МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ ДЛЯ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ КАПИТАЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

Практикум
(лабораторный)

Казань 2020

УДК 621.311
ББК 31.2
И27

И27 **Электромеханические переходные процессы для выбора оптимальных технических решений при проектировании систем электроснабжения капитального строительства:** Практикум (лабораторный) / Сост.: Р.У. Галеева. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2020. – 32 с.

Представлены варианты заданий, указания к выполнению лабораторных работ и обработки результатов опыта. Исследуются симметричный переходной процесс при трехфазном коротком замыкании, определение начального и в произвольный момент времени *t* тока. Расчеты охватывают различные группы и широкий диапазон мощностей источников питания, влияние различных факторов на протекание симметричного переходного процесса. Приведен метод определения тока короткого замыкания в произвольный момент времени *t*, уравнения, описывающие переходной процесс. Работа выполняется на ЭВМ.

Практикум (лабораторный) предназначен для студентов формы обучения по образовательной программе «Электромеханические переходные процессы для выбора оптимальных технических решений при проектировании систем электроснабжения капитального строительства» направления подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника, направленность (профиль) «Электроснабжение».

Работа рассчитана на четыре часа лабораторных занятий и два часа домашней подготовки.

УДК 621.311
ББК 31.2

© Казанский государственный энергетический университет, 2020

ВВЕДЕНИЕ

Для надежного функционирования электроэнергетической системы необходимо обеспечить устойчивую работу всех ее элементов, регулирующих и управляющих устройств при резком изменении режима.

Нарушение динамической устойчивости приводит к отключению большого числа потребителей, повреждению электрооборудования, сбою в работе систем управления, развитию системных аварий. Поэтому анализ динамической устойчивости электроэнергетических систем является важной частью работы, выполняемой как при проектировании, так и при эксплуатации систем.

Расчеты устойчивости выполняются для:

- выбора основной схемы энергосистемы и уточнения размещения основного оборудования;
- определения допустимых режимов энергосистемы;
- выбора мероприятий по повышению устойчивости энергосистемы, включая средства противоаварийной автоматики (ПА) и параметры их настройки;
- определения параметров настройки систем регулирования и управления, релейной защиты, автоматического повторного включения (АПВ) и т. д.

Формирование компетенций для анализа динамической устойчивости электроэнергетической системы (ЭЭС) является одним из определяющих факторов подготовки студентов. Практическая ценность умений оценивать состояние системы при аварийных ситуациях состоит в том, что они позволяют сформировать способность принятия решений в целях снижения ущерба при оперативном управлении системами электроснабжения и электрическими сетями.

Целью издания учебного пособия является формирование знаний при расчетах динамической устойчивости, анализа и решения проблем в области электромеханических переходных нормальных и аварийных процессов в системах электроснабжения объектов капитального строительства на различных стадиях проектирования, представления причин их возникновения, физической сущности, предвидения протекания процессов и управления ими с помощью современных регулирующих и управляющих устройств.

Представленный в лабораторном практикуме материал направлен на формирование у студентов следующей компетенции, формируемой у обучающихся, запланированные результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с индикаторами достижения компетенций:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)
Профессиональные компетенции (ПК)		
ПК-3 Способность проводить обоснование проектных решений по устойчивости	**ПК-3.1** Обосновывает методики выбора оптимальных технических решений по условиям статической и динамической устойчивости для разработки отдельных разделов на различных стадиях проекта системы электроснабжения объекта капитального строительства	**Знать:** • нормативно-техническую документацию, регламентирующую устойчивую работу СЭС при проектных расчетах объекта капитального строительства ($З_1$). • методы исследования переходных электромеханических процессов, протекающих в СЭС объектов капитального строительства ($З_2$) • мероприятия, улучшающие качество и устойчивость протекания электромеханического переходного процесса в СЭС объекта капитального строительства ($З_3$) **Уметь:** • использовать нормативно-техническую документацию, регламентирующую устойчивую работу СЭС при проектных расчетах объекта капитального строительства ($У_1$). • пользоваться методами исследования переходных электромеханических процессов, протекающих в СЭС объектов капитального строительства ($У_2$) • планировать мероприятия, улучшающие качество протекания электромеханического переходного процесса в СЭС и обеспечивающие требуемые параметры режимов объекта капитального строительства ($У_3$) **Владеть** • нормативно-техническую документацию,

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)
		регламентирующую устойчивую работу СЭС при проектных расчетах объекта капитального строительства ($В_1$). • методы исследования переходных электромеханических процессов, протекающих в СЭС объектов капитального строительства ($В_2$). • знаниями по мероприятиям, улучшающим качество протекания электромеханического переходного процесса в СЭС и обеспечивающие требуемые параметры устойчивых режимов объекта капитального строительства ($В_3$)

