

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ» (МГТУ ГА)

На правах рукописи

Демченко Алексей Геннадьевич

**МЕТОД ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СОСТОЯНИЙ
БОРТОВОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА
ВОЗДУШНЫХ СУДОВ**

Специальность 05.22.14 – Эксплуатация воздушного транспорта

Диссертация

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель
доктор технических наук, профессор
Кузнецов С.В.

Москва 2021

Оглавление

Введение.....	4
1 Анализ бортовых СЭС ВС как объектов контроля.....	10
1.1 Анализ состояния безопасности полётов	10
1.2 Виды бортовых СЭС ВС	12
1.3 Обзор бортовой СЭС переменного тока постоянной частоты среднемагистрального самолёта	15
1.3.1 Функции, реализуемые блоком БРЗУ	17
1.3.2 Анализ возможных технических состояний канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты	19
1.4 Математическое и имитационное моделирование электроэнергетических систем.....	28
1.5 Выводы по главе 1	31
2 Математическое моделирование элементов канала бортовой СЭС переменного тока	33
2.1 Математическое моделирование авиационного синхронного генератора.....	34
2.1.1 Математическое моделирование основного генератора	34
2.1.2 Математическое моделирование возбудителя.....	69
2.1.3 Математическое моделирование подвозбудителя	83
2.1.4 Математическое моделирование вращающегося выпрямителя	85
2.2 Математическое моделирование регулятора напряжения.....	86
2.3 Математическое моделирование привода постоянной частоты вращения.....	89
2.4 Математическое моделирование статической нагрузки	90
2.4.1 Математическое моделирование линейной трёхфазной статической нагрузки	90
2.4.2 Математическое моделирование линейной однофазной статической нагрузки.....	91
2.4.3 Математическое моделирование нелинейной трёхфазной статической нагрузки	92
2.5 Математическое моделирование контакторов трёхфазных и однофазной нагрузок	93
2.6 Выводы по главе 2	95
3 Имитационная модель канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты.....	96
3.1 Имитационные модели агрегатов канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты.....	96
3.2 Выводы по главе 3	120
4 Моделирование технических состояний канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты	122
4.1 Определение различающих функций технических состояний $S_{3,1} - S_{3,30}$	125
4.2 Прогнозирование технического состояния бортовой СЭС ВС	142

4.3 Алгоритм диагностирования технических состояний $S_{3,1} - S_{3,30}$ с прогнозированием значений определяющих параметров	153
4.4 Выводы по главе 4	166
Заключение	167
Список сокращений	169
Список литературы	170
Приложение	177

Введение

Актуальность темы исследования. Как показывает анализ безопасности полётов, до 5% авиационных инцидентов и происшествий происходят из-за отказов агрегатов бортовой системы электроснабжения (СЭС). С точки зрения влияния на безопасность полётов, бортовая СЭС воздушного судна (ВС) является одной из важнейших бортовых систем, поскольку основное предназначение бортовой СЭС ВС – обеспечение электропитанием бортового оборудования и агрегатов, потребляющих электроэнергию (приёмников электроэнергии). Поэтому отказы агрегатов бортовых СЭС ВС напрямую влияют на работу электрооборудования остальных систем ВС, являющихся приёмниками электроэнергии, приводя, таким образом, к зависимым отказам приёмников электроэнергии. В связи с этим является актуальной задача технического диагностирования и прогнозирования технического состояния бортовой СЭС ВС. Решение данной задачи предполагает получение такого алгоритма диагностирования, который позволит получить расширенное множество технических состояний канала бортовой СЭС ВС, на основе значений определяющих параметров, а также получить прогнозирование значений определяющих параметров, таким образом, можно будет контролировать поведение бортовой СЭС ВС при любом ненормальном режиме, снижая тем самым вероятность возникновения аварийных ситуаций в полёте. Как следствие, это приведёт к повышению уровня безопасности полётов.

Степень разработанности темы исследования.

Вопросам исследования электроэнергетических систем посвящены многочисленные работы отечественных ученых С. А. Лебедева, А. А. Горева, В. С. Кулебакина, А. И. Важнова, М. П. Костенко, В. А. Веникова, Л. П. Веретенникова, В. Т. Морозовского, И. М. Синдеева, В. И. Кривенцева, К. В. Капелько, В. А. Савенко, В. В. Кушнерёва, А. А., Харитонова, С. М. Мусина, А. В. Лёвина, А. А., Савёлова, Ю. П. Артеменко, С. П. Халютинина, А. О. Давидова, Б. В. Жмурова и многих других. Результатами соответствующих исследований стала разработка агрегатов бортовых СЭС отечественных ВС.

Объектом исследования является первичная бортовая СЭС ВС переменного трёхфазного тока номинальным напряжением 115/200 В постоянной номинальной частоты 400 Гц. Исследование выполнено при рассмотрении одного канала бортовой СЭС ВС. В соответствии с паспортом специальности 05.22.14 «Эксплуатация воздушного транспорта» выбранный объект исследования соответствует требованиям к объекту исследований, указанным в пункте 1 формулы специальности (воздушные суда, авиационные двигатели,

гидромеханические системы, авионика, электрооборудование и другие функциональные системы воздушных судов; наземная авиационная техника).

Предметом исследования является метод и алгоритм диагностирования расширенного множества технических состояний бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты с прогнозированием значений определяющих параметров. В соответствии с паспортом специальности 05.22.14 «Эксплуатация воздушного транспорта» предмет исследования соответствует требованиям к области исследований, указанным в пункте 9 перечня областей исследования (разработка методов и средств диагностирования и прогнозирования технического состояния авиационной техники и метрологического обеспечения).

Целью исследования является повышение уровня безопасности полётов (БП) на основе диагностирования расширенного множества технических состояний бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты с прогнозированием значений определяющих параметров.

Научной задачей диссертационной работы является разработка научно-методического аппарата метода диагностирования расширенного множества технических состояний бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты с прогнозированием значений определяющих параметров.

Задачи исследования. Для достижения цели исследования и решения научной задачи в работе поставлены и решены следующие задачи:

- анализ технических состояний, диагностируемых в канале бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты существующих отечественных ВС;
- определение расширенного множества технических состояний канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты;
- разработка математических и имитационных моделей агрегатов канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты;
- имитационное моделирование каждого отдельного технического состояния из расширенного множества технических состояний канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты;
- определение перечня определяющих параметров для разработки алгоритма диагностирования каждого отдельного технического состояния из расширенного множества технических состояний канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты с прогнозированием значений определяющих параметров;
- определение коэффициентов гармонических составляющих фазных напряжений в точке регулирования, коэффициентов искажения фазных напряжений, действующих значений фазных напряжений в точке регулирования как определяющих параметров для каждого

отдельного технического состояния из расширенного множества технических состояний канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты;

– определение различающих функций для каждого отдельного технического состояния из расширенного множества технических состояний канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты на основе определённых значений определяющих параметров для каждого отдельного технического состояния из расширенного множества технических состояний канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты;

– прогнозирование значений определяющих параметров;

– разработка алгоритма диагностирования расширенного множества технических состояний канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты с прогнозированием значений определяющих параметров.

Методология и методы исследования. Разработанный научнометодический аппарат базируется на использовании методов математического и имитационного моделирования электроэнергетических систем и их элементов. Отличительными особенностями методологии являются алгоритмы диагностирования, позволяющие различать технические состояния канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты и получить таким образом расширенное множество технических состояний.

Теоретическая значимость исследования заключается в развитии новых методов диагностирования технических состояний в каналах бортовых СЭС ВС переменного тока постоянной частоты с прогнозированием значений определяющих параметров.

Научная новизна работы.

1. Разработана математическая модель бортового генератора переменного тока (авиационного синхронного генератора серии ГТ) с учётом насыщения его магнитной цепи. Данная математическая модель разработана в фазной системе координат «АВС», а значит, позволяет описывать процессы, как при симметричных, так и при несимметричных режимах работы генератора. В составе математической модели авиационного синхронного генератора разработаны математические модели основного генератора, возбuditеля, подвозбудителя, вращающегося выпрямителя.

2. Разработана математическая модель регулятора напряжения.

3. Рассмотрены математические модели привода постоянной частоты вращения, линейной и нелинейной трёхфазных статических нагрузок, линейной однофазной статической нагрузки, контакторов трёхфазных и однофазной нагрузок.

4. Разработаны имитационные модели агрегатов канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты: бортового генератора переменного тока (авиационного синхронного генератора серии ГТ), регулятора напряжения, привода постоянной частоты вращения,

линейной и нелинейной трёхфазных статических нагрузок, линейной однофазной статической нагрузки, контакторов трёхфазных и однофазной нагрузок.

5. На основе разработанных имитационных моделей при разложении в ряд Фурье мгновенных значений напряжений фаз «А», «В» и «С» в точке регулирования определены значения определяющих параметров: коэффициентов гармонических составляющих напряжений фаз «А», «В» и «С», коэффициенты искажения напряжений фаз «А», «В» и «С», а также действующие значения напряжений фаз «А», «В» и «С» в точке регулирования для каждого отдельного технического состояния из расширенного множества технических состояний канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты.

6. Определены различающие функции для каждого отдельного технического состояния из расширенного множества технических состояний канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты.

7. Выполнено прогнозирование значений определяющих параметров: коэффициентов гармонических составляющих напряжений фаз «А», «В» и «С», коэффициентов искажения напряжений фаз «А», «В» и «С», а также действующих значений напряжений фаз «А», «В» и «С» в точке регулирования с помощью интерполяционных полиномов Лагранжа.

8. Разработан алгоритм диагностирования технических состояний канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты с прогнозированием значений определяющих параметров.

Практическая значимость исследования.

1. Разработанный в работе алгоритм диагностирования технических состояний канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты с прогнозированием значений определяющих параметров может быть использован для модернизации существующего оборудования канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты с добавлением необходимого функционала для диагностирования технических состояний канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты с прогнозированием значений определяющих параметров.

2. Результаты, полученные в работе, могут быть использованы при разработке методов диагностирования технических состояний в бортовых СЭС ВС переменного трёхфазного тока номинальным напряжением 230/400 В постоянной номинальной частоты 400 Гц, бортовых СЭС ВС переменного трёхфазного тока номинальным напряжением 115/200 В переменной частоты 360...800 Гц, бортовых СЭС ВС переменного трёхфазного тока номинальным напряжением 230/400 В переменной частоты 360...800 Гц.

3. Результаты, полученные в работе, могут быть использованы для модернизации бортовых систем технического обслуживания (БСТО) современных ВС с добавлением функций

системы управления техническим состоянием (ИСУТС), а также при разработке БСТО перспективных ВС.

4. Разработанные математические и имитационные модели бортового генератора переменного тока (авиационного синхронного генератора серии ГТ), регулятора напряжения, привода постоянной частоты вращения, линейной и нелинейной трёхфазных статических нагрузок, линейной однофазной статической нагрузки, контакторов трёхфазных и однофазной нагрузок могут быть использованы при разработке СЭС перспективных ВС.

Положения, выносимые на защиту.

1. Математические и имитационные модели бортового генератора переменного тока (авиационного синхронного генератора серии ГТ), регулятора напряжения, привода постоянной частоты вращения, линейной и нелинейной трёхфазных статических нагрузок, линейной однофазной статической нагрузки, контакторов трёхфазных и однофазной нагрузок.

2. Метод диагностирования расширенного множества технических состояний канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты с прогнозированием значений определяющих параметров.

3. Алгоритм диагностирования расширенного множества технических состояний канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты с прогнозированием значений определяющих параметров.

Достоверность и обоснованность результатов. Результаты, полученные автором, разработанные методы и алгоритмы, базируются на фундаментальных результатах математического моделирования электроэнергетических систем и их элементов. Оценка точности математического и имитационного моделирования производилась как на основе сравнения результатов моделирования с результатами испытания реальных систем, так и с учётом определения погрешности моделей, обусловленной неточностью исходных данных.

