, изучение ее элементов и экспериментальное исследование параллельной работы синхронных генераторов при различных системах возбуждения и регулирования.

2. Теоретическая часть

Судовая электростанция переменного тока, как правило, состоит из нескольких синхронных генераторов. Схема же судовой электростанции предусматривает как автономную, так и параллельную работу СГ. В результате повышается надежность и живучесть, как системы генерирования электроэнергии, так и системы электропитания потребителей. Включение на параллельную работу синхронных генераторов может быть осуществлено при проведении соответствующей синхронизации системы.

При точной синхронизации генераторов необходимо выполнить следующие условия:

- а) сборные шины судовой электростанции и шины подключаемого генератора должны иметь одинаковый порядок чередования фаз $A_1-B_1-C_1$ и $A_2-B_2-C_2$;
- б) равенство напряжений на сборных шинах и подключаемом синхронном генераторе;
- в) равенство частот напряжений на сборных шинах и подключаемом синхронном генераторе;

г) угол между одноименными фазами по возможности должен быть равен нулю.

По различным причинам условия точной синхронизации не всегда удается выполнить. Поэтому синхронизация происходит при некотором отклонении от идеальных условий. При этом, в каждом отдельном случае, исходя из конкретных условий, учитывается то, чтобы в элементах системы не возникли недопустимые уравнительные токи, а также не появились значительные затруднения при вхождении в синхронизм генератора.

Важным требованием, предъявляемым к генераторным агрегатам судовой электростанции, является и требование пропорционального распределения с заданной точностью активных и реактивных нагрузок между параллельно работающими синхронными генераторами. Выполнение этого требования обеспечивает равномерную загрузку синхронных генераторов, исключает уравнительный ток между генераторами и повышает устойчивость параллельной работы агрегатов.

По правилам Регистра неравномерность распределения нагрузок между синхронными генераторами не должна превышать от +2% до +10% номинальной мощности наименьшего генератора при изменении режима работы от холостого хода до номинального.

Неравномерность распределения как реактивных, так и активных нагрузок определяется соответственно различными внешними и механическими характеристиками генератора и первичного двигателя. Очевидно, что для пропорционального распределения нагрузок между параллельно работающими генераторами необходимо, чтобы:

а) СГ большей мощности имел характеристики с

меньшим статизмом и, наоборот, СГ меньшей мощности - с большим статизмом;

б) СГ одинаковой мощности должны иметь совпадающие характеристики регулирования.

Отметим, что по обмоткам статоров синхронных генераторов при равномерной их загрузке активной и реактивной мощностью будет протекать одинаковый ток $I_1 = I_2$. Если по каким либо причинам э.д.с., например первого СГ станет больше э.д.с. второго СГ на величину ΔE , то в обмотках статоров будет протекать уравнильный ток $I_{ур}$ который будет индуктивным для первого и емкостным для второго генератора, это и определит неравномерную реактивную загрузку генераторов. Уравнильные токи в генераторах создадут соответствующие размагничивающую и намагничивающую реакции статора, что приведет к размагничиванию первого и подмагничиванию второго генератора. В результате произойдет выравнивание токов генераторов.

Такой процесс характерен для СГ с системами возбуждения, не имеющими обратной связи по току статора. Для СГ, имеющих системы компаундирования, картина распределения реактивных нагрузок иная. Так, увеличение тока статора первого генератора вызывает увеличение тока возбуждения, а у второго генератора происходит уменьшение тока возбуждения. Поэтому системы компаундирования обуславливают неравномерное распределение реактивных нагрузок между СГ, работающими параллельно.

Для уменьшения реактивных уравнильных токов, возникающих между СГ, снабженными системами компаундирования, при параллельной работе применяют уравнильные связи или блоки параллельной работы.

Для систем компаундирования без коррекции напряжения обычно применяют уравнивательные связи на стороне постоянного тока. На рисунке 1.1 представлена принципиальная схема физической модели СЭЭС. В состав системы входят два генераторных агрегата ПД-СГ, два нагрузочных агрегата АД-Г, щит управления, комплекс коммутационной, пусковой, защитной, установочной, регулирующей и измерительной аппаратуры.