Лабораторная работа № 1

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ КОМПЛЕКСНОЙ НАГРУЗКИ

1.1. Цель работы

Целью работы является исследование статической устойчивости узлов нагрузки ЭЭС с помощью практических критериев. Устанавливаются условия изменения устойчивости комплексной нагрузки при изменении параметров системы и режима. Определяются численные показатели статической устойчивости комплексной нагрузки при учете различных факторов, таких, как удаленность узла нагрузки от источника питания, наличие батарей конденсаторов (БК) в узле нагрузки, изменение потребляемой мощности. Исследование статической устойчивости проводится с использованием математического моделирования на базе ЭВМ IBM PK/AT.

Система, представленная схемой замещения (рис. 1.1), состоит из электрической станции (ЭС), КН, линии электропередачи. ЭС показана в виде источника питания с эквивалентной ЭДС $E_э$,, линия электропередачи задана внешним сопротивлением $X_{вн}$, нагрузка – КН с заданными активной $P_н$ и реактивной $Q_н$ мощностями и своим коэффициентом реактивной мощности $\mathrm{tg}\varphi_c$. КН содержит асинхронные двигатели и осветительную нагрузку. К шинам с напряжением U может быть подключена БК для компенсации реактивной мощности нагрузки до значения $\mathrm{tg}\varphi_З$.

Статические характеристики нагрузки в виде функций $P_н = f(U)$, $Q_н = f(U)$, выраженных в относительных единицах, приведены в табл. 1,1. Параметры схемы замещения и режима приведены в табл. 1.2. Номер варианта, а также задания на бригады (приведенные ниже) дает преподаватель.

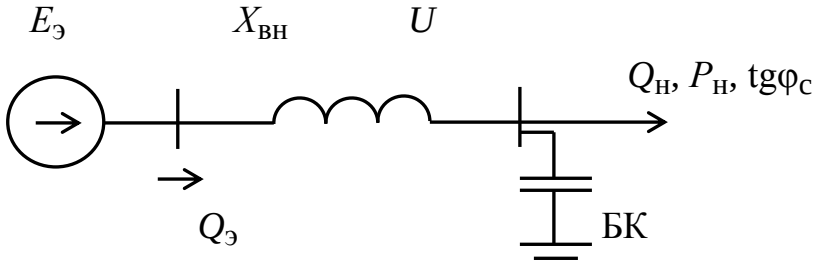


Рис. 1.1. Схема замещения исследуемой системы электроснабжения

1.2. Описание лабораторной работы

Статическая устойчивость – это способность ЭЭС восстанавливать нормальный рабочий режим или режим, практически близкий к нему, при малых возмущениях и малых изменениях скорости.

Часть ЭЭС, непосредственно осуществляющая снабжение электрической энергией потребителей, называется системой электроснабжения (узлом нагрузки). Она содержит питающие и распределительные сети, трансформаторы, компенсирующие устройства и электроприемники. Установившиеся режимы и переходные процессы должны удовлетворять общим требованиям, сформулированным применительно к ЭЭС в целом.

Статическая устойчивость узла нагрузки системы проверяется в данной лабораторной работе по практическим критериям: изменению эквивалентной ЭДС от напряжения $dE_э/dU > 0$; изменению реактивной мощности от эквивалентной ЭДС $dQ_э/dE_э > 0$.

Для этого строят зависимости ЭДС в функции напряжения на шинах нагрузки U, т.е. $E_э = f(U)$, а также зависимость выдаваемой ЭЭС реактивной мощности $Q_э$ в функции ЭДС $E_э$, т.е. $Q_э = f(E_э)$. Указанные зависимости строятся с использованием ЭВМ. Алгоритм определения $E_э = f(U)$, $Q_э = f(E_э)$, предлагаемый в [1], реализован в программе на алгоритмическом языке BASIK.

В точке включения нагрузки состояние равновесия характеризуется изменяющимися параметрами режима U, $P_н = f(U)$, $Q_н = f(U)$. В данном случае определяющей переменной является напряжение U в узле подключения нагрузки, которое отражает состояние всех элементов системы. Изменение всех переменных параметров режима можно зафиксировать по показателям режима – эквивалентной ЭДС $E_э$ и реактивной мощности $Q_н$, по которым судят о статической устойчивости узла нагрузки.