Апробация работы и публикации. Результаты работы докладывались и обсуждались на IX Международной научно-технической конференции «Гражданская авиация на современном этапе развития науки, техники и общества», посвященной 40-летию МГТУ ГА (МНТК-2011), на X Международной научно-технической конференции «Гражданская авиация на современном этапе развития науки, техники и общества», посвященной 90-летию гражданской авиации (МНТК-2013), на XI Международной научно-технической конференции «Гражданская авиация на современном этапе развития науки, техники и общества», посвященной 45-летию университета (МНТК-2016), на Всероссийской научно-технической конференции «XV Научные чтения по авиации», посвящённые памяти Н.Е. Жуковского, на XII Международной научно-технической конференции «Гражданская авиация на современном этапе развития науки, техники и общества», посвященной 95-летию гражданской авиации

(МНТК-2018), на Всероссийской научно-технической конференции «XVI Научные чтения по авиации», посвящённые памяти Н.Е. Жуковского, на Всероссийской научно-технической конференции «XVII Научные чтения по авиации», посвящённые памяти Н.Е. Жуковского, на XIII Международной научно-технической конференции «Гражданская авиация на современном этапе развития науки, техники и общества», посвященной 50-летию университета (МНТК-2021).

По материалам диссертации автором опубликовано 14 (87 страниц) научных работ, из них в изданиях из перечня ВАК – 6 (61 страница).

Личный вклад автора. Основные результаты работы получены либо лично автором, либо при его непосредственном участии, что подтверждено публикациями в научных изданиях. В опубликованных в соавторстве работах автору принадлежат постановка задачи, вывод основных соотношений, результаты теоретических и практических исследований.

Структура и объём работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка сокращений, списка литературы и приложения общим объёмом (234) страницы печатного текста. Основная часть диссертации изложена на (176) страницах и содержит (59) рисунков и (4) таблицы.

1 Анализ бортовых СЭС ВС как объектов контроля

1.1 Анализ состояния безопасности полётов

По материалам анализов состояния безопасности полётов в центральном межрегиональном территориальном управлении (МТУ) РОСАВИАЦИИ за 2015-2020 гг. [4 – 9] отказы бортовых систем распределены следующим образом (таблица 1.1).

Таблица 1.1. Распределение отказов бортовых систем в центральном МТУ РОСАВИАЦИИ за 2015-2020 гг.

Система	Отказы
Двигатель и его системы, главный редуктор	96
Шасси	73
Планер (механизация)	53
Электрооборудование	14
Пилотажно-навигационное оборудование	26
Радиооборудование	8
Управление	14
Гидросистема	33
Топливная система	6
Система кондиционирования	37
Систем пожарной сигнализации	12

Из таблицы 1.1 видно, что общее число инцидентов, произошедших в результате отказов в бортовых системах – 372. Число инцидентов, произошедших в результате отказов электрооборудования (агрегатов бортовых СЭС ВС) – 18. Таким образом, на долю инцидентов, произошедших в результате отказов электрооборудования (агрегатов бортовых СЭС ВС) приходится менее 5% от общего числа инцидентов. Тем не менее, бортовая СЭС ВС является важнейшей системой, обеспечивающей производство и распределение электроэнергии на борту ВС для питания бортовых потребителей, которыми являются агрегаты остальных бортовых систем. А это значит, что отказы в бортовой СЭС ВС влияют также на работу остальных бортовых систем, приводя, таким образом, оборудования систем, являющихся бортовыми потребителями электроэнергии.

На рисунке 1.1 приведена гистограмма распределения отказов бортовых систем в центральном МТУ РОСАВИАЦИИ за 2015-2020 гг.



Рисунок 1.1. Гистограмма распределения отказов бортовых систем в центральном МТУ РОСАВИАЦИИ за 2015-2020 гг.

Далее рассмотрим некоторые из авиационных инцидентов, произошедших в период с 2009 по 2020 годы по причине отказов бортовой СЭС ВС.

15.08.2009 г. совершил вынужденную посадку самолет «Боинг-737-500», авиакомпании ЗАО «Нордавиа – Региональные авиалинии». Воздушное судно выполняло рейс сообщением Новосибирск («Толмачево») – Москва («Шереметьево»). На борту самолета находились шесть членов экипажа и 99 пассажиров. Причиной авиационного инцидента стал отказ генератора левого двигателя. В результате авиапроисшествия никто из пассажиров и членов экипажа не пострадал.

28.06.2010 г. совершил вынужденную посадку самолет Ан-148 авиакомпании ФГУП «ГТК «Россия». Воздушное судно выполняло рейс сообщением Санкт-Петербург («Пулково») – Москва («Шереметьево»). Причиной авиационного инцидента стал отказ генератора правого двигателя. Экипаж выполнил возврат на аэродром вылета. В результате авиапроисшествия никто из пассажиров и членов экипажа не пострадал.

28.09.2010 г. совершил вынужденную посадку самолет Ан-148. При выполнении рейса АEW 251 по маршруту Борисполь-Вильнюс на начальном этапе захода на посадку сработала сигнализация о неисправности левого двигателя. Экипаж отключил левый двигатель и выполнил заход на посадку. Причиной авиационного инцидента стало разрушение зубчатого колеса привода генератора. В результате авиапроисшествия никто из пассажиров и членов экипажа не пострадал.

06.03.2013 г. совершил вынужденную посадку самолет Ан-148 авиакомпании АО «Авиакомпания «Россия». Воздушное судно выполняло рейс сообщением Санкт-Петербург («Пулково») – Мурманск («Мурманск»). Причиной авиационного инцидента стал отказ генератора правого двигателя. Экипаж выполнил возврат на аэродром вылета. В результате авиапроисшествия никто из пассажиров и членов экипажа не пострадал.

9.07.2020 г. совершил вынужденную посадку самолет Ан-2, авиакомпании ЗАО «ЮТэйр». Воздушное судно выполняло рейс сообщением Кускургуль – Топкинбашево в Тобольском районе Тюменской области. На борту самолета находились три пассажира и два члена экипажа. Причиной авиационного инцидента стал отказ генератора Ан-2. В результате авиапроисшествия никто из пассажиров и членов экипажа не пострадал.

Приведённые примеры авиационных инцидентов показывают, во всех случаях происходит вынужденная посадка воздушного судна.

1.2 Виды бортовых СЭС ВС

Электрооборудование современного ВС представляет собой сложный электротехнический комплекс (ЭТК), задачей которого является преобразование механической энергии вала авиадвигателя в различные виды энергии: механическую, световую, электромагнитную, тепловую. При этом распределение энергии осуществляется электрическим путем. Таким образом, функционально ЭТК включает бортовую СЭС ВС и систему потребителей электрической энергии.

СЭС ВС в свою очередь состоит из системы генерирования электрической энергии и её распределения. Согласно ГОСТ Р 54073-2017 система генерирования представляет собой совокупность источников или преобразователей электроэнергии (генераторов, преобразовательных установок рода тока и величины напряжения, аккумуляторов), устройств стабилизации их напряжений и частот, устройств параллельной работы, защиты, управления и контроля, которые обеспечивают производство электроэнергии и поддержание ее характеристик в заданных пределах в точках регулирования при всех режимах работы системы. Системой распределения электрической энергии называют совокупность устройств, передающих электроэнергию от источников системы генерирования к распределительным устройствам и от распределительных устройств к приёмникам электроэнергии. Система распределения обеспечивает на выводах приемников характеристики электроэнергии в заданных пределах (если в точках регулирования они находятся в пределах, заданных для

системы генерирования), осуществление необходимых коммутаций, резервирование электропитания приемников и защиту от повреждений системы распределения.

Систему генерирования электроэнергии можно разделить на ряд подсистем:

- первичного генерирования электрической энергии стабильной частоты с набором необходимого оборудования (приводы механического, гидромеханического, гидравлического, пневмомеханического типов, генераторы стабильной частоты, аппаратуры управления и защиты генератора, датчики тока, коммутационная аппаратура);

- первичного генерирования электроэнергии нестабильной частоты с набором необходимого оборудования (генераторы нестабильной частоты, аппаратуры управления и защиты генераторов, датчики токов, преобразователи частоты из переменного напряжения в переменное);

- первичного генерирования электрической энергии постоянного тока с необходимым оборудованием (генераторы постоянного тока, аппаратура управления и защиты генераторов, реле направления мощности и другая коммутационная аппаратура);

- вторичного генерирования электрической энергии постоянного тока с необходимым оборудованием (выпрямительные устройства стабильной или нестабильной частоты, коммутационно-защитное оборудование);

- вторичного генерирования электрической энергии переменного тока с необходимым оборудованием (инверторами переменного напряжения, защитной аппаратуры и аппаратуры коммутации);

- вспомогательной силовой установки (ВСУ) с соответствующим оборудованием (генераторы переменного или постоянного тока, аппаратуры управления и защиты, датчики тока);

- аварийного питания (преобразователей постоянного напряжения в постоянное или переменное, устройства заряда аккумуляторных батарей (АБ), сигнализаторов состояния АБ, аварийных турбоагрегатов, выдвигаемых в поток набегающего воздуха, или гидравлических агрегатов, питаемых от гидравлической системы);

- питания от аэродромного источника (блоки контроля напряжения аэродромного источника, автоматы защиты, блоки коммутации).

Система генерирования электроэнергии в первую очередь характеризуется установленной мощностью, то есть суммарной мощностью всех генераторов, которые приводятся во вращение маршевыми двигателями ВС или автономной силовой установкой.

Бортовые СЭС ВС подразделяются на первичные, вторичные и аварийные. Первичной называется бортовая СЭС ВС, генераторы которой приводятся во вращение маршевыми двигателями самолета или вспомогательной силовой установкой (ВСУ). Система называется

вторичная, если питается от первичной СЭС преобразующими устройствами, входящими в состав вторичной СЭС. Аварийной СЭС называется такая, в которой электрическую энергию получают от резервных источников: аккумуляторных батарей, генератора ВСУ или ветряного двигателя.

Кроме того бортовые СЭС ВС разделяют на следующие виды: постоянного тока, переменного трёхфазного тока постоянной частоты, переменного трёхфазного тока переменной частоты, переменного однофазного тока постоянной частоты, переменного однофазного тока переменной частоты. Выбор той или иной системы обусловлен многими факторами: назначением ВС, требованиям к качеству электроэнергии и надёжности, технико-экономическими показателями, удобством эксплуатации, новейшими достижениями авиационной промышленности и т. д.

В соответствии с ГОСТ Р 54073-2017 в настоящее время на самолётах и вертолётах ГА допустимо использование следующих СЭС шести типов:

- переменного трёхфазного тока номинальным напряжением 115/200 В постоянной номинальной частоты 400 Гц;
- переменного трёхфазного тока номинальным напряжением 230/400 В постоянной номинальной частоты 400 Гц;
- переменного трёхфазного тока номинальным напряжением 115/200 В переменной частоты 360...800 Гц;
- переменного трёхфазного тока номинальным напряжением 230/400 В переменной частоты 360...800 Гц;
- постоянного тока номинальным напряжением 27 В;
- постоянного тока номинальным напряжением 270 В.

В качестве типовых бортовых СЭС ВС принята система трёхфазного переменного тока постоянной частоты с номинальным напряжением 200/115 В и номинальной частотой 400 Гц. В качестве вторичной системы при этом используется система постоянного тока с напряжением 27 В. На многих типах ВС также используется вторичная система трёхфазного переменного тока с напряжением 36 В. Однако в последнее время все больше находят применение первичные системы трёхфазного тока переменной частоты 360—800 Гц (МС-21, В-787, А-380) и постоянного тока 270 В (В-787).

По числу каналов СЭС ВС подразделяются на одноканальные и многоканальные. Каналом СЭС ВС называется система или ее часть, включающая источник электроэнергии и аккумуляторную батарею для канала постоянного тока, аппаратуру управления и его защиты, часть системы распределения электроэнергии, связанную с этим источником при отдельной работе. На большинстве пассажирских самолётах применяются двух-, трёх- и

четырёхканальные системы электроснабжения: в основном, их число зависит от количества маршевых двигателей на борту ВС.

1.3 Обзор бортовой СЭС переменного тока постоянной частоты среднемагистрального самолёта

Рассмотрим структуру и состав первичной бортовой СЭС переменного тока постоянной частоты самолёта Ту-204-100 (рисунок 1.2).