Генераторные агрегаты состоят из СГ типа ЕССМ-62 $P_H=12\text{кВт}$, $U_H=230\text{В}$, $n_H=1500\text{об/мин}$, $\cos\varphi=0,8$ и приводного двигателя типа П-61М $P_H=12\text{кВт}$, $U_H=220\text{В}$, $n_H=1500\text{ об/мин}$. Связь машин жесткая. СГ имеют две системы возбуждения.

Нагрузочные агрегаты состоят из приводного асинхронного двигателя 380АО 51/4 $P_H=4,5\text{кВт}$, $U_H=220\text{В}$, $n_H=1440\text{об/мин}$. и ГПТ типа П-51М $P_H=7,4\text{кВт}$, $U_H=230\text{В}$, $n_H=1500\text{об/мин}$. Нагрузкой ГПТ является система резисторов.

3. Программа работы

1. Ознакомление с физической моделью электро-энергетической системы и изучение ее элементов.

2. Экспериментальное исследование параллельной работы синхронных генераторов при различных системах возбуждения и регулирования.

3. Обработка результатов исследования и оформление отчета.

4. Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с моделью ЭЭС и составить ее структурную схему, изучить назначение и порядок оперативных коммутаций всех элементов СЭС.

2. Проверить, чтобы все рукоятки, переключатели и автоматы находились в положении “выкл”, а переключатель системы возбуждения стоял в положении “самовозбуждение”.

3. Подготовить электростанцию к работе и произвести настройку ее элементов. Для чего:

а) автоматом АПД подать питание на приводной двигатель (ПД), нажав кнопку “пуск”;

б) регулятором Ррпд., действуя на ток возбуждения ПД добиться, чтобы частота напряжения стала 50 Гц, а регулятором Рр.сг. добиться, чтобы напряжение генератора U_g стало 230В. Данные контролировать по приборам ($U_{сг}$, f).

в) подать напряжение на шины с помощью генераторного автомата (ГА).

4. Снять и построить внешние характеристики каждого синхронного генератора. Для этого кнопкой “пуск” необходимо включить асинхронный двигатель (АД), а тем самым и генератор постоянного тока, находящийся на одном валу с АД. Регулятором Ррг выставить напряжение генератора $U=230В$. Далее, постепенно нагружать ГПТ, подавая нагрузку с помощью автоматов Ан. Снять значения напряжений U_g и тока нагрузки I_n .

5. Синхронизировать генераторы и с помощью автомата АПВ включить их на параллельную работу. Нагрузить один из СГ и проверить распределение нагрузки между генераторами, снять внешние характеристики, затем произвести перевод нагрузки с одного СГ на другой.

6. Оценить режимы параллельной работы СГ при:

а) изменении возбуждения одного из СГ;

б) изменении вращающего момента одного из приводных двигателей;

в) выходе из строя (отключении) одного из при-

водных двигателей СГ (п.4 выполнять под руководством преподавателя).

7). Исследовать параллельную работу СГ независимого возбуждения:

- а) снять внешние характеристики каждого генератора;
- б) включить СГ на параллельную работу, нагрузить их и проверить распределение нагрузки между СГ;
- в) снять внешние характеристики и произвести перевод нагрузки с одного СГ на другой;
- г) оценить режимы параллельной работы при изменении возбуждения одного из синхронных генераторов;
- д) определить точность распределения реактивной нагрузки между параллельно работающими генераторами при наличии уравнивающих связей по постоянному току.

5. Обработка результатов исследований

Обработка результатов исследований приводится в отчете, который должен содержать:

1. Структурную схему модели электроэнергетической системы с указанием технических данных генераторных агрегатов, коммутационной и защитной аппаратуры, электроизмерительных приборов.
2. Таблицы всех измерений и наблюдений.
3. Внешние характеристики во всех режимах работы.
4. Описание физических процессов, сопровождающих различные режимы работы СГ.
5. Анализ полученных результатов исследований с рекомендациями эффективного метода распределения нагрузки между параллельно работающими генераторами, а также с оценкой устойчивости их работы.

Выполнение и оформление результатов лабораторной работы рассчитано на 4 часа.