Графически анализируется зависимость

$$E_э = \sqrt{(U_н + \frac{Q_н X_{вн}}{U_н})^2 + (\frac{P_н X_{вн}}{U_н})^2},$$

где $P_н$, $Q_н$ - активная, реактивная мощности в узле нагрузки, о.е.; $X_{вн}$ – внешнее сопротивление, о.е.

С утяжелением режима по переменной напряжения в узле U кривая $E_э = f(U)$ имеет минимум при $dE_э/dU = 0$ с координатами, соответствующими критическому режиму $E_{кр}$ и $U_{кр}$ (рис. 1.2).

Критерий статической устойчивости (критерий устойчивости Жданова) имеет вид

$$dE_э/dU > 0$$

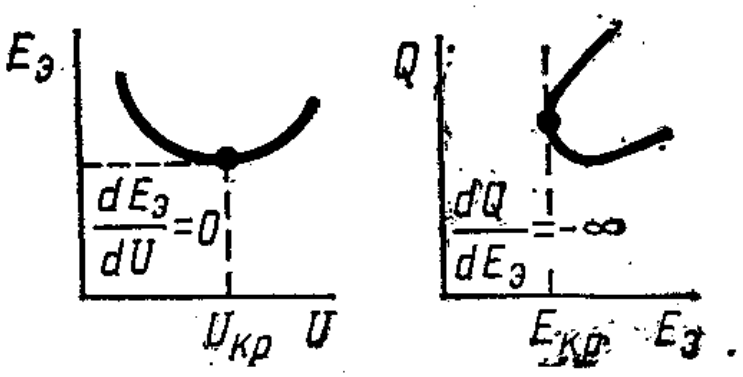


Рис. 1.2. Графическое представление критерия предела устойчивости

Коэффициенты запаса по напряжению и эквивалентной ЭДС определяются по формулам

$$K_з^U = \frac{U_{ном} - U_{кр}}{U_{ном}} 100\ \%;$$

$$K_з^E = \frac{E_0 - E_{кр}}{E_0} 100\ \%,$$

где $U_{кр}$, $E_{кр}$ – параметры напряжения и эквивалентной ЭДС критического режима.

Лабораторная работа проводится на базе ЭВМ IBM PK/AT. Исследуется система электроснабжения с эквивалентным источником, питающим комплексную нагрузку (КН) соизмеримой мощности.

Параметры элементов исследуемой системы и режима приведены в табл. 1.1,1.2, 1.3 и 1.4. Номер варианта по таблицам, а также задания на бригады (приведенные ниже) выдает преподаватель.

Таблица 1.1

Статические характеристики комплексной нагрузки

Состав КН: асинхронные двигатели - 60%, осветительная нагрузка - 40%			Состав КН: асинхронные двигатели - 90%, осветительная нагрузка - 10%		
U, о.е	*P*, о.е	*Q*, о.е	*U*, о.е	*P*, о.е	*Q*, о.е
1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
0,95	0,97	0,933	0,95	0,977	0,977
0,90	0,941	0,855	0,90	0,960	0,95
0,85	0,893	0,844	0,85	0,946	0,980
0,75	0,873	0,86	0,80	0,94	1,0
0,70	0,855	0,88	0,75	0,935	1,1

Таблица 1.2.

Параметры схемы замещения и режима системы

№ варианта	$X_{вн}$, о.е	$P_н$, о.е	$Q_н$, о.е	$tg\varphi_С$	$tg\varphi_З$	$U_н$, о.е
1	0,2	1,2	1,0	0,835	0,4	1,0
2	0,4	1,0	1,9	0,9	0,35	1,0
3	0,6	0,9	0,6	0,855	0,3	1,0
4	0,8	0,8	0,7	0,875	0,2	1,0
5	1,0	0,7	0,6	0,855	0,3	1,0
6	1,2	0,6	0,5	0,835	0,25	1,0
7	1,4	0,5	0,4	0,8	0,2	1,0
8	0,9	0,75	0,65	0,865	0,27	1,0
9	0,7	0,85	0,75	0,87	0,23	1,0
10	0,5	0,95	0,85	0,88	0,22	1,0

1.3. Подготовка исходных данных

1. Ознакомиться с рабочим заданием.
2. Зарисовать принципиальную схему, схему замещения.
3. Согласно варианту записать исходные данные.
4. Составить инструкцию для выполнения расчетов.
5. Записать основные выражения для определения коэффициента запаса статической устойчивости по напряжению и ЭДС.
6. Ввести исходные данные.
7. Ответить на контрольные вопросы

1.4. Порядок проведения работы

1. В соответствии с полученным заданием ввести в ЭВМ в режиме диалога требуемые параметры.