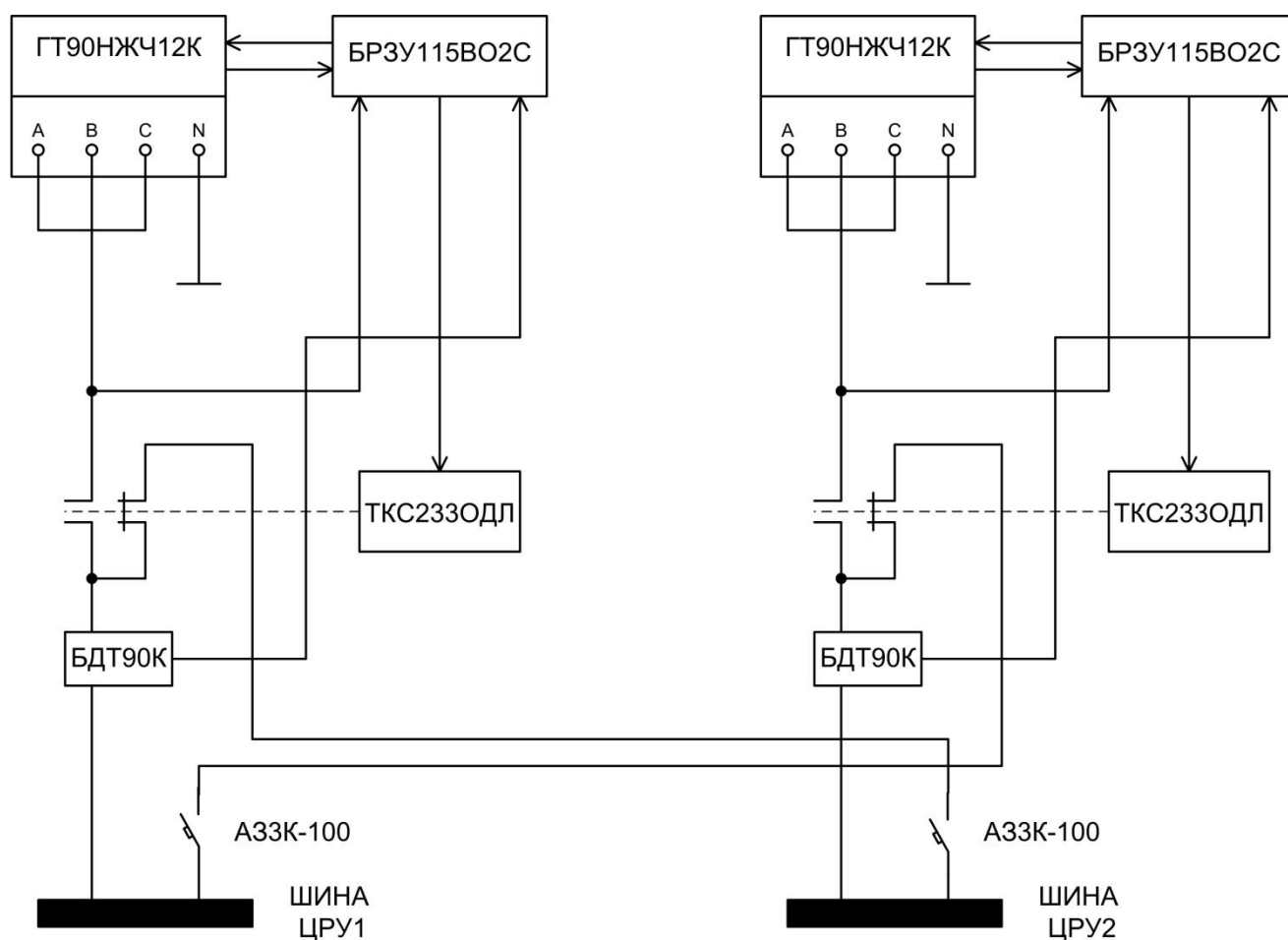


Рисунок 1.2. Схема системы электроснабжения переменным током самолёта Ту-204-100

В состав левого и правого каналов входят:

- Генератор ГТ90НЖЧ12К (в составе привод-генератора ГП-26);
- Блок регулирования защиты и управления БРЗУ115ВО2с;
- Блок датчиков тока БДТ90К;
- Контактор ТКС233ОДЛ.

Привод-генератор ГП26

Привод-генератор является первичным источником переменного трёхфазного электрического тока стабильной частоты и предназначен для обеспечения электроэнергией бортовой сети самолёта.

Привод-генератор представляет собой агрегат, состоящий из гидромеханического привода постоянных оборотов (ППО), генератора переменного тока, размещённых в общем корпусе и имеющих общую систему смазки и охлаждения.

Привод-генератор ГП26 состоит из гидромеханического привода постоянных оборотов и генератора переменного тока.

Гидромеханический привод постоянных оборотов предназначен для обеспечения постоянной частоты вращения вала генератора. Постоянные обороты позволяют генератору производить мощность переменного тока с частотой от 392 до 408 Гц.

Генератор представляет собой трёхфазный синхронный бесщёточный генератор со встроенным трёхфазным возбудителем и вращающимся блоком диодов, предназначенным для питания обмотки возбуждения основного генератора постоянным током.

Генератор снабжён блоком трансформаторов тока для осуществления дифференциальной защиты линии передачи электроэнергии от генератора совместно с основным блоком датчиков тока по принципу циркуляции токов.

В генераторе имеется расцепитель, предназначенный для автоматического отсоединения вала генератора от привода при разрушении подшипника.

Блок БРЗУ115ВО2с

Блок БРЗУ115ВО2с обеспечивает регулирование напряжения генератора в точке регулирования, а также функции защиты и управления канала генерирования.

Блок представляет собой совмещённые в одном корпусе регулятор напряжения и устройства защиты и управления канала генерирования переменного трёхфазного тока постоянной частоты с генератором, имеющим силовую нейтраль и встроенный трёхфазный подвозбудитель.

Блок датчиков тока БДТ90К

В каждом канале генерирования устанавливаются два блока датчиков БДТ90К.

Блок БДТ90К совместно с трансформаторами тока, установленными в генераторе, обеспечивает выдачу в блок БРЗУ115ВО2с сигнала о коротком замыкании в генераторе или его фидере.

Контактор ТКС233ОДЛ

Контактор ТКС233ОДЛ предназначен для коммутации цепей переменного трёхфазного тока.

Шины центральных распределительных устройств (ЦРУ-1 и ЦРУ-2) с автоматами защиты АЗК100

Шины центральных распределительных устройств (ЦРУ-1 и ЦРУ-2) с автоматами защиты АЗК100 входят в состав системы распределения электроэнергии и обеспечивают коммутацию электрических нагрузок соответственно левого и правого бортов ВС.

1.3.1 Функции, реализуемые блоком БРЗУ

Функции, реализуемые блоком БРЗУ, рассмотрим на примере серийного блока отечественной разработки и производства БРЗУ115ВО2с. Данный блок установлен в каналах бортовых СЭС переменного тока постоянной частоты таких ВС, как Ил-96-300 и Ту-204-100.

Блок БРЗУ115ВО2с реализует функции управления, защиты, контроля и диагностирования технических состояний канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты.

Функции управления, реализуемые блоком БРЗУ115ВО2с:

- включение возбуждения генератора;
- отключение возбуждения генератора;
- выдача сигнала на включение контактора нагрузки;
- снятие сигнала на включение контактора нагрузки генератора;
- выдача сигнала на расцепление привода от двигателя в системах с гидроприводом при срабатывании защиты от сильного повышения частоты;
- снятие сигнала на расцепление привода от двигателя при снижении частоты тока ниже значения 320 Гц;
- необратимая выдача сигнала на ограничение момента гидролопаточного привода при срабатывании защиты от сильного повышения частоты;
- выдача сигнала «готовность» при положительном результате встроенного самоконтроля (ВСК);
- выдача сигнализации о перегрузке при токе генератора 1,02–1,32 от номинального с выдержкой времени $(4,0 \pm 1,0)$ с;
- снижение напряжения в зависимости от снижения частоты для обеспечения ограничения мощности, отбираемой от привода в режимах коротких замыканий в сети.

Функции и виды защит, реализуемых блоком БРЗУ115ВО2с:

– необратимая защита от коротких замыканий в генераторе или его фидере без выдержки времени (дифференциальная токовая защита);

– необратимая защита от повышения напряжения в любой из фаз выше (124 ± 3) В со следующими значениями выдержки времени при повышении напряжения в одной из фаз:

130 В – 0,15...0,5 с;

150 В – 0,1...0,2 с.

– необратимая защита от снижения напряжения в любой из фаз ниже (107 ± 3) В с выдержкой времени $(6,0 \pm 0,6)$ с;

– необратимая защита от отклонения частоты в самолетной системе ниже (375 ± 5) Гц или выше (425 ± 5) Гц с выдержкой времени $(6,0 \pm 0,6)$ с;

– необратимая защита от сильного повышения частоты (разнос) в самолетной системе выше 465–480 Гц без выдержки времени;

– обратимая защита от сильного снижения частоты (останов) ниже 320–335 Гц без выдержки времени;

– обратимая защита от снижения частоты в вертолетной системе ниже (355 ± 5) Гц с выдержкой времени $(6,0 \pm 0,6)$ с;

– необратимая защита от обрыва любой или двух фаз фидера либо нулевого провода генератора, приводящих к повышению или понижению напряжения в любой из фаз.

Функции по контролю и диагностированию технических состояний канала бортовой СЭС:

– проверка качества электроэнергии;

– проверка исправности защит и вторичного источника питания блока до включения канала в сеть;

– диагностирование отказов сменных изделий канала генерирования:

- привода постоянной частоты вращения (сигнал «Неисправность привода» – НПРВ);
- генератора-фидера (сигнал «Неисправность генератор-фидер» – НГТФ);
- блока регулирования, защиты и управления (сигнал «Неисправность БРЗУ» – НБРЗУ).

– выдачу сигнала «Генератор отключен» при любом положении выключателя генератора и при выключенном состоянии контактора нагрузки.

Таким образом, в результате диагностирования технических состояний канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты, блок БРЗУ определяет 4 технических состояния: исправное состояние S_0 и 3 состояния, возникающие при отказах S_1 , S_2 , S_3 .

Наименования, диагностируемых блоком БРЗУ технических состояний приведены в таблице 1.2.

Таблица 1.2. Диагностируемые блоком БРЗУ технические состояния канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты

	Наименование технического состояния канала генерирования	Обозначение
1	Исправное состояние канала генерирования	S_0
2	Срабатывание защиты (отказ привода). Выдача сигнала НПРВ.	S_1
3	Срабатывание защиты (отказ блока БРЗУ115ВО2с). Выдача сигнала НБРЗУ.	S_2
4	Срабатывание защиты (отказ «генератор-фидер»). Выдача сигнала НГТФ.	S_3

Рассмотрим далее технические состояния S_1 , S_2 , S_3 , возникающие при отказах канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты.

Техническое состояние S_1 – отказ привода и выдача сигнала НПРВ диагностируется БРЗУ в случае возникновения отказа в зоне привода постоянной частоты вращения (ППЧВ).

Техническое состояние S_2 – отказ блока БРЗУ и выдача сигнала НБРЗУ диагностируется БРЗУ в случае возникновения отказа в зоне блока БРЗУ, а также при отказах в генераторном и сетевом блоках трансформаторов тока.

Техническое состояние S_3 – отказ «генератор-фидер» и выдача сигнала НГТФ диагностируется БРЗУ в случае возникновения отказа в зоне «генератор-фидер».

1.3.2 Анализ возможных технических состояний канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты

Ранее было показано, что существующий блок БРЗУ диагностирует 4 технических состояния канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты:

- техническое состояние S_0 – исправное состояние канала генерирования;
- техническое состояние S_1 – отказ привода и выдача сигнала НПРВ диагностируется БРЗУ в случае возникновения отказа в зоне привода постоянной частоты вращения (ППЧВ);

– техническое состояние S_2 – отказ блока БРЗУ и выдача сигнала НБРЗУ диагностируется БРЗУ в случае возникновения отказа в зоне блока БРЗУ, а также при отказах в генераторном и сетевом блоках трансформаторов тока;

– техническое состояние S_3 – отказ «генератор-фидер» и выдача сигнала НГТФ диагностируется БРЗУ в случае возникновения отказа в зоне «генератор-фидер».