2. Лабораторная работа № 7

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБАХ СИНХРОНИЗАЦИИ СУДОВЫХ СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ

1. Цель работы

Целью лабораторной работы является ознакомление с физической моделью электроэнергетической системы и экспериментальное исследование методов синхронизации судовых синхронных генераторов.

Теоретическая часть

В судовых электроэнергетических системах находят применение три способа синхронизации генераторов: точная синхронизация, грубая синхронизация и самосинхронизация.

Каждый из способов синхронизации можно выполнить вручную или автоматически с помощью унифицированных устройств.

Основными требованиями, предъявляемыми к любому из методов синхронизации, являются:

- возможно меньшее время на проведение операции по включению СГ на параллельную работу;
- обеспечить при минимальном провале напряжения на сборных шинах, минимальный бросок уравнительного тока, который может вызвать опасные механические и термические воздействия в момент включения СГ.

Точная синхронизация

Для включения СГ на параллельную работу методом точной синхронизации, необходимо выполнить следующие условия:

а) сборные шины судовой электростанции и подключаемый СГ должны иметь одинаковый порядок чередования фаз;

б) равенство напряжений на сборных шинах и подключаемом СГ;

в) равенство частот напряжений на сборных шинах и подключаемом генераторе;

г) угол рассогласования между напряжениями (э.д.с.) одноименных фаз должен быть равен нулю.

По ряду причин, выдержать требования точной синхронизации не всегда возможно. Поэтому синхронизация, обычно, происходит при некотором отклонении от идеальных условий. В результате возникает уравнительный ток, амплитуда которого, например, при синхронизации двух СГ, определится по выражению

$$i''_{yp} = \frac{k_y 2\sqrt{2} E''_d}{x''_{d1} + x''_{d2} + x_\delta} \sin \frac{\delta}{2}, \quad (2.1)$$

где E''_d - э.д.с. СГ в сверхпереходном режиме, В; k_y - ударный коэффициент; x''_{d1}, x''_{d2} - сверхпереходные индуктивные сопротивления СГ, Ом; x_δ - эквивалентное индуктивное сопротивление элементов, связывающих синхронные генераторы, δ - угол сдвига между э.д.с. одноименных фаз генераторов.

На процесс точной синхронизации оказывает влияние величина угловой скорости скольжения. Поэтому, учитывая время включения автомата (0,05...0,3) с. угловая скорость скольжения выбирается (0,5...1,5%). При большей величине скольжения, как правило, возникают недопустимые силы токов, что затрудняет вхождение СГ в синхронизм.

Точная синхронизация производится следующим образом:

а) запускается СГ и его частота доводится до синхронной (изменяя частоту вращения приводного двигателя СГ реостатом R1);

б) одновременно, регулируя ток возбуждения СГ реостатом R3, добиваются равенства напряжений;

в) контролируя процесс синхронизации по синхроноскопу, в момент выполнения условий, замыкают автомат АПВ, подключая СГ на параллельную работу.

Точная автоматическая синхронизация улучшает процесс синхронизации СГ и исключает ошибочные операции обслуживающего персонала.

Грубая синхронизация

Метод грубой синхронизации применяется в тех случаях, когда время включения СГ на сборные шины ГРЩ играет решающую роль и нагрузка на судовой электростанции переменная, например, погрузочно-разгрузочные работы. При этом провал напряжения может достигать 20% от номинального и бросок тока 2...2,5 кратного значения по отношению к номинальному току генератора. Ручная грубая синхронизация осуществляется следующим образом.

Запускают СГ в ход и приближенно уравнивают частоты и напряжения подключаемого СГ к сети. Затем, замыкая контактор, подключают СГ на параллельную работу через реактор Хр, а после уменьшения броска тока и снижения колебания напряжения, замыкая автомат, шунтируют реактор.