Идентификаторы параметров следующие:

*P*O – номинальное значение активной нагрузки $P_н$; *Q*O – номинальное значение реактивной нагрузки $Q_н$; TG3,TGE – значения коэффициентов мощности $tg\varphi_З$, $tg\varphi_С$; $U_н$ – номинальное напряжение на шинах нагрузки; *XS* – значение внешнего сопротивления $X_{вн}$.

После ввода исходной информации о режиме системы необходимо ввести исходную информацию о статических характеристиках КН, значение *N* принять равным 6 (количество расчетных точек), затем значения напряжения *U**, активной *P** и реактивной *Q** мощностей из табл. 1.1 согласно заданию. Далее на экране дисплея появляются результаты расчетов: $E_э$ – значения синхронной ЭДС, $Q_э$ – значения реактивной мощности, *U* – значения напряжения в узле нагрузки.

2. С помощью практических критериев $dE_э/dU$ и $dQ_э/dE_э$ определить критическое напряжение на шинах нагрузки $U_{кр}$ и критическую ЭДС $E_{кр}$, при которых происходит нарушение устойчивости нагрузки. Рассчитать коэффициент запаса по ЭДС $E_э$ статической устойчивости комплексной нагрузки, статические характеристики которой приведены в табл. 1.1. Сделать выводы.

3. С помощью практических критериев $dE_э/dU$ и $dQ_э/dE_э$ определить критическое напряжение на шинах нагрузки $U_{кр}$ и критическую ЭДС $E_{кр}$, при которых происходит нарушение устойчивости нагрузки. Рассчитать

коэффициент запаса по ЭДС $E_э$ и напряжению U статической устойчивости комплексной нагрузки при увеличении внешнего сопротивления на 0,3 от первоначального значения. Сделать выводы.

4. С помощью практических критериев $dE_э/dU$ и $dQ_э/dE_э$ определить критическое напряжение на шинах нагрузки $U_{кр}$ и критическую ЭДС $E_{кр}$, при которых происходит нарушение устойчивости нагрузки. Рассчитать коэффициент запаса по ЭДС $E_э$ и напряжению U статической устойчивости комплексной нагрузки при компенсации реактивной мощности до значения $tg\varphi_З$. Сделать выводы.

5. С помощью практических критериев $dE_э/dU$ и $dQ_э/dE_э$ определить критическое напряжение на шинах нагрузки $U_{кр}$ и критическую ЭДС $E_{кр}$, при которых происходит нарушение устойчивости нагрузки. Рассчитать коэффициент запаса по ЭДС $E_э$ и напряжению U статической устойчивости комплексной нагрузки при увеличении нагрузки на 0,25 от первоначального значения, представленного в задании. Сделать выводы.

1.5. Указания по оформлению отчета

Отчет должен содержать задание на выполнение лабораторной работы, схему исследуемой системы, необходимые формулы и выражения, результаты замеров, графики зависимостей $E_э = f(U)$ и $Q_э = f(E_э)$ и определенные по ним с помощью практических критериев $dE_э/dU$ и $dQ_э/dE_э$ значения критического напряжения на шинах нагрузки $U_{кр}$ и критической ЭДС $E_{кр}$, при которых происходит нарушение устойчивости КН. На графиках следует показать области устойчивой работы узла нагрузки.

Далее необходимо сделать выводы по проделанным исследованиям и ответить на контрольные вопросы, внести предложения по улучшению и обеспечению должного запаса статической устойчивости узла нагрузки.

1.6. Указания по технике безопасности

Перед выполнением лабораторной работы студенты обязаны изучить описание лабораторной работы и электроустановки, пройти инструктаж по технике безопасности.

Категорически запрещается прикасаться к токоведущим частям, включать и отключать ЭВМ без разрешения преподавателя или лаборанта.

1.7. Варианты заданий

Задание 1

1. Найти коэффициент запаса по ЭДС $E_э$ статической устойчивости КН, содержащей асинхронные двигатели – 60%, осветительную нагрузку – 40%, статические характеристики которой приведены в табл. 1.1.

2. Определить коэффициент запаса по ЭДС $E_э$ статической устойчивости комплексной нагрузки при тех же условиях, что и в п.1, но при увеличении мощностей $P_н$ и $Q_н$.

Задание 2

1. Определить коэффициент запаса по ЭДС $E_э$ статической устойчивости КН, содержащей асинхронные двигатели – 60%, осветительную нагрузку – 40%, статические характеристики которой приведены в табл. 1.1.