С точки зрения автора, следует выделить большее число возможных технических состояний, возникающих в процессе функционирования канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты.

Рассмотрим подробнее возможные отказы, которые могут возникнуть в зоне «генератор-фидер».

К зоне «генератор-фидер» относятся следующие отказы, возникающие в канале бортовой СЭС ВС:

- обрывы фаз фидера генератора;
- обрыв силового нулевого провода генератора;
- короткие замыкания (в зоне дифференциальной токовой защиты) фаз фидера генератора;
- обрывы измерительных цепей от точки регулирования до регулятора напряжения;
- обрыв измерительного нулевого провода регулятора напряжения;
- обрывы и короткие замыкания диодов вращающегося выпрямителя генератора.

При всех перечисленных выше видах отказов в зоне «генератор-фидер» блок БРЗУ диагностирует только одно техническое состояние – S_3 – отказ «генератор-фидер» и выдача сигнала НГТФ.

При этом, отказы могут быть, как в самом генераторе (обрывы и короткие замыкания диодов вращающегося выпрямителя генератора), так и в фидере генератора (обрывы фаз фидера генератора, обрыв силового нулевого провода генератора, короткие замыкания (в зоне дифференциальной токовой защиты) фаз фидера генератора), так и в измерительных цепях регулятора напряжения (обрывы измерительных цепей от точки регулирования до регулятора напряжения, обрыв измерительного нулевого провода регулятора напряжения).

Поэтому, возникает задача по разделению множества диагностируемых технических состояний S_3 , на отдельные технические состояния, которые будут определять конкретные отказы отдельно генератора, отдельно фидера генератора и отдельно измерительных цепей от точки регулирования до регулятора напряжения.

В таблице 1.3 приведены технические состояния, которые можно определить, как элементы расширенного множества технических состояний S_3 , возникающие при отказе в зоне «генератор-фидер».

Таблица 1.3. Элементы множества технических состояний S_3 , возникающие при отказе в зоне «генератор-фидер»

	Наименование технического состояния канала генерирования	Обозначение
1	Обрыв диода вращающегося выпрямителя генератора	$S_{3,1}$
2	Обрыв двух диодов одной группы плеч вращающегося выпрямителя генератора	$S_{3,2}$
3	Обрыв двух диодов разных групп плеч и фаз вращающегося выпрямителя генератора	$S_{3,3}$
4	Обрыв двух диодов разных групп плеч и одной фазы вращающегося выпрямителя генератора	$S_{3,4}$
5	Короткое замыкание диода вращающегося выпрямителя генератора	$S_{3,5}$
6	Короткое замыкание двух диодов одной группы плеч вращающегося выпрямителя генератора	$S_{3,6}$
7	Короткое замыкание двух диодов разных групп плеч и фаз вращающегося выпрямителя генератора	$S_{3,7}$
8	Обрыв фазы «А» фидера генератора	$S_{3,8}$
9	Обрыв фазы «В» фидера генератора	$S_{3,9}$
10	Обрыв фазы «С» фидера генератора	$S_{3,10}$
11	Обрывы фаз «А» и «В» фидера генератора	$S_{3,11}$
12	Обрывы фаз «В» и «С» фидера генератора	$S_{3,12}$
13	Обрывы фаз «С» и «А» фидера генератора	$S_{3,13}$
14	Обрывы фаз «А», «В» и «С» фидера генератора	$S_{3,14}$
15	Обрыв силового нулевого провода генератора	$S_{3,15}$
16	Короткое замыкание фазы «А» фидера генератора (вне зоны действия дифференциальной токовой защиты) на корпус	$S_{3,16}$
17	Короткое замыкание фазы «В» фидера генератора (вне зоны действия дифференциальной токовой защиты) на корпус	$S_{3,17}$
18	Короткое замыкание фазы «С» фидера генератора (вне зоны действия дифференциальной токовой защиты) на корпус	$S_{3,18}$

Таблица 1.3. (продолжение)

	Наименование технического состояния канала генерирования	Обозначение
19	Междуфазное короткое замыкание фаз «А» и «В» фидера генератора (вне зоны действия дифференциальной токовой защиты)	$S_{3,19}$
20	Междуфазное короткое замыкание фаз «В» и «С» фидера генератора (вне зоны действия дифференциальной токовой защиты)	$S_{3,20}$
21	Междуфазное короткое замыкание фаз «С» и «А» фидера генератора (вне зоны действия дифференциальной токовой защиты)	$S_{3,21}$
22	Междуфазное короткое замыкание фазы «А», «В» и «С» фидера генератора (вне зоны действия дифференциальной токовой защиты)	$S_{3,22}$
23	Обрыв измерительного провода фазы «А» регулятора напряжения	$S_{3,23}$
24	Обрыв измерительного провода фазы «В» регулятора напряжения	$S_{3,24}$
25	Обрыв измерительного провода фазы «С» регулятора напряжения	$S_{3,25}$
26	Обрыв измерительных проводов фаз «А» и «В» регулятора напряжения	$S_{3,26}$
27	Обрыв измерительных проводов фаз «В» и «С» регулятора напряжения	$S_{3,27}$
28	Обрыв измерительных проводов фаз «С» и «А» регулятора напряжения	$S_{3,28}$
29	Обрыв измерительных проводов фаз «А», «В» и «С» регулятора напряжения	$S_{3,29}$
30	Обрыв измерительного провода нулевого провода регулятора напряжения	$S_{3,30}$

Таким образом, техническое состояние S_3 , возникающее при отказе в зоне «генератор-фидер» можно разделить на 30 отдельных технических состояний.

С учётом таблиц 1.2 и 1.3 можно определить множество всех технических состояний, возникающих в канале бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты, представленных в таблице 1.4:

Таблица 1.4. Элементы расширенного множества технических состояний, возникающих в канале бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты

	Наименование технического состояния канала генерирования	Обозначение
1	Исправное состояние канала генерирования	S_0
2	Срабатывание защиты (отказ привода). Выдача сигнала НПРВ.	S_1
3	Срабатывание защиты (отказ блока БРЗУ115ВО2с). Выдача сигнала НБРЗУ.	S_2
4	Обрыв диода вращающегося выпрямителя генератора. Срабатывание защиты (отказ «генератор-фидер»). Выдача сигнала НГТФ.	$S_{3,1}$
5	Обрыв двух диодов одной группы плеч вращающегося выпрямителя генератора. Срабатывание защиты (отказ «генератор-фидер»). Выдача сигнала НГТФ.	$S_{3,2}$
6	Обрыв двух диодов разных групп плеч и фаз вращающегося выпрямителя генератора. Срабатывание защиты (отказ «генератор-фидер»). Выдача сигнала НГТФ.	$S_{3,3}$
7	Обрыв двух диодов разных групп плеч и одной фазы вращающегося выпрямителя генератора. Срабатывание защиты (отказ «генератор-фидер»). Выдача сигнала НГТФ.	$S_{3,4}$
8	Короткое замыкание диода вращающегося выпрямителя генератора. Срабатывание защиты (отказ «генератор-фидер»). Выдача сигнала НГТФ.	$S_{3,5}$
9	Короткое замыкание двух диодов одной группы плеч вращающегося выпрямителя генератора. Срабатывание защиты (отказ «генератор-фидер»). Выдача сигнала НГТФ.	$S_{3,6}$
10	Короткое замыкание двух диодов разных групп плеч и фаз вращающегося выпрямителя генератора. Срабатывание защиты (отказ «генератор-фидер»). Выдача сигнала НГТФ.	$S_{3,7}$
11	Обрыв фазы «А» фидера генератора. Срабатывание защиты (отказ «генератор-фидер»). Выдача сигнала НГТФ.	$S_{3,8}$
12	Обрыв фазы «В» фидера генератора. Срабатывание защиты (отказ «генератор-фидер»). Выдача сигнала НГТФ.	$S_{3,9}$
13	Обрыв фазы «С» фидера генератора. Срабатывание защиты (отказ «генератор-фидер»). Выдача сигнала НГТФ.	$S_{3,10}$

Таблица 1.4. (продолжение)

	Наименование технического состояния канала генерирования	Обозначение
14	Обрывы фаз «А» и «В» фидера генератора. Срабатывание защиты (отказ «генератор-фидер»). Выдача сигнала НГТФ.	$S_{3,11}$
15	Обрывы фаз «В» и «С» фидера генератора. Срабатывание защиты (отказ «генератор-фидер»). Выдача сигнала НГТФ.	$S_{3,12}$
16	Обрывы фаз «С» и «А» фидера генератора. Срабатывание защиты (отказ «генератор-фидер»). Выдача сигнала НГТФ.	$S_{3,13}$
17	Обрывы фаз «А», «В» и «С» фидера генератора. Срабатывание защиты (отказ «генератор-фидер»). Выдача сигнала НГТФ.	$S_{3,14}$
18	Обрыв силового нулевого провода генератора. Срабатывание защиты (отказ «генератор-фидер»). Выдача сигнала НГТФ.	$S_{3,15}$
19	Короткое замыкание фазы «А» фидера генератора (вне зоны действия дифференциальной токовой защиты) на корпус. Срабатывание защиты (отказ «генератор-фидер»). Выдача сигнала НГТФ.	$S_{3,16}$
20	Короткое замыкание фазы «В» фидера генератора (вне зоны действия дифференциальной токовой защиты) на корпус. Срабатывание защиты (отказ «генератор-фидер»). Выдача сигнала НГТФ.	$S_{3,17}$
21	Короткое замыкание фазы «С» фидера генератора (вне зоны действия дифференциальной токовой защиты) на корпус. Срабатывание защиты (отказ «генератор-фидер»). Выдача сигнала НГТФ.	$S_{3,18}$
22	Междуфазное короткое замыкание фаз «А» и «В» фидера генератора (вне зоны действия дифференциальной токовой защиты). Срабатывание защиты (отказ «генератор-фидер»). Выдача сигнала НГТФ.	$S_{3,19}$
23	Междуфазное короткое замыкание фаз «В» и «С» фидера генератора (вне зоны действия дифференциальной токовой защиты). Срабатывание защиты (отказ «генератор-фидер»). Выдача сигнала НГТФ.	$S_{3,20}$
24	Междуфазное короткое замыкание фаз «С» и «А» фидера генератора (вне зоны действия дифференциальной токовой защиты). Срабатывание защиты (отказ «генератор-фидер»). Выдача сигнала НГТФ.	$S_{3,21}$

Таблица 1.4. (продолжение)

	Наименование технического состояния канала генерирования	Обозначение
25	Междуфазное короткое замыкание фазы «А», «В» и «С» фидера генератора (вне зоны действия дифференциальной токовой защиты). Срабатывание защиты (отказ «генератор-фидер»). Выдача сигнала НГТФ.	$S_{3,22}$
26	Обрыв измерительного провода фазы «А» регулятора напряжения. Срабатывание защиты (отказ «генератор-фидер»). Выдача сигнала НГТФ.	$S_{3,23}$
27	Обрыв измерительного провода фазы «В» регулятора напряжения. Срабатывание защиты (отказ «генератор-фидер»). Выдача сигнала НГТФ.	$S_{3,24}$
28	Обрыв измерительного провода фазы «С» регулятора напряжения. Срабатывание защиты (отказ «генератор-фидер»). Выдача сигнала НГТФ.	$S_{3,25}$
29	Обрыв измерительных проводов фаз «А» и «В» регулятора напряжения. Срабатывание защиты (отказ «генератор-фидер»). Выдача сигнала НГТФ.	$S_{3,26}$
30	Обрыв измерительных проводов фаз «В» и «С» регулятора напряжения. Срабатывание защиты (отказ «генератор-фидер»). Выдача сигнала НГТФ.	$S_{3,27}$
31	Обрыв измерительных проводов фаз «С» и «А» регулятора напряжения. Срабатывание защиты (отказ «генератор-фидер»). Выдача сигнала НГТФ.	$S_{3,28}$
32	Обрыв измерительных проводов фаз «А», «В» и «С» регулятора напряжения. Срабатывание защиты (отказ «генератор-фидер»). Выдача сигнала НГТФ.	$S_{3,29}$
33	Обрыв измерительного нулевого провода регулятора напряжения. Срабатывание защиты (отказ «генератор-фидер»). Выдача сигнала НГТФ.	$S_{3,30}$

С учётом таблиц 1.3 и 1.4, а также элементов расширенного множества технических состояний S_3 , возникающих при отказах в зоне «генератор-фидер», далее формулируется задача по идентификации каждого отдельного технического состояния возникающего в зоне «генератор-фидер», а также прогнозирования технического состояния канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты.