Бросок уравнивающего тока определяется из выражения

$$i''_{yp} = \frac{k_y 2\sqrt{2}E_d''}{x''_{d1} + x''_{d2} + x_\vartheta + x_p} \sin \frac{\vartheta}{2}. \quad (2.2)$$

Самосинхронизация

Включение СГ на параллельную работу методом самосинхронизации выполняется в следующем порядке:

а) СГ, подключаемый на параллельную работу, предварительно разгоняется до частоты вращения, близкой к синхронной и без возбуждения включается на шины ГРЩ;

б) после уменьшения броска пускового тока в обмотку возбуждения подается постоянный ток и СГ автоматически втягивается в синхронизм. Если и в момент включения СГ на параллельную работу на СЭЭС работал один СГ, то бросок пускового тока можно определить по выражению

$$i''_{yp} = \frac{k_y \sqrt{2}E_d''}{x''_{d1} + x''_{d2} + x_\vartheta}, \quad (2.3)$$

который, как правило, достигает 5-7 кратного значения от номинального тока генератора. Такие токи вызывают значительные провалы напряжения, что и ограничивает применение метода самосинхронизации.

На рисунке 2.1 представлена принципиальная схема физической модели электроэнергетической системы.

В состав системы входят: два генераторных агрегата СГ- ПД, два реактора Хр, два нагрузочных агрегата АД- ГПТ- Рн, система УСГ-1П, комплекс коммутационной, пусковой, защитной, регулирующей и измерительной аппаратуры.

Генераторные агрегаты состоят из СГ типа СГС, $R_H=6,25\text{ кВт}$, $U_H=230\text{ В}$, $n_H=1500\text{ об/мин.}$, $\cos\varphi=0,8$ и приводных электродвигателей ПН-85, $R_H=3,9\text{ кВт}$, $U_H=110\text{ В}$, $n_H=1500\text{ об/мин.}$

Нагрузочные агрегаты состоят из приводных асинхронных двигателей РВ-2-4П, $R_H=2,2\text{ кВт}$, $U_H=220\text{ В}$, $n_H=1480\text{ об/мин}$ и ГПТ типа П-41М $R_H=3,9\text{ кВт}$, $U_H=230\text{ В}$, $n_H=1500\text{ об/мин.}$ Нагрузкой ГПТ являются системы резисторов Рн.

4. Программа работы

1. Ознакомление с физической моделью электроэнергетической системы, изучение ее элементов и аппаратуры.

2. Экспериментальное исследование методов синхронизации генераторных агрегатов.

3. Обработка результатов исследования и оформление отчета.

5. Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться со схемой физической модели электроэнергетической системы, изучив назначение всех элементов системы и оперативные коммутации для набора схем исследования и составить структурную схему системы.

2. Исследовать процесс точной синхронизации СГ и его втягивания в синхронизм.

Опыт производится при различных сопротивлениях реактора.

3. Исследовать процесс синхронизации СГ и его втягивания в синхронизм. При этом определяются изменения напряжения и токов генератора.

4. Исследовать процесс точной автоматической синхронизации СГ и его втягивание в синхронизм.

6. Обработка результатов исследования

Обработка результатов исследований приводится в отчете, который должен содержать:

1. Структурную схему физической модели электроэнергетической системы и возможные режимы ее работы.

2. Сравнительную оценку способов синхронизации по следующим показателям:

- а) отклонение напряжения;
- б) первоначальный бросок тока статора генератора;
- в) ток возбуждения;
- г) время втягивания в синхронизм СГ.

3. Результаты расчета напряжения и тока в различных методах синхронизации и сравнение их с опытными данными.

4. Анализ влияния системы возбуждения СГ на переходный процесс при синхронизации генераторов.

Выполнение и оформление результатов лабораторной работы рассчитано на 4 часа.

3. Лабораторная работа №8

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМА КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В СЭС С АВТОНОМНО РАБОТАЮЩИМ СИНХРОННЫМ ГЕНЕРАТОРОМ

1. Цель работы

Ознакомление с физической моделью СЭС и исследование режимов короткого замыкания.

2. Предварительные замечания

Короткое замыкание (КЗ) является аварийным режимом работы для судовой электроэнергетической системы. Наиболее тяжелым является режим трехфазного короткого замыкания. Такой режим характеризуется значительными величинами токов, как в обмотках статора генератора, так и во всей цепи короткого замыкания. Величина тока КЗ зависит не только от параметров синхронного генератора и сопротивления цепи КЗ, а также от момента возникновения короткого замыкания. При внезапном КЗ резко снижается напряжение на сборных шинах судовой электростанции. При этом асинхронные электродвигатели могут перейти в генераторный режим и стать дополнительным источником питания точки короткого замыкания. Сила тока подпитки от асинхронных электродвигателей зависит не только от их мощности, но и от величины остаточного напряжения на клеммах электродвигателей в момент короткого замыкания.