2. Определить коэффициент запаса по ЭДС $E_э$ статической устойчивости комплексной нагрузки при тех же условиях, что и в п. 1, но при увеличении внешнего сопротивления $X_{вн}$.

Задание 3

1. Определить коэффициент запаса по ЭДС $E_э$ статической устойчивости КН, содержащей асинхронные двигатели – 60%, осветительную нагрузку – 40%, статические характеристики которой приведены в табл. 1.1.

2. Определить коэффициент запаса по ЭДС $E_э$ статической устойчивости комплексной нагрузки при тех же условиях, что и п.1, но при увеличении компенсации реактивной мощности нагрузки батареями конденсаторов, т.е. при уменьшении значения $\mathrm{tg}\varphi_с$ до величины, задаваемой преподавателем.

Задание 4

1. Определить коэффициент запаса по ЭДС $E_э$ статической устойчивости КН, содержащей асинхронные двигатели – 60%, осветительную нагрузку – 40%, статические характеристики которой приведены в табл. 1.1.

2. Определить коэффициент запаса по ЭДС $E_э$ статической устойчивости КН, содержащей асинхронные двигатели – 90%, осветительную нагрузку – 10%, статические характеристики которой приведены в табл. 1.1.

1.8. Контрольные вопросы

1. Какие практические критерии используются при анализе статической устойчивости комплексной нагрузки?

2. Какой вид нарушения устойчивости определяется с помощью практических критериев?

3. Каков алгоритм определения зависимостей $E_э = f(U)$ и $Q_э = f(E_э)$?

4. Какова разница в подходе оценки устойчивости группы асинхронных двигателей, входящих в состав комплексной нагрузки и одиночного двигателя?

5. Как влияет на условия статической устойчивости нагрузки удаленность узла нагрузки от источника питания?

6. Как меняется коэффициент запаса статической устойчивости нагрузки при подключении к узлу нагрузки батарей конденсаторов?

7. Как меняется коэффициент запаса статической устойчивости нагрузки при повышении степени компенсации батареями конденсаторов реактивной мощности нагрузки?

8. Как влияет на условия статической устойчивости нагрузки характер изменения статических характеристик нагрузки?

9. Назовите мероприятия по улучшению статической устойчивости узла нагрузки?

10. Из каких условий определяются параметры критического режима?

11. Как вводится в схему замещения комплексная нагрузка?

13. Что представляют собой типовые графики комплексной нагрузки?

14. Что такое регулирующий эффект комплексной нагрузки?

15. Как можно получить расчетом или экспериментом статические характеристики комплексной нагрузки?

16. От каких параметров зависит величина регулирующего эффекта комплексной нагрузки?

17. Чем обусловлены изменения частоты в электрической системе?

18. Как влияет изменение состава нагрузки на критическое напряжение?

19. Как влияют синхронные двигатели, работающие в режиме перевозбуждения, на статическую устойчивость узла нагрузки?

20. Какими моделями может быть представлена комплексная нагрузка?

Лабораторная работа № 2

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРИ ПРОВАЛАХ НАПРЯЖЕНИЯ ВО ВНЕШНЕЙ СЕТИ И НАБРОСАХ НАГРУЗКИ

2.1. Цель работы

Целью данной лабораторной работы является исследование режимных характеристик систем электроснабжения при изменении влияющих факторов – провала напряжения источника питания, набросы нагрузок; определение допустимости перерыва питания $t_{вк}$ мощного асинхронного двигателя по условию обеспечения динамически устойчивой работы при следующих условиях:

- разных коэффициентах загрузки двигателя;
- разных значениях сопротивлений системы;
- разных значениях постоянной инерции двигателя;
- разных механических характеристиках рабочего механизма.

На рисунке 2.1 показана схема исследуемой системы, в которой мощный асинхронный двигатель АД питается через понижающий трансформатор Т и линию электропередачи Л от подстанции, на шинах которой напряжение U – const.

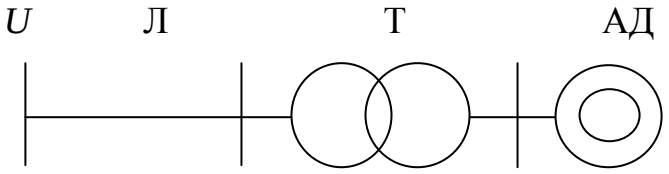


Рис.2.1. Исследуемая электрическая система

2.2. Описание лабораторной работы

Лабораторная работа проводится на ЭВМ типа IBM PC AT и сводится к анализу математической модели переходного процесса исследуемой системы электроснабжения. Математической моделью исследуемого переходного процесса является уравнение движения ротора асинхронного двигателя АД:

$$T_j \frac{\partial S}{\partial t} = P_{\text{мех}} - P_{\text{эл}},$$

где S – скольжение ротора двигателя; $P_{\text{мех}}$ – механическая мощность на валу двигателя; T_J – постоянная инерции агрегата, определяемая суммой моментов инерции двигателя и рабочего механизма; $P_{\text{эл}}$ – электромагнитная мощность.