Решением задачи по идентификации каждого отдельного технического состояния, возникающего в зоне «генератор-фидер» является алгоритм диагностирования, позволяющий различить все вышеуказанные технические состояния. Для получения такого алгоритма диагностирования необходимо выполнить следующую последовательность действий:

1. Получить переходные процессы мгновенных значений напряжений фаз «А», «В» и «С» в точке регулирования для каждого отдельного технического состояния из расширенного множества технических состояний канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты, приведённых в таблице 1.3.

2. Выбрать критерий идентификации каждого отдельного технического состояния из расширенного множества технических состояний канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты по полученным переходным процессам в пункте 1. То есть необходимо выбрать определяющие параметры, по значениям которых можно будет идентифицировать каждое отдельное техническое состояние из расширенного множества технических состояний канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты, приведённых в таблице 1.3.

3. Определить различающие функции для каждого отдельного технического состояния из расширенного множества технических состояний канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты, приведённых в таблице 1.3 на основе значений определяющих параметров, рассчитанных в пункте 2 для каждого отдельного технического состояния из расширенного множества технических состояний канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты.

4. Выполнить прогнозирование значений определяющих параметров.

5. Разработать алгоритм диагностирования расширенного множества технических состояний канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты с прогнозированием значений определяющих параметров.

Рассмотрим далее каждый из пунктов, которые необходимо выполнить, чтобы получить алгоритм диагностирования.

Получение переходных процессов мгновенных значений напряжений фаз «А», «В» и «С» в точке регулирования для каждого отдельного технического состояния из расширенного множества технических состояний канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты, приведённых в таблице 1.3 возможно осуществить двумя способами.

Первый способ основан на проведении испытаний на реальном объекте, то есть на канале бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты. В этом случае при испытаниях необходимо симитировать каждое отдельное техническое состояние канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты и с помощью средств измерения и регистрации получить соответствующие переходные процессы.

Второй способ основан на получении переходных процессов с помощью имитационных моделей канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты и его элементов. Имитационные модели канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты и его элементов могут быть разработаны по соответствующим математическим моделям канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты и его элементов, в одной из распространённых сред имитационного моделирования: MATLAB/Simulink, Scilab/Xcos, SimInTech.

Первый способ достаточно сложно реализовать, поскольку, для его осуществления автору потребуется доступ на предприятие-разработчик агрегатов бортовых СЭС ВС, а также разрешение на проведение таких испытаний, автор такими ресурсами не обладает. Кроме того, отдельные технические состояния, такие как обрывы и короткие замыкания диодов вращающегося выпрямителя генератора технически не представляется возможным симитировать в ходе испытаний. Поэтому для решения поставленной задачи автором выбран второй способ получения переходных процессов, то есть с помощью имитационных моделей канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты и его элементов.

В качестве критерия идентификации по полученным переходным процессам мгновенных значений фазных напряжений в точке регулирования соответствующих технических состояний канала бортовой СЭС ВС переменного тока может быть выбрано интегральное преобразование: преобразование Гильберта, вейвлет-преобразование, преобразование Фурье. Исходя из удобства математической и программной реализации, в качестве критерия идентификации автором выбрано преобразование Фурье. Поскольку, мгновенные значения напряжений фаз «А», «В» и «С» в точке регулирования представляют собой гармонические функции, для каждой из которых возможно выполнить разложения по гармоническим составляющим в ряд Фурье, определив, таким образом, коэффициенты гармонических составляющих для напряжений фаз «А», «В» и «С» в точке регулирования. По определённым значениям коэффициентов гармонических составляющих для напряжений фаз «А», «В» и «С» в точке регулирования далее можно определить коэффициенты искажения напряжений фаз «А», «В» и «С» в точке регулирования, а также действующие значения напряжений фаз «А», «В» и «С». Таким образом, определённые коэффициенты гармонических составляющих для напряжений фаз «А», «В» и «С» в точке регулирования, коэффициенты искажения напряжений фаз «А», «В» и «С» в точке регулирования, а также действующие значения напряжений фаз «А», «В» и «С» следует принять в качестве определяющих параметров, по значениям которых можно будет идентифицировать каждое отдельное техническое состояние из расширенного множества технических состояний канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты.

Различающая функция каждого отдельного технического состояния канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты – это логическая функция однозначно определяющая соответствующее техническое состояние. Различающие функции каждого отдельного технического состояния канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты определяются на основе рассчитанных значений определяющих параметров – коэффициентов гармонических составляющих для напряжений фаз «А», «В» и «С» в точке регулирования, коэффициентов искажения напряжений фаз «А», «В» и «С» в точке регулирования, а также действующих значений напряжений фаз «А», «В» и «С». Для получения различающих функций необходимо использовать методы, указанные в работах [21 – 23, 62, 63].

Прогнозирование значений определяющих параметров: коэффициентов гармонических составляющих напряжений фаз «А», «В» и «С», коэффициентов искажения напряжений фаз «А», «В» и «С», а также действующих значений напряжений фаз «А», «В» и «С» в точке регулирования следует выполнить с помощью интерполяционных полиномов Лагранжа.

Алгоритм диагностирования технических состояний канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты с прогнозированием значений определяющих параметров реализуется с помощью языка блок-схем.

1.4 Математическое и имитационное моделирование электроэнергетических систем

Вопросам исследования и моделирования электроэнергетических систем и их элементов посвящены многочисленные работы отечественных ученых С. А. Лебедева, А. А. Горева, В. С. Кулебакина, А. И. Важнова, М. П. Костенко, В. А. Веникова, Л. П. Веретенникова, В. Т. Морозовского, И. М. Синдеева, В. И. Кривенцева, В. В. Кушнерёва, А. А. Савёлова, Ю. П. Артеменко, С. П. Халютин, Б. В. Жмурова и многих других.

Известные модели электроэнергетических систем различаются по виду используемой аналогии, средствам реализации. В литературе выделяют модели прямой аналогии (физические), аналоговые, цифровые и гибридные модели, а также специальные моделирующие устройства.

Выбор тех или иных моделей определяется ресурсами и возможностями средств реализации, исходя из соображений точности получаемых результатов, быстроты моделирования, экономичности, удобства и доступности для широкого круга пользователей.

Физические модели применяются, как правило, в большой электроэнергетике. Для моделирования автономных СЭС они не получили распространения из-за относительно малых мощностей систем.

При моделировании бортовых СЭС самолётов следует учитывать специфические особенности: резкие изменения напряжения при коммутациях нагрузок и авариях, связанные с соизмеримой мощностью источников и приемников электроэнергии; значительное быстродействие и точность регуляторов напряжения; большие постоянные времени электромеханических процессов по сравнению с электромагнитными; необходимость учета насыщения магнитопроводов электрических машин; наличие существенных нелинейностей параметров элементов СЭС и т.д.

Динамические процессы в бортовых СЭС ВС, как правило, моделируются без учета коммутационной аппаратуры и распределительных сетей. Имеется возможность в одноканальных СЭС рассматривать электромагнитные процессы при постоянной частоте вращения ротора генератора, как показано в [19].

На начальных стадиях развития электронно-вычислительной техники получили широкое распространение аналоговые вычислительные машины (АВМ). Они имели большую скорость решения, возможность подключения реальной аппаратуры и наглядность процессов, а также высокую для того времени надежность аппаратуры.

Применение цифровых вычислительных машин (ЦВМ) в тот период ограничивалось, несмотря на высокую точность, их недостатками: медленными скоростями работы, низкой надёжностью, отсутствием языков высокого уровня.

В ходе своего развития ЦВМ обрели большое быстродействие, большой объем памяти, развитые периферийные устройства и ассортимент математического обеспечения, что и привело к их широкому использованию для моделирования.

Отличались своей конкурентоспособностью гибридные модели, состоящие из ЦВМ и АВМ. Им была присуща высокая скорость расчетов и удобство вывода результатов через цифровую часть. Но их точность ограничивалась точностью АВМ и устройств сопряжения АВМ и ЦВМ.

В специальных моделирующих электронно-аналоговых устройствах математические модели реализовывались при помощи жестких электронных схем, позволяющих варьировать только параметрами исследуемых объектов. Они не нашли распространения по причине отсутствия универсальности и точности, подобной точности АВМ.

В настоящее время подавляющее применение находят цифровые модели. Это объясняется следующими причинами:

- системы автоматического проектирования СЭС строятся на базе ЭВМ. Удобство расчетов и ведения проектов на компьютерах безальтернативно;
- динамические процессы в СЭС описываются системами нелинейных дифференциальных уравнений (ДУ). Удобство применения ЦВМ для их решения очевидно;
- прогрессирующее развитие вычислительной техники обуславливает стремительно уменьшающееся время расчетов при использовании её последних достижений;
- технические и программные средства позволяют строить удобные для пользователей интерфейсы;
- работа программистов значительно упростилась с появлением языков высокого уровня;
- при помощи ЭВМ возможна реализация алгоритмов автоматического анализа СЭС с изменяющимися структурами и состояниями элементов.

Все существующие модели, изложенные в научных трудах вышеназванных авторов, имеют один недостаток: эти модели привязаны к конкретным структурам и режимам СЭС, реализованы в виде жестких программ, не позволяющих учитывать изменения конфигурации СЭС. Это ограничивает сферу использования моделей и позволяет проводить исследования только в рамках заданной структуры и в ограниченном составе режимов.

В процессе проектирования бортовых СЭС ВС, особенно на начальных стадиях, разработчикам приходится варьировать структуру или заменять отдельные элементы системы. Требования ГОСТ Р 54073-2017 оговаривают качество электроэнергии в различных режимах работы (коммутации симметричных и несимметричных статических нагрузок, двигательных нагрузок и т.п.). Возможно наличие особенных требований к проектируемой системе, как например, требования к процессам при пуске асинхронного двигателя соизмеримой мощности. В такой ситуации, когда может изменяться и структура, и элементный состав, и режимы работы моделируемой бортовой СЭС ВС, не представляется возможным использование ни одной из существующих моделей. Поэтому возникает необходимость в разработке цифровой модели, которая позволяла бы моделировать произвольные структуры и различные режимы работы СЭС с обширной элементной базой.

Разные авторы дают в своих работах различные определения понятий «цифровая модель» и «цифровое моделирование». В связи с этим требуется уточнить эти понятия. В данной работе мы будем использовать приведенные ниже определения.

Цифровая модель СЭС (имитационная модель) – совокупность программ, реализующих на ЭВМ логико-математическое описание процессов и характеристик системы при заданной исходной информации, конкретизирующей моделируемые процессы. Следовательно,

имитационная модель включает три основных компонента: математическую модель, программно–техническую составляющую и информационное обеспечение.

Цифровое моделирование представляет собой процесс создания и функционирования имитационных моделей СЭС, организуемый пользователем с целью воспроизведения процессов в изучаемой системе. Следовательно, процесс цифрового моделирования к компонентам цифровой модели добавляет ещё один – организационное обеспечение.

В состав математической части входят уравнения, описывающие поведение объектов, а также методы их составления и решения. К программно-технической части следует отнести компьютерное оборудование, общесистемное программное обеспечение (ПО) и прикладное ПО для моделирования. К информационному обеспечению мы отнесём различные данные параметров элементов СЭС, начальные условия, задающие исходный режим работы. В состав организационного обеспечения поместим техническую документацию по руководству проведения моделирования СЭС при помощи конкретного ПО.

Проблема широкого практического применения моделей СЭС с произвольными структурами, обширной элементной базой, различными режимами работы не может быть удовлетворена за счет пропорционального роста номенклатуры цифровых моделей, базирующихся на жестких программах с фиксированной структурой и режимами СЭС. Такой подход требует неоправданного расхода времени, сил и средств. Поэтому взамен традиционных моделей частного характера необходимо разработать гибкую цифровую модель (ГЦМ), в которой на основании заданных структур и режимов СЭС совокупная модель всей СЭС синтезировалась бы автоматически.