Элементы электрооборудования СЭС, в частности, токопроводы и аппараты защиты, испытывая значительные воздействия тока КЗ, должны обладать достаточной термической и динамической устойчивостью. Поэтому необходимо обеспечить требуемое значение как ударного, так и установившегося тока КЗ. Величина ударного тока КЗ не зависит от типа системы возбуждения и наличия системы стабилизации напряжения. Установившийся ток КЗ, обес-

печивается системой возбуждения и на его величину оказывает влияние и система стабилизации напряжения. Так, при работе системы фазового компаундирования с индуктивным компаундирующим элементом наблюдается уменьшение, а с емкостным компаундирующим элементом – увеличение установившегося тока КЗ. На рисунке 3.1 представлена принципиальная схема электроэнергетической системы. В состав системы входят: генераторный агрегат М – GS, два асинхронных электродвигателя М1 и М2, система фазового компаундирования ТК и щит управления с комплектом аппаратуры.

Генераторный агрегат состоит из СГ $P_H=12,5\text{кВт}$, $U_H=230\text{В}$, $n_H=1500\text{об/мин}$, $\cos\varphi=0,8$ и приводного двигателя типа А-70 $P_H=20\text{кВт}$, $U_H=380\text{В}$, $n_H=1460\text{ об/мин}$. Связь машин жесткая. СГ имеют две системы возбуждения. Асинхронный двигатель АД1 $P_H=4,5\text{кВт}$, $U_H=220/380\text{В}$ и АД2 $P_H=2,2\text{кВт}$, $U_H=220\text{В}$.

Система предусматривает работу как при независимом возбуждении, так и с системой фазового компаундирования.

3. Программа работы

1. Ознакомление с физической моделью СЭС.
2. Экспериментальное исследование режимов короткого замыкания системы.
3. Аналитическое определение тока КЗ системы
4. Обработка результатов и оформление отчета.

4. Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с физической моделью системы и составить ее структурную схему, изучить назначение и порядок оперативных коммутаций всех элементов СЭС.
2. Установить влияние типов системы возбуждения СГ на ударный и установившийся токи короткого замыкания.

Для этого произвести осциллографирование процесса КЗ при независимом возбуждении СГ и при работе системы фазового компаундирования с двумя типами (L,C) компаундирующего элемента.

3. Определить влияние тока подпитки асинхронных электродвигателей разной мощности на величину ударного тока короткого замыкания.

4. Для расчета ТКЗ при работе системы фазового компаундирования снять:

а) характеристику короткого замыкания СГ $i_{\theta} = f(I_{\text{КЗ}})$ с обоими типами компаундирующего элемента;

б) характеристику холостого хода трехобмоточного трансформатора, определить коэффициенты выпрямления выпрямителя по току и напряжению.

5. Расчетным путем определить ударный и установившийся ток КЗ. Сравнить их со значениями, полученными опытным путем при независимом возбуждении СГ и при работе системы фазового компаундирования.

5. Обработка результатов исследований

Обработка результатов исследований приводится в отчете, который должен содержать:

1. Структурную схему физической модели СЭС с указанием мест подключений осциллографа.

2. Обработанные осциллограммы процессов КЗ и сводную таблицу результатов осциллографирования.

3. Расчет ударного тока короткого замыкания с учетом тока подпитки от асинхронных двигателей.

4. Расчет установившегося тока короткого замыкания при независимом возбуждении СГ и при работе системы фазового компаундирования.

5. Общие выводы по выполненному эксперименту.

Выполнение и оформление результатов лабораторной работы рассчитано на 4 часа.

4. Лабораторная работа №9

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ДИНАМИЧЕСКИХ РЕЖИМАХ РАБОТЫ СЭС

1. Цель работы

Исследование переходных процессов в эксплуатационных режимах работы СЭС и на основании эксперимента оценить работу генераторов и системы стабилизации напряжения. Принципиальные схемы физических моделей судовых электроэнергетических систем изображены на рисунках 1.1 и 2.1

2. Теоретическая часть

Во всех эксплуатационных режимах работы СЭС имеют место статические и динамические изменения нагрузки, которые сопровождаются переходными процессами от одного энергетического состояния к другому. При этом любое изменение нагрузки вызывает отклонение напряжения генератора.