Электромагнитная мощность, потребляемая АД, определяется выражением

$$P_{\text{эл}} = \frac{U^2 RS}{R^2 + (X_S S)^2},$$

где R – активное сопротивление двигателя; U – напряжение системы, величина и частота которой не зависит от режима работы двигателя; X_S – индуктивное сопротивление двигателя.

Интегрирование уравнения движения асинхронного двигателя и определение зависимости скольжения от времени $s = f(t)$ осуществляется на ЭВМ в двух случаях:

1) когда механическая характеристика рабочей машины имеет зависимость вида $P_{\text{мех}} = P_0 = \text{const}$;
2) когда механическая характеристика рабочей машины имеет линейную зависимость вида $P_{\text{мех}} = P_1 - bs$.

Таблица 2.1

Параметры сети

№ вариантов	Параметры сети		
	$S_б$, кВ·А	U, о.е	$X_с$, о.е
1	925	1,00	0,0
2	925	1,06	0,2
3	925	1,05	0,1

Таблица 2.2

Параметры асинхронного двигателя

№ вариантов	$P_н$, кВт	Кз, %	η, %	$X_{S,}$ о.е	R, о.е	$Т_{Jном}$, с
1	800	90,5	95,5	0,16	0,10	1,80
2	800	80,5	95,5	0,16	0,10	1,80
3	800	100	95,5	0,16	0,10	1,80
4	900	100	93	0,20	0,11	1,84
5	900	90	93	0,20	0,11	1,84
6	900	80	93	0,20	0,11	1,84
7	1000	95	93	0,12	0,09	1,82
8	1000	75	93	0,12	0,09	1,82
9	1000	100	30	0,12	0,09	1,82
10	2000	85	96	0,10	0,06	2,25
11	2000	70	96	0,10	0,06	2,25
12	2000	90	96	0,10	0,06	2,25
13	1250	80	27	0,11	0,08	1,98
14	1250	70	20	0,11	0,08	1,98
15	1250	90	17	0,11	0,08	1,98

2.3. Подготовка исходных данных

1. Определить параметры асинхронного двигателя в относительных единицах при базисной мощности $S_б$ = 925 кВ·А, считая, что коэффициент мощности асинхронного двигателя cosφ = 0,88

2. Рассчитать в соответствии с полученным заданием и вариантом по табл. 2 значения механической мощности на валу двигателя $P_{мех} = P_о$ для разных коэффициентов загрузки двигателя по формуле

$$P_{мех} = \frac{P_н K_з}{S_б \eta},$$

где $K_з$ – коэффициент загрузки АД; η – коэффициент полезного действия.

3. Рассчитать начальное значение скольжения $S_о$ из нормального установившегося режима, в котором мощность $P_о = P_{эл}$.

4. Ответить на первые четыре контрольных вопроса.

2.4. Порядок проведения работы

1. В соответствии с полученным заданием ввести в ЭВМ в режиме диалога требуемые параметры в относительных единицах. Идентификаторы параметров следующие:

U – напряжение на шинах питающей подстанции;

*S*0 – начальное значение скольжения асинхронного двигателя;

T_J – постоянная инерции агрегата;

XC – сопротивление внешней сети;

XS – индуктивное сопротивление асинхронного двигателя;

*R*2 – активное сопротивление асинхронного двигателя;

*P*0 – значение механической мощности на валу двигателя;

DT – шаг интегрирования уравнения движения двигателя, принять Δt = 0,005 с или 0,05 с;

ТВК – время перерыва электроснабжения двигателя $t_{вк}$;

*DT*ВК – величина, на которую изменяется время перерыва электроснабжения асинхронного двигателя $\Delta t_{вк}$.

2. Задаться первоначальным временем $t_{вк1}$ и величиной $\Delta t_{вк}$, ввести их значения в ЭВМ.

3. Определить допустимое время перерыва питания асинхронного двигателя $t_{вкдоп}$ при следующих условиях:

– разных значениях коэффициентов загрузки асинхронного двигателя P_0 и неизменном значении постоянной инерции агрегата $T_J = T_{Jном}$;

– разных постоянных инерции агрегата $T_{J1} = 0{,}7T_{Jном}$, $T_{J2} = 1{,}2T_{Jном}$ и неизменном значении P_0;

– разных значениях сопротивления внешней сети $X_с$ = 0,1;0;0,2 и одном из значений P_0 и T_J.