1.5 Выводы по главе 1

1. Проведён анализ состояния безопасности полётов по распределениям отказов бортовых систем.

2. Рассмотрены виды и состав бортовых СЭС ВС.

3. Рассмотрена СЭС переменного тока постоянной частоты конкретного типа ВС с регулирующей и защитной аппаратурой. Проведён анализ диагностируемых технических состояний канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты.

4. Проведён анализ определения расширенного множества возможных технических состояний канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты.

5. Поставлена задача и определена последовательность действий для получения алгоритма диагностирования расширенного множества возможных технических состояний канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты с прогнозированием значений определяющих параметров:

- разработка математических и имитационных моделей агрегатов канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты;

- имитационное моделирование каждого отдельного технического состояния из расширенного множества технических состояний канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты;

- определение значений определяющих параметров – коэффициентов гармонических составляющих напряжений фаз «А», «В», «С» в точке регулирования, коэффициентов искажения напряжений фаз «А», «В», «С» в точке регулирования, действующих значений напряжений фаз «А», «В», «С» в точке регулирования для каждого отдельного технического состояния из расширенного множества технических состояний канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты;

- определение различающих функций для каждого отдельного технического состояния из расширенного множества технических состояний канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты на основе определённых значений определяющих параметров для каждого отдельного технического состояния из расширенного множества технических состояний канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты;

- прогнозирование значений определяющих параметров;

- разработка алгоритма диагностирования расширенного множества технических состояний канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты с прогнозированием значений определяющих параметров.

Данная задача будет решена в последующих главах настоящей работы.

2 Математическое моделирование элементов канала бортовой СЭС переменного тока

Рассмотрим типовую структурную схему канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты (рисунок 2.1).

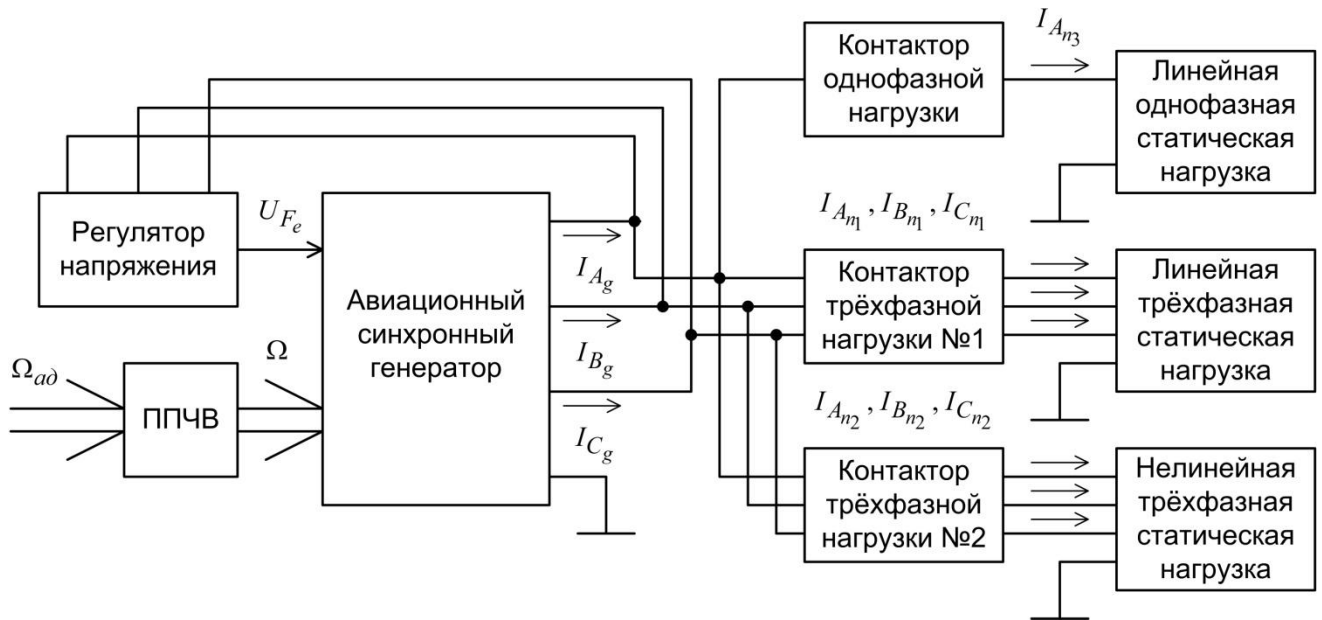


Рисунок 2.1. Структурная схема канала бортовой СЭС переменного тока постоянной частоты

В состав канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты входят: авиационный синхронный генератор серии ГТ, регулятор напряжения, привод постоянной частоты вращения (ППЧВ), контакторы трёхфазных и однофазной нагрузок, линейная трёхфазная нагрузка, нелинейная трёхфазная нагрузка и линейная однофазная нагрузка.

На рисунке 2.1 обозначены: $\Omega_{ад}$ – скорость вращения входного вала ППЧВ (от авиадвигателя); Ω – скорость вращения выходного вала ППЧВ; U_{Fe} – напряжение на обмотке возбуждения возбудителя; I_{A_g} – ток фазы «А» генератора; I_{B_g} – ток фазы «В» генератора; I_{C_g} – ток фазы «С» генератора; $I_{A_{н1}}$ – ток фазы «А» линейной трёхфазной нагрузки; $I_{B_{н1}}$ – ток фазы «В» линейной трёхфазной нагрузки; $I_{C_{н1}}$ – ток фазы «С» линейной трёхфазной нагрузки; $I_{A_{н2}}$ – ток фазы «А» нелинейной трёхфазной нагрузки; $I_{B_{н2}}$ – ток фазы «В» нелинейной трёхфазной нагрузки; $I_{C_{н2}}$ – ток фазы «С» нелинейной трёхфазной нагрузки; $I_{A_{н3}}$ – ток фазы «А» линейной однофазной нагрузки.

Получим далее математические модели элементов канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты.

2.1 Математическое моделирование авиационного синхронного генератора

Авиационный синхронный генератор представлен в виде каскадного соединения трёх электрических машин: подвозбудителя, возбудителя, основного генератора. При получении математической модели авиационного синхронного генератора использовались материалы работ [1 – 3, 10 – 105].

2.1.1 Математическое моделирование основного генератора

При реализации математической модели электрической части основного генератора использовались результаты, полученные в работах [11, 12, 43 – 51, 80 – 82].

Математическая модель электрической части основного генератора описывается системой матричных уравнений:

$$\begin{cases} \begin{bmatrix} U_{S_g} \end{bmatrix} = -\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \Psi_{S_g} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} R_{S_g} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_{S_g} \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} U_{R_g} \end{bmatrix} = \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \Psi_{R_g} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} R_{R_g} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_{R_g} \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} \Psi_{S_g} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_{SS_g} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_{S_g} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L_{SR_g} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_{R_g} \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} \Psi_{R_g} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_{RS_g} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_{S_g} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L_{RR_g} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_{R_g} \end{bmatrix} \end{cases}, \quad (2.1)$$

где $\begin{bmatrix} U_{S_g} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U_{A_g} \\ U_{B_g} \\ U_{C_g} \end{bmatrix}$ – вектор-столбец фазных напряжений основного генератора;

U_{A_g} – напряжение фазы «А» обмотки статора основного генератора;

U_{B_g} – напряжение фазы «В» обмотки статора основного генератора;

U_{C_g} – напряжение фазы «С» обмотки статора основного генератора;

$\begin{bmatrix} U_{R_g} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U_{F_g} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$ – вектор-столбец напряжений цепей ротора основного генератора;

U_{F_g} – напряжение обмотки возбуждения основного генератора;

$$\begin{bmatrix} \Psi_{S_g} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Psi_{A_g} \\ \Psi_{B_g} \\ \Psi_{C_g} \end{bmatrix} \text{ – вектор-столбец потокосцеплений фаз обмотки статора основного}$$

генератора;

Ψ_{A_g} – потокосцепление фазы «А» обмотки статора основного генератора;

Ψ_{B_g} – потокосцепление фазы «В» обмотки статора основного генератора;

Ψ_{C_g} – потокосцепление фазы «С» обмотки статора основного генератора;

$$\begin{bmatrix} \Psi_{R_g} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Psi_{F_g} \\ \Psi_{Rd_g} \\ \Psi_{Rq_g} \end{bmatrix} \text{ – вектор-столбец потокосцеплений контуров ротора основного}$$

генератора;

Ψ_{F_g} – потокосцепление обмотки возбуждения основного генератора;

Ψ_{Rd_g} – потокосцепление продольного демпферного контура основного генератора;

Ψ_{Rq_g} – потокосцепление поперечного демпферного контура основного генератора;

$$\begin{bmatrix} I_{S_g} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_{A_g} \\ I_{B_g} \\ I_{C_g} \end{bmatrix} \text{ – вектор-столбец фазных токов основного генератора;}$$

$$\begin{bmatrix} I_{R_g} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_{F_g} \\ I_{Rd_g} \\ I_{Rq_g} \end{bmatrix} \text{ – вектор-столбец токов роторных цепей основного генератора;}$$

I_{F_g} – ток обмотки возбуждения основного генератора; I_{Rd_g} – ток продольного демпферного контура основного генератора; I_{Rq_g} – ток поперечного демпферного контура основного генератора;

$$\begin{bmatrix} R_{S_g} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_g & 0 & 0 \\ 0 & R_g & 0 \\ 0 & 0 & R_g \end{bmatrix} \text{ – матрица активных сопротивлений фаз обмотки статора}$$

основного генератора; R_g – активное сопротивление фазы обмотки статора основного генератора;

$$\left[R_{R_g} \right] = \begin{bmatrix} R_{F_g} & 0 & 0 \\ 0 & R_{Rd_g} & 0 \\ 0 & 0 & R_{Rq_g} \end{bmatrix} \quad - \text{ матрица активных сопротивлений цепей ротора}$$

основного генератора; R_{F_g} – активное сопротивление обмотки возбуждения основного генератора; R_{Rd_g} – активное сопротивление продольного демпферного контура основного генератора; R_{Rq_g} – активное сопротивление поперечного демпферного контура основного генератора;

$$\left[L_{SS_g} \right] = \begin{bmatrix} L_{A_g} & M_{AB_g} & M_{AC_g} \\ M_{BA_g} & L_{B_g} & M_{BC_g} \\ M_{CA_g} & M_{CB_g} & L_{C_g} \end{bmatrix} \quad - \text{ матрица индуктивностей и взаимных}$$

индуктивностей фаз обмотки статора основного генератора; L_{A_g} – индуктивность фазы «А» обмотки статора основного генератора; M_{AB_g} – взаимная индуктивность между фазами «А» и «В» обмотки статора основного генератора; M_{AC_g} – взаимная индуктивность между фазами «А» и «С» обмотки статора основного генератора; M_{BA_g} – взаимная индуктивность между фазами «В» и «А» обмотки статора основного генератора; L_{B_g} – индуктивность фазы «В» обмотки статора основного генератора; M_{BC_g} – взаимная индуктивность между фазами «В» и «С» обмотки статора основного генератора; M_{CA_g} – взаимная индуктивность между фазами «С» и «А» обмотки статора основного генератора; M_{CB_g} – взаимная индуктивность между фазами «С» и «В» обмотки статора основного генератора; L_{C_g} – индуктивность фазы «С» обмотки статора основного генератора;

$$\left[L_{SR_g} \right] = \begin{bmatrix} M_{AF_g} & M_{ARd_g} & M_{ARq_g} \\ M_{BF_g} & M_{BRd_g} & M_{BRq_g} \\ M_{CF_g} & M_{CRd_g} & M_{CRq_g} \end{bmatrix} \quad - \text{ матрица взаимных индуктивностей фаз обмотки}$$

статора и цепей ротора основного генератора; M_{AF_g} – взаимная индуктивность между фазой «А» обмотки статора и обмоткой возбуждения основного генератора; M_{ARd_g} – взаимная индуктивность между фазой «А» обмотки статора и продольным демпферным контуром