Наиболее значительные колебания напряжения имеют место при динамических нагрузках - набросе и сбросе нагрузки. При набросе нагрузки напряжение генератора уменьшается, а при сбросе - увеличивается. Величина и длительность этих колебаний напряжения может быть связана с нормальной работой, как отдельных потребителей, так и всей электроэнергетической системы.

Правилами Морского Регистра установлено, что в переходных режимах или набросе на ГА 100% нагрузки, провал напряжения не должен превышать

$$\Delta U_{\max} = \pm 20 \% U_H, \quad (4.1.)$$

а напряжение должно восстанавливаться до номинального значения U_H за 1,5 секунды с точностью $\pm 2,5\% U_H$.

Наиболее характерным примером внезапного наброса симметричной нагрузки для судовой электростанции является подключение к ее шинам асинхронного короткозамкнутого двигателя с мощностью, соизмеримой с мощностью параллельно работающих генераторов.

Переходный процесс при внезапном набросе нагрузки в определенной мере напоминает переходный процесс при симметричном коротком замыкании, но протекает с существенно меньшими токами во всех обмотках генератора. Кроме того, при вычислении провалов действующего значения напряжения можно не учитывать наличие сверхпереходного режима из-за его кратковременности, т.е. расчет начинать исходя из схемы замещения генератора для переходного режима, переходя потом к схеме для установившегося режима. В целях упрощения расчетов обычно принимают, что генератор до пуска двигателя работал холостую, а пусковой ток электродвигателя чисто реактивный.

Напряжение на зажимах синхронного генератора в начальный момент включения электродвигателя может быть выражено как

$$U_{\text{нач}} = E'_d - I_{\text{д.п.}} x'_d, \quad (4.2)$$

где E'_d - переходная э.д.с. генератора; $I_{\text{д.п.}}$ - пусковой ток двигателя; x'_d - переходная продольная синхронная реактивность генератора. Переходная э.д.с. E'_d генератора остается неизменной в начальный момент внезапного нарушения режима: $E'_d = U_{\text{х.х.}}$, т.е. будет равна напряжению генератора при холостом ходе. Отсюда следует, что при включении двигателя напряжение $U_{\text{нач}}$ будет меньше напряжения генератора $U_{\text{х.х.}}$ при холостом ходе и это изменение произойдет скачком.

Если учесть, что пусковой ток электродвигателя

$$I_{\text{д.п.}} = \frac{E'_d}{x'_d + x_{\text{д.п.}}} ,$$

то

$$U_{\text{нач}} = \frac{x_{\text{д.п.}}}{x'_d + x_{\text{д.п.}}} E'_d = \frac{x_{\text{д.п.}}}{x'_d + x_{\text{д.п.}}} U_{\text{х.х.}}, \quad (4.3)$$

где x_d - реактивное сопротивление генератора; $x_{\text{д.п.}}$ - реактивное сопротивление асинхронного двигателя.

В дальнейшем в процессе протекания переходного процесса реактивное сопротивление генератора будет возрасти от x'_d до x_d , что при отсутствии регулирования тока возбуждения генератора приведет к снижению напряжения до значения

$$U_{\text{ном}} = \frac{x_{\text{д.п.}}}{x_d + x_{\text{д.п.}}} E_d = \frac{x_{\text{д.п.}}}{x'_d + x_{\text{д.п.}}} U_{\text{х.х.}} .$$

Сопротивление электродвигателя $x_{\text{д.п.}}$ можно считать постоянным, так как за время переходных процессов его изменение будет несущественным. Можно считать, что напряжение при этом изменяется по экспоненциальному закону

$$U = U_{\text{кон}} + (U_{\text{нач}} - U_{\text{кон}}) e^{-t/\tau'_d} , \quad (4.4)$$

где $\tau'_d = \frac{L_{\text{в}}}{R_{\text{в}}} \frac{x'_d + x_{\text{дп}}}{x_d + x_{\text{дп}}}$ - постоянная времени обмотки

возбуждения при пуске двигателя; $L_{\text{в}}, R_{\text{в}}$ - соответственно индуктивность и сопротивление обмотки возбуждения.