4. Характер переходного процесса при каждом времени провала напряжения выводится на экран ЭВМ в виде чисел $S = f(t)$, $P_{эл} = f(t)$, которые необходимо записать при таком времени перерыва питания, при котором динамическая устойчивость двигателя не нарушается, это время и будет допустимым по условию обеспечения устойчивости двигателя.

2.5. Указания по оформлению отчета

Отчет должен содержать схему исследуемой системы, задание на выполнение лабораторной работы, схему замещения, параметры системы и режима в относительных единицах, зависимости $P_{эл} = f(t)$, $S = f(t)$, допустимое время провала напряжения асинхронного двигателя, его

зависимость от коэффициента загрузки двигателя, от постоянной инерции агрегата и от сопротивления внешней сети, выводы и ответы на контрольные вопросы.

Сделать выводы по проделанным исследованиям и ответить на контрольные вопросы.

2.6. Указания по технике безопасности

Перед выполнением лабораторной работы студенты обязаны изучить описание лабораторной работы и электроустановки, пройти инструктаж по технике безопасности.

Категорически запрещается прикасаться к токоведущим частям, включать и отключать ЭВМ без разрешения преподавателя или лаборанта.

2.7. Варианты заданий

Варианты параметров элементов электрической системы, представленной на рисунке 1, даны в табл.1 и 2, где сопротивление $X_с$ равно сумме сопротивлений трансформатора $X_Т$ и линии $X_л$ *:* $X_с = X_Т + X_л$; η – КПД двигателя; $P_Н$ – номинальная мощность двигателя: $К_З$ – коэффициент загрузки двигателя; $S_б$ – базисная мощность.

Варианты заданий на проведение работы следующие:

Задание 1

Определить допустимое время провала напряжения электроснабжения $t_{вк}$ по условию обеспечения динамически устойчивой работы асинхронного двигателя при разных коэффициентах его загрузки. Считать, что механическая характеристика рабочего механизма постоянна $P = P_0 = \text{const}$.

Задание 2

Исследовать влияние постоянной инерции агрегата T_J на режимную характеристику асинхронного двигателя АД при провале напряжения. Принять $T_{J1} = 0{,}7T_{Jном}$ и $T_{J2} = 1{,}2T_{Jном}$, а коэффициент загрузки $k_З$ – с. При этих условиях определить допустимое время провала напряжения по условию обеспечения устойчивой работы асинхронного двигателя, считая, что механическая характеристика рабочего механизма $P = P_0 = \text{const}$.

Задание 3

Исследовать влияние изменения внешнего сопротивления сети на допустимое значение времени перерыва питания по условию обеспечения динамически устойчивой работы асинхронного двигателя. Принять значения внешнего сопротивления сети: X_C = 0,1; X_C = 0; X_C = 0,2. Считать, что коэффициент загрузки двигателя не изменяется, а механическая характеристика рабочего механизма $P = P_0$ = const.

Задание 4

Оценить изменения режимных характеристик АД с точки зрения устойчивой работы при кратковременном перерыве питания в двух случаях при:

а) $P = P_0$ = const;

б) $P = P_1 – bs$.

В обоих случаях определить допустимость провала напряжения по условию обеспечения устойчивости двигателя при постоянных значениях $K_З$, X_C и T_J.

Задание 5

Исследовать режим работы АД при набросе нагрузки. Оценить условия его устойчивой работы при:

а) $P = P_0$ = const;

б) $P = 1.5P_0$ = const.

в) б) $P = 2P_0$ = const.

2.8. Контрольные вопросы

1. Назовите причины резких изменений режима в системах электроснабжения и условия обеспечения динамической устойчивости двигателей.
2. Что называется самозапуском и с какой целью он применяется?
3. Каковы условия обеспечения успешного самозапуска при перерыве питания двигателя?
4. Как определяется критическое напряжение асинхронного двигателя?
5. Что нужно определить при установлении допустимости самозапуска при перерывах электроснабжения?

6. Для каких предприятий осуществление самозапуска двигателей ответственных потребителей является необходимым мероприятием и почему?

7. Что является математической моделью исследуемых процессов самозапуска?

8. Можно ли описать переходные процессы при перерыве питания асинхронного двигателя и затем при восстановлении напряжения двигателя одним уравнением?

9. Какие бывают механические характеристики рабочих машин и как они влияют на процесс самозапуска асинхронного двигателя?