основного генератора; M_{ARq_g} – взаимная индуктивность между фазой «А» обмотки статора и поперечным демпферным контуром основного генератора; M_{BF_g} – взаимная индуктивность между фазой «В» обмотки статора и обмоткой возбуждения основного генератора; M_{BRd_g} – взаимная индуктивность между фазой «В» обмотки статора и продольным демпферным контуром основного генератора; M_{BRq_g} – взаимная индуктивность между фазой «В» обмотки статора и поперечным демпферным контуром основного генератора; M_{CF_g} – взаимная индуктивность между фазой «С» обмотки статора и обмоткой возбуждения основного генератора; M_{CRd_g} – взаимная индуктивность между фазой «С» обмотки статора и продольным демпферным контуром основного генератора; M_{CRq_g} – взаимная индуктивность между фазой «С» обмотки статора и поперечным демпферным контуром основного генератора;

$$\left[L_{RS_g} \right] = \begin{bmatrix} M_{FA_g} & M_{FB_g} & M_{FC_g} \\ M_{RdA_g} & M_{RdB_g} & M_{RdC_g} \\ M_{RqA_g} & M_{RqB_g} & M_{RqC_g} \end{bmatrix} \text{ – матрица взаимных индуктивностей цепей ротора}$$

и фаз обмотки статора основного генератора; M_{FA_g} – взаимная индуктивность между обмоткой возбуждения и фазой «А» обмотки статора основного генератора; M_{FB_g} – взаимная индуктивность между обмоткой возбуждения и фазой «В» обмотки статора основного генератора; M_{FC_g} – взаимная индуктивность между обмоткой возбуждения и фазой «С» обмотки статора основного генератора; M_{RdA_g} – взаимная индуктивность между продольным демпферным контуром и фазой «А» обмотки статора основного генератора; M_{RdB_g} – взаимная индуктивность между продольным демпферным контуром и фазой «В» обмотки статора основного генератора; M_{RdC_g} – взаимная индуктивность между продольным демпферным контуром и фазой «С» обмотки статора основного генератора; M_{RqA_g} – взаимная индуктивность между поперечным демпферным контуром и фазой «А» обмотки статора основного генератора; M_{RqB_g} – взаимная индуктивность между поперечным демпферным контуром и фазой «В» обмотки статора основного генератора; M_{RqC_g} – взаимная индуктивность между поперечным демпферным контуром и фазой «С» обмотки статора основного генератора;

$$\left[L_{RR_g} \right] = \begin{bmatrix} L_{F_g} & M_{FRd_g} & 0 \\ M_{RdF_g} & L_{Rd_g} & 0 \\ 0 & 0 & L_{Rq_g} \end{bmatrix} \quad - \quad \text{матрица индуктивностей и взаимных}$$

индуктивностей цепей ротора основного генератора; L_{F_g} – индуктивность обмотки возбуждения основного генератора; M_{FRd_g} – взаимная индуктивность между обмоткой возбуждения и продольным демпферным контуром основного генератора; M_{RdF_g} – взаимная индуктивность между продольным демпферным контуром и обмоткой возбуждения основного генератора; L_{Rd_g} – индуктивность продольного демпферного контура основного генератора; L_{Rq_g} – индуктивность поперечного демпферного контура основного генератора.

Выражения для индуктивностей фаз обмотки статора основного генератора:

$$L_{A_g} = l_{0_g} + l_{2_g} \cos(2\gamma_g(t)), \quad (2.2)$$

где $\gamma_g(t)$ – электрический угол поворота ротора основного генератора;

$$\gamma_g(t) = \int_0^t \omega_g(\tau) d\tau, \quad (2.3)$$

$\omega_g(t)$ – мгновенная частота вращения ротора основного генератора,

$$L_{B_g} = l_{0_g} + l_{2_g} \cos\left(2\gamma_g(t) + \frac{2\pi}{3}\right), \quad (2.4)$$

$$L_{C_g} = l_{0_g} + l_{2_g} \cos\left(2\gamma_g(t) - \frac{2\pi}{3}\right), \quad (2.5)$$

Выражения для взаимных индуктивностей фаз обмотки статора основного генератора:

$$M_{AB_g} = M_{BA_g} = m_{0_g} + l_{2_g} \cos\left(2\gamma_g(t) - \frac{2\pi}{3}\right), \quad (2.6)$$

$$M_{BC_g} = M_{CB_g} = m_{0_g} + l_{2_g} \cos(2\gamma_g(t)), \quad (2.7)$$

$$M_{AC_g} = M_{CA_g} = m_{0_g} + l_{2_g} \cos\left(2\gamma_g(t) + \frac{2\pi}{3}\right). \quad (2.8)$$

Выражения для взаимных индуктивностей фаз обмотки статора и обмотки возбуждения основного генератора:

$$M_{AF_g} = M_{FA_g} = \tilde{M}_{AFd_g} \cos(\gamma_g(t)), \quad (2.9)$$

$$M_{BF_g} = M_{FB_g} = \tilde{M}_{AFd_g} \cos\left(\gamma_g(t) - \frac{2\pi}{3}\right), \quad (2.10)$$

$$M_{CF_g} = M_{FC_g} = \tilde{M}_{AFd_g} \cos\left(\gamma_g(t) + \frac{2\pi}{3}\right). \quad (2.11)$$

Выражения для взаимных индуктивностей фаз обмотки статора и продольного демпферного контура основного генератора:

$$M_{ARd_g} = M_{RdA_g} = \tilde{M}_{ARd_g} \cos\left(\gamma_g(t)\right), \quad (2.12)$$

$$M_{BRd_g} = M_{RdB_g} = \tilde{M}_{ARd_g} \cos\left(\gamma_g(t) - \frac{2\pi}{3}\right), \quad (2.13)$$

$$M_{CRd_g} = M_{RdC_g} = \tilde{M}_{ARd_g} \cos\left(\gamma_g(t) + \frac{2\pi}{3}\right). \quad (2.14)$$

Выражения для взаимных индуктивностей фаз обмотки статора и поперечного демпферного контура основного генератора:

$$M_{ARq_g} = M_{RqA_g} = \tilde{M}_{ARq_g} \sin\left(\gamma_g(t)\right), \quad (2.15)$$

$$M_{BRq_g} = M_{RqB_g} = \tilde{M}_{ARq_g} \sin\left(\gamma_g(t) - \frac{2\pi}{3}\right), \quad (2.16)$$

$$M_{CRq_g} = M_{RqC_g} = \tilde{M}_{ARq_g} \sin\left(\gamma_g(t) + \frac{2\pi}{3}\right), \quad (2.17)$$

Определим далее параметры l_{0_g} , m_{0_g} , l_{2_g} , \tilde{M}_{AFd_g} , \tilde{M}_{ARd_g} , \tilde{M}_{ARq_g} в выражениях (2.2), (2.4)-(2.17), а также индуктивности и взаимные индуктивности L_{F_g} , M_{FRd_g} , M_{RdF_g} , L_{Rd_g} , L_{Rq_g} через известные параметры основного генератора: L_{ad_g} – индуктивность основного генератора по продольной оси; L_{aq_g} – индуктивность основного генератора по поперечной оси; L_{σ_g} – индуктивность рассеяния обмотки статора основного генератора; $L_{\sigma_{F_g}}$ – индуктивность рассеяния обмотки возбуждения основного генератора; $L_{\sigma_{Rd_g}}$ – индуктивность рассеяния продольного демпферного контура основного генератора; $L_{\sigma_{Rq_g}}$ – индуктивность рассеяния поперечного демпферного контура основного генератора.

Как показано в [14], коэффициенты l_{0_g} , m_{0_g} , l_{2_g} , в выражениях для индуктивностей и взаимных индуктивностей фаз обмотки статора удовлетворяют следующим выражениям:

$$l_{0_g} - m_{0_g} + \frac{3}{2}l_{2_g} = L_{d_g}, \quad (2.18)$$

$$l_{0g} - m_{0g} - \frac{3}{2}l_{2g} = L_{qg}, \quad (2.19)$$

$$l_{0g} + 2m_{0g} = L_{0g}, \quad (2.20)$$

где L_{0g} – индуктивность нулевой последовательности основного генератора; L_{d_g} – синхронная индуктивность по продольной оси основного генератора; L_{q_g} – синхронная индуктивность по поперечной оси основного генератора.

Группируя выражения (2.18)-(2.20), получаем систему уравнений:

$$\begin{cases} l_{0g} - m_{0g} + \frac{3}{2}l_{2g} = L_{d_g} \\ l_{0g} - m_{0g} - \frac{3}{2}l_{2g} = L_{q_g} \\ l_{0g} + 2m_{0g} = L_{0g} \end{cases}, \quad (2.21)$$

Систему уравнений (2.21) можно представить в виде:

$$\begin{cases} l_{0g} - m_{0g} + \frac{3}{2}l_{2g} = L_{ad_g} + L_{\sigma_g} \\ l_{0g} - m_{0g} - \frac{3}{2}l_{2g} = L_{aq_g} + L_{\sigma_g} \\ l_{0g} + 2m_{0g} = L_{0g} \end{cases}, \quad (2.22)$$

Где $L_{d_g} = L_{ad_g} + L_{\sigma_g}$; $L_{q_g} = L_{aq_g} + L_{\sigma_g}$.

Записывая систему уравнений (2.22) в матричной форме, получим матричное уравнение:

$$\begin{bmatrix} 1 & -1 & \frac{3}{2} \\ 1 & -1 & -\frac{3}{2} \\ 1 & 2 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} l_{0g} \\ m_{0g} \\ l_{2g} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_{ad_g} + L_{\sigma_g} \\ L_{aq_g} + L_{\sigma_g} \\ L_{0g} \end{bmatrix}, \quad (2.23)$$

Решая матричное уравнение (2.23), получаем:

$$\begin{bmatrix} l_{0g} \\ m_{0g} \\ l_{2g} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -1 & \frac{3}{2} \\ 1 & -1 & -\frac{3}{2} \\ 1 & 2 & 0 \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} L_{ad_g} + L_{\sigma_g} \\ L_{aq_g} + L_{\sigma_g} \\ L_{0g} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{L_{0g} + 2L_{\sigma_g} + L_{ad_g} + L_{aq_g}}{3} \\ \frac{2L_{0g} - 2L_{\sigma_g} - L_{ad_g} - L_{aq_g}}{6} \\ \frac{L_{ad_g} - L_{aq_g}}{3} \end{bmatrix},$$

Таким образом, получаем выражения для определения l_{0g} , m_{0g} и l_{2g} :

$$l_{0g} = \frac{L_{0g} + 2L_{\sigma g} + L_{adg} + L_{aqg}}{3}, \quad (2.24)$$

$$m_{0g} = \frac{2L_{0g} - 2L_{\sigma g} - L_{adg} - L_{aqg}}{6}, \quad (2.25)$$

$$l_{2g} = \frac{L_{adg} - L_{aqg}}{3}, \quad (2.26)$$

Далее необходимо учесть следующее: $L_{\sigma g} \ll L_{adg}$; $L_{\sigma g} \ll L_{aqg}$; $L_{0g} \ll L_{adg}$;