Так как судовые синхронные генераторы не имеют возбудителей, а выполняются с системой самовозбуждения и амплитудно-фазовым компаундированием или с электронной системой возбуждения, то напряжение на

обмотке возбуждения после включения двигателя быстро нарастает. Напряжение генератора U сразу после мгновенного скачка до $U_{\text{нач}}$ начнет быстро возрастать.

Следовательно, можно считать, что минимальное значение напряжения у таких генераторов при пуске асинхронных двигателей имеет место в начале пуска и равно начальному значению напряжения $U_{\min} = U_{\text{нач}}$. Тогда наибольший провал напряжения

$$\varepsilon_{\max} = \frac{\Delta U_{\max}}{U_{\text{ном}}} 100\% = \frac{U_{\text{ном}} - U_{\text{нач}}}{U_{\text{ном}}} 100\%.$$

Если принять $U_{\text{х.х.}} = U_{\text{ном}}$, то, учитывая (4.3), получим

$$\varepsilon_{\max} = \frac{x'_d}{x_d + x_{\text{дп}}} 100\% \quad (4.5)$$

3. Программа работы

1. Ознакомление с экспериментальной установкой.
2. Аналитическое исследование переходного процесса при набросе нагрузки на СГ.
3. Экспериментальное исследование переходных процессов при динамическом изменении нагрузки СГ.
4. Обработка результатов исследования и оформление отчета.

4. Порядок выполнения работы

Ознакомиться с оборудованием и схемой физической модели электроэнергетической системы, изучив назначение и работу всех звеньев системы, составить принципиальную схему наброса и сброса активной

нагрузки и схему прямого пуска асинхронного электродвигателя.

Аналитическое исследование. Для этого, в соответствии со схемой пуска АД, составляют расчетную схему (рисунок 4.1) и определяют параметры. При этом пусковое сопротивление двигателя $x_{дп}$ можно определить по выражению

$$x_{дп} = \frac{S_{Г}}{k_{П} S_{ДВ}} \left(\frac{U_{ДВ}}{U_{Г}} \right)^2, \quad (4.6)$$

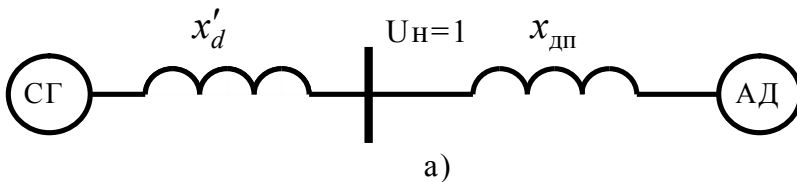
где $S_{Г}, S_{ДВ}$ полные мощности СГ и АД соответственно, кВА; $k_{П} = \frac{I_{П}}{I_{Н}}$ - коэффициент кратности пускового тока, $U_{Г}, U_{ДВ}$ - номинальные напряжения генератора и двигателя.

Если пуск АД производится от двух СГ, то их параметры приводятся к эквивалентному значению по выражению

$$n = \frac{n_1 n_1 P_{1д} + n_2 n_2 P_{2д}}{n_1 P_{1д} + n_2 P_{2д}}, \quad (4.7)$$

где $П, П_1, П_2$ - соответствующие параметры; n_1, n_2 - число однотипных генераторов; $P_{1Г}, P_{2Г}$ - активная мощность соответствующих генераторов, кВт.

Примечание - Расчетный режим устанавливается преподавателем.



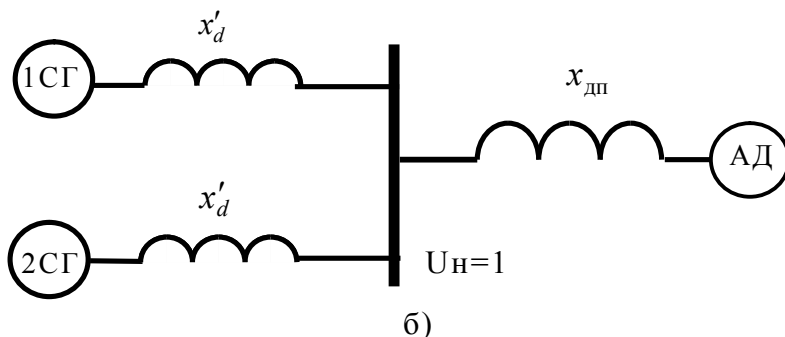


Рисунок 4.1– Схема физической модели электроэнергетической системы при прямом пуске асинхронного электродвигателя.