10. При каких значениях скольжения асинхронного двигателя восстановление напряжения на его шинах не приведет к успешному самозапуску?

11. Чем определяется постоянная инерции агрегата и как влияет ее изменение (увеличение или уменьшение) на процесс самозапуска?

12. Как влияет сопротивление внешней сети, через которое двигатель подключается к системе, на величину допустимого времени перерыва питания двигателя?

13. Как влияет на величину допустимого времени перерыва питания двигателя увеличение нагрузки на его валу?

14. Какие параметры режима необходимо исследовать для проверки самозапуска АД?

15. Какие режимные характеристики являются определяющими при исследовании работы АД при провалах напряжения?

16. Чем отличается режим пуска от самозапуска асинхронного двигателя?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Крючков И.П. Переходные процессы в электроэнергетических системах: учебник для вузов / И.П. Крючков [и др.]; под ред. И.П. Крючкова. – М.: МЭИ, 2009. – 416 с.

2. Овчаренко Н.И. Автоматика энергосистем [электронный ресурс]: Учебник / Н. И. Овчаренко; под ред. А. Ф. Дьякова. – М.: МЭИ, 2009. – 476 с.

3.Постановление Правительства Российской Федерации от 02.03.2018 № 244 «О совершенствовании требований к обеспечению надежности и безопасности электроэнергетических систем и объектов электроэнергетики и внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации». – М.: ООО «НПП ГАРАНТ-СЕРВИС», 2019. – 5 с.

4. СТО 17330282. 29.240. 001-2005. Стандарт организации ОАО РАО «ЕЭС России». Правила предотвращения развития и ликвидации нарушений нормального режима электрической части энергосистем. – М.: 2008. – 49 с.

5. Хрущев, Ю.В. Электромеханические переходные процессы в электроэнергетических системах: учеб. пособие / Ю.В. Хрущев, К.И. Заподовников, А.Ю. Юшков. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 1012. – 160 с.

6. Веников, В.А. Переходные электромеханические процессы в электрических системах: учебник / В.А. Веников. – М.: Высш. школа, 1985. – 516 с.

7. Гамазин, С.И. Переходные процессы в системах промышленного электроснабжения, обусловленные электродвигательной нагрузкой / С.И. Гамазин, В.А. Ставцев, С.А. Цырук. М.: Издательство МЭИ, 1997. – 424 с.

8. Эрнст, А.Д. Самозапуск асинхронных электродвигателей: учеб. пособие /А.Д. Эрнст. – Омск: ОмГТУ, 2006. – 46 с.

9. Исследование устойчивости электроэнергетических систем с использованием математического моделирования: метод. указания к выполнению лабораторных работ / Сост.: Р.У. Галеева, Р.С. Саитбаталова. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2016. – 28 с

10. Динамическая устойчивость проектируемых электроэнерге-тических систем и систем электроснабжения**:** учебное пособие / сост. Р.У. Галеева. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2019. – 120 с.

Содержание

Введение ……..	3
1. Лабораторная работа № 1. Исследование статической ……. устойчивости комплексной нагрузки ……..	6
1.1. Цель работы ….……..	6
1.2. Описание лабораторной работы …….…….…….....	7
1.3. Подготовка исходных данных …….…….…….……	10
1.4. Порядок проведения работы …….	10
1.5. Указания по оформлению отчета ……..	11
1.6. Указания по технике безопасности ……	11
1.7. Варианты заданий ……	12
1.8. Контрольные вопросы …….	13
2. Лабораторная работа № 2. Исследование режимных характеристик систем электроснабжения при провалах напряжения во внешней сети и набросах нагрузки…….……... ……	14
2.1. Цель работы ….……..	14
2.2. Описание лабораторной работы …….…….…….….....	15
2.3. Подготовка исходных данных …….…….…….……	16
2.4. Порядок проведения работы …….	17
2.5. Указания по оформлению отчета ……..	17
2.6. Указания по технике безопасности ……	18
2.7. Варианты заданий ……	18
2.8. Контрольные вопросы …….	19
Библиографический список……..	21
Содержание ……	28

Учебное издание

ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ ДЛЯ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ КАПИТАЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

Практикум
(лабораторный)

Составитель: **Галеева Раиса Усмановна**

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий КГЭУ

Редактор редакционно-издательского отдела
Компьютерная верстка

Подписано в печать
Формат 60×84/16. Бумага ВХИ. Гарнитура «Times». Вид печати РОМ.
Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж экз. Заказ

Редакционно-издательский отдел КГЭУ, 420066,
Казань, Красносельская, 51