Находят

$$U_{\min} = \frac{x_{\text{дп}}}{x'_d + x_{\text{дп}}} \quad (4.8)$$

и определяют провал напряжения

$$\Delta U_{\max} = 1 - U_{\min}. \quad (4.9)$$

Для построения кривой $U_t = f(t)$ определяют установившееся напряжение U_y в конце пуска АД

$$U_y = \frac{\tau'_{d0}}{U_{\min} \tau'_d} k_f, \quad (4.10)$$

где τ'_{d0} - постоянная времени ОВ СГ при разомкнутой об-

мотке статора; $\tau'_d = \tau'_{d0} \frac{x'_d + x_{\text{дп}}}{x_d + x_{\text{дп}}}$ - постоянная времени ОВ

СГ при замкнутой обмотке статора; k_f - коэффициент форсировки возбуждения, выбираемый из условий

$$k_f = 1,05 \div 1,1 \quad \text{при } \tau'_{d0} = 0,5 \div 1 \text{ с};$$

$$k_f = 1,2 \div 1,5 \quad \text{при } \tau'_{d0} = 1 \div 2 \text{ с};$$

$$k_f = 1,6 \div 1,8 \quad \text{при } \tau'_{d0} > 2 \text{ с}.$$

Определяют текущие значения напряжения по выражению

$$U_t = U_{\min} \left[U_y \frac{\tau'_d}{\tau'_{d0}} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau'_d}} \right) + E'_{d0} e^{-\frac{t}{\tau'_d}} \right], \quad (4.11)$$

где $E'_{d0} = 1$ при работе СГ вхолостую.

Задавая интервалы времени $t=0; 0,01; 0,015; 0,02; 0,025; 0,03$ с и далее через 0,05с определяют и строят кривую $U_t = f(t)$. При достижении $U_t = 0,97U_H$ процесс считается установившимся.

5. Экспериментальное исследование

1) Осциллографируется процесс прямого пуска асинхронного электродвигателя и фиксируются начальные и конечные показания измерительных приборов;

2) Осциллографируется процессы наброса и сброса активной нагрузки при двух значениях: 50% и 100%, и в обоих случаях, фиксируются начальные и конечные значения регистрирующих приборов.

6. Обработка результатов исследований

Обработка результатов исследований приводится в отчете, который должен содержать:

1. Принципиальную схему установки исследуемых режимов с указанием мест подключений осциллографа.

2. Обработанные осциллограммы.

3. Таблицы величин, фиксируемых измерительными приборами и показаний, снятых с обработанных осциллограмм, которые характеризуют переходные процессы.

4. Сравнительную оценку расчетных и экспериментальных данных по следующим показателям:

- а) отклонение напряжения СГ;
- б) первоначальный бросок тока статора СГ и его тока возбуждения;
- в) время восстановления напряжения.

5. Общая характеристика переходных режимов и влияние набрасываемой нагрузки на переходные процессы.

Выполнение и оформление результатов лабораторной работы рассчитано на 4 часа.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Баранов А.П. Судовые автоматизированные электро-энергетические системы / А.П. Баранов: Учебник для вузов. – М.: Транспорт, 1988. – 328 с.
2. Воскобович В.Ю. Электроэнергетические установки и силовая электроника транспортных средств /В.Ю. Воскобович, Т.Н. Корнилова, В.А. Павлова.- СПб.: «Элмор», 2001.– 384 с.
3. Куликов Ю.А. Переходные процессы в электрических системах/ Ю.А. Куликов. – М.: Мир, 2003. - 283 с.
4. Правила классификации и постройки морских судов. Морской Регистр судоходства.– СПб.: Регистр РФ, 2001. – 843 с.

Заказ № _____ от « ____ » _____ 2006 Тираж _____ экз.
Изд-во СевНТУ