$L_{0g} \ll L_{aqg}$; $L_{0g} \approx L_{\sigma g}$. Поэтому далее в работе можно принять следующее допущение:

$$L_{0g} = L_{\sigma g} \quad (2.27)$$

Тогда, с учётом (2.27) выражения для определения l_{0g} , m_{0g} и l_{2g} запишутся в виде:

$$l_{0g} = \frac{L_{0g} + 2L_{\sigma g} + L_{adg} + L_{aqg}}{3} = \frac{3L_{\sigma g} + L_{adg} + L_{aqg}}{3}, \quad (2.28)$$

$$m_{0g} = \frac{2L_{0g} - 2L_{\sigma g} - L_{adg} - L_{aqg}}{6} = -\frac{L_{adg} + L_{aqg}}{6}, \quad (2.29)$$

$$l_{2g} = \frac{L_{adg} - L_{aqg}}{3}, \quad (2.30)$$

Выражения для индуктивностей фаз обмотки статора основного генератора с учётом (2.28)-(2.30) запишутся в виде:

$$\begin{aligned} L_{A_g} &= l_{0g} + l_{2g} \cos(2\gamma_g(t)) = \frac{3L_{\sigma g} + L_{adg} + L_{aqg}}{3} + \frac{(L_{adg} - L_{aqg})}{3} \cos(2\gamma_g(t)) = \\ &= L_{\sigma g} + \frac{L_{adg} + L_{aqg}}{3} + \frac{(L_{adg} - L_{aqg})}{3} \cos(2\gamma_g(t)) \end{aligned}, \quad (2.31)$$

$$\begin{aligned} L_{B_g} &= l_{0g} + l_{2g} \cos\left(2\gamma_g(t) + \frac{2\pi}{3}\right) = \frac{3L_{\sigma g} + L_{adg} + L_{aqg}}{3} + \frac{(L_{adg} - L_{aqg})}{3} \cdot \\ &\cdot \cos\left(2\gamma_g(t) + \frac{2\pi}{3}\right) = L_{\sigma g} + \frac{L_{adg} + L_{aqg}}{3} + \frac{(L_{adg} - L_{aqg})}{3} \cos\left(2\gamma_g(t) + \frac{2\pi}{3}\right) \end{aligned}, \quad (2.32)$$

$$\begin{aligned} L_{C_g} &= l_{0g} + l_{2g} \cos\left(2\gamma_g(t) - \frac{2\pi}{3}\right) = \frac{3L_{\sigma g} + L_{adg} + L_{aqg}}{3} + \frac{(L_{adg} - L_{aqg})}{3} \cdot \\ &\cdot \cos\left(2\gamma_g(t) - \frac{2\pi}{3}\right) = L_{\sigma g} + \frac{L_{adg} + L_{aqg}}{3} + \frac{(L_{adg} - L_{aqg})}{3} \cos\left(2\gamma_g(t) - \frac{2\pi}{3}\right) \end{aligned}. \quad (2.33)$$

Выражения для взаимных индуктивностей фаз обмотки статора основного генератора с учётом (2.28)-(2.30) запишутся в виде:

$$M_{AB_g} = M_{BA_g} = m_{0_g} + l_{2_g} \cos\left(2\gamma_g(t) - \frac{2\pi}{3}\right) = -\frac{L_{ad_g} + L_{aq_g}}{6} + \frac{(L_{ad_g} - L_{aq_g})}{3} \cdot \cos\left(2\gamma_g(t) - \frac{2\pi}{3}\right), \quad (2.34)$$

$$M_{BC_g} = M_{CB_g} = m_{0_g} + l_{2_g} \cos\left(2\gamma_g(t)\right) = -\frac{L_{ad_g} + L_{aq_g}}{6} + \frac{(L_{ad_g} - L_{aq_g})}{3} \cdot \cos\left(2\gamma_g(t)\right), \quad (2.35)$$

$$M_{AC_g} = M_{CA_g} = m_{0_g} + l_{2_g} \cos\left(2\gamma_g(t) + \frac{2\pi}{3}\right) = -\frac{L_{ad_g} + L_{aq_g}}{6} + \frac{(L_{ad_g} - L_{aq_g})}{3} \cdot \cos\left(2\gamma_g(t) + \frac{2\pi}{3}\right). \quad (2.36)$$

Для определения индуктивностей и взаимных индуктивностей L_{F_g} , L_{Rd_g} , L_{Rq_g} , M_{FRd_g} , \tilde{M}_{AFd_g} , \tilde{M}_{ARd_g} , \tilde{M}_{ARq_g} рассмотрим матричное уравнение для потокосцеплений контуров ротора:

$$\left[\Psi_{R_g} \right] = \left[L_{RS_g} \right] \cdot \left[I_{S_g} \right] + \left[L_{RR_g} \right] \cdot \left[I_{R_g} \right], \quad (2.37)$$

$$\begin{bmatrix} \Psi_{F_g} \\ \Psi_{Rd_g} \\ \Psi_{Rq_g} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_{FA_g} & M_{FB_g} & M_{FC_g} \\ M_{RdA_g} & M_{RdB_g} & M_{RdC_g} \\ M_{RqA_g} & M_{RqB_g} & M_{RqC_g} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_{A_g} \\ I_{B_g} \\ I_{C_g} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L_{F_g} & M_{FRd_g} & 0 \\ M_{RdF_g} & L_{Rd_g} & 0 \\ 0 & 0 & L_{Rq_g} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_{F_g} \\ I_{Rd_g} \\ I_{Rq_g} \end{bmatrix}, \quad (2.38)$$

Далее выполним приведение параметров контуров ротора к обмотке статора основного генератора. Для этого необходимо левую и правую части матричных уравнений (2.37) и (2.38) умножить на матрицу коэффициентов приведения по напряжениям контуров ротора основного генератора:

$$\left[K_{U_{R_g}} \right] = \begin{bmatrix} K_{UF_g} & 0 & 0 \\ 0 & K_{URd_g} & 0 \\ 0 & 0 & K_{URq_g} \end{bmatrix}, \quad \text{где } K_{UF_g} = \frac{2}{3} K_{IF_g} - \text{коэффициент приведения по}$$

напряжению обмотки возбуждения основного генератора к обмотке статора основного генератора; $K_{URd_g} = \frac{2}{3} K_{IRd_g}$ – коэффициент приведения по напряжению продольного

демпферного контура основного генератора к обмотке статора основного генератора;

$K_{URqg} = \frac{2}{3} K_{IRqg}$ – коэффициент приведения по напряжению поперечного демпферного

контура основного генератора к обмотке статора основного генератора.

Выполняя необходимые преобразования, получаем:

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} K_{URg} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Psi_{Rg} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} K_{URg} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} L_{RSg} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_{Sg} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} K_{URg} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} L_{RRg} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_{Rg} \end{bmatrix}, \\ \begin{bmatrix} \hat{\Psi}_{Fg} \\ \hat{\Psi}_{Rdg} \\ \hat{\Psi}_{Rqg} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} K_{UFg} & 0 & 0 \\ 0 & K_{URdg} & 0 \\ 0 & 0 & K_{URqg} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \tilde{M}_{AFdg} \cos(\gamma_g(t)) & \tilde{M}_{AFdg} \cos\left(\gamma_g(t) - \frac{2\pi}{3}\right) & \tilde{M}_{AFdg} \cos\left(\gamma_g(t) + \frac{2\pi}{3}\right) \\ \tilde{M}_{ARdg} \cos(\gamma_g(t)) & \tilde{M}_{ARdg} \cos\left(\gamma_g(t) - \frac{2\pi}{3}\right) & \tilde{M}_{ARdg} \cos\left(\gamma_g(t) + \frac{2\pi}{3}\right) \\ \tilde{M}_{ARqg} \sin(\gamma_g(t)) & \tilde{M}_{ARqg} \sin\left(\gamma_g(t) - \frac{2\pi}{3}\right) & \tilde{M}_{ARqg} \sin\left(\gamma_g(t) + \frac{2\pi}{3}\right) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_{Ag} \\ I_{Bg} \\ I_{Cg} \end{bmatrix} + \\ + \begin{bmatrix} K_{UFg} & 0 & 0 \\ 0 & K_{URdg} & 0 \\ 0 & 0 & K_{URqg} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} L_{Fg} & M_{FRdg} & 0 \\ M_{RdFg} & L_{Rdg} & 0 \\ 0 & 0 & L_{Rqg} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} K_{IFg} & 0 & 0 \\ 0 & K_{IRdg} & 0 \\ 0 & 0 & K_{IRqg} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \hat{I}_{Fg} \\ \hat{I}_{Rdg} \\ \hat{I}_{Rqg} \end{bmatrix}, \\ \text{где } \begin{bmatrix} I_{Fg} \\ I_{Rdg} \\ I_{Rqg} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} K_{IFg} & 0 & 0 \\ 0 & K_{IRdg} & 0 \\ 0 & 0 & K_{IRqg} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \hat{I}_{Fg} \\ \hat{I}_{Rdg} \\ \hat{I}_{Rqg} \end{bmatrix}; \quad \begin{bmatrix} I_{Rg} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{IRg} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \hat{I}_{Rg} \end{bmatrix}; \quad \begin{bmatrix} \hat{I}_{Rg} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{I}_{Fg} \\ \hat{I}_{Rdg} \\ \hat{I}_{Rqg} \end{bmatrix} - \end{aligned}$$

вектор-столбец приведённых токов контуров ротора основного генератора; $\hat{I}_{Fg} = \frac{I_{Fg}}{K_{IFg}}$ –

приведённый ток обмотки возбуждения основного генератора; $\hat{I}_{Rdg} = \frac{I_{Rdg}}{K_{IRdg}}$ – приведённый

ток продольного демпферного контура основного генератора; $\hat{I}_{Rqg} = \frac{I_{Rqg}}{K_{IRqg}}$ – приведённый ток

поперечного демпферного контура основного генератора;

$$\left[K_{I_{R_g}} \right] = \begin{bmatrix} K_{I_{F_g}} & 0 & 0 \\ 0 & K_{I_{Rd_g}} & 0 \\ 0 & 0 & K_{I_{Rq_g}} \end{bmatrix} \quad - \text{ матрица коэффициентов приведения по токам}$$

контуров ротора основного генератора; $K_{I_{F_g}}$ – коэффициент приведения по току обмотки возбуждения основного генератора к обмотке статора основного генератора; $K_{I_{Rd_g}}$ – коэффициент приведения по току продольного демпферного контура основного генератора к обмотке статора основного генератора; $K_{I_{Rq_g}}$ – коэффициент приведения по току поперечного демпферного контура основного генератора к обмотке статора основного генератора.

$$\begin{bmatrix} \hat{\Psi}_{F_g} \\ \hat{\Psi}_{Rd_g} \\ \hat{\Psi}_{Rq_g} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{U_{F_g}} & 0 & 0 \\ 0 & K_{U_{Rd_g}} & 0 \\ 0 & 0 & K_{U_{Rq_g}} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Psi_{F_g} \\ \Psi_{Rd_g} \\ \Psi_{Rq_g} \end{bmatrix}, \quad \left[\hat{\Psi}_{R_g} \right] = \left[K_{U_{R_g}} \right] \cdot \left[\Psi_{R_g} \right],$$

$$\left[\hat{\Psi}_{R_g} \right] = \begin{bmatrix} \hat{\Psi}_{F_g} \\ \hat{\Psi}_{Rd_g} \\ \hat{\Psi}_{Rq_g} \end{bmatrix} \quad - \text{ вектор-столбец приведённых потокосцеплений контуров ротора}$$

основного генератора; $\hat{\Psi}_{F_g} = K_{U_{F_g}} \Psi_{F_g}$ – приведённое потокосцепление обмотки возбуждения основного генератора; $\hat{\Psi}_{Rd_g} = K_{U_{Rd_g}} \Psi_{Rd_g}$ – приведённое потокосцепление продольного демпферного контура основного генератора; $\hat{\Psi}_{Rq_g} = K_{U_{Rq_g}} \Psi_{Rq_g}$ – приведённое потокосцепление поперечного демпферного контура основного генератора.

Выполняя дальнейшие преобразования, получим:

$$\begin{bmatrix} \hat{\Psi}_{F_g} \\ \hat{\Psi}_{Rd_g} \\ \hat{\Psi}_{Rq_g} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{I_{F_g}} \tilde{M}_{AFd_g} & 0 & 0 \\ 0 & K_{I_{Rd_g}} \tilde{M}_{ARd_g} & 0 \\ 0 & 0 & K_{I_{Rq_g}} \tilde{M}_{ARq_g} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_{d_g} \\ I_{d_g} \\ I_{q_g} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} K_{U_{F_g}} K_{I_{F_g}} L_{F_g} & K_{U_{F_g}} K_{I_{Rd_g}} M_{FRd_g} & 0 \\ K_{U_{Rd_g}} K_{I_{Rd_g}} M_{RdF_g} & K_{U_{Rd_g}} K_{I_{Rd_g}} L_{Rd_g} & 0 \\ 0 & 0 & K_{U_{Rq_g}} K_{I_{Rq_g}} L_{Rq_g} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \hat{I}_{F_g} \\ \hat{I}_{Rd_g} \\ \hat{I}_{Rq_g} \end{bmatrix}, \quad (2.39)$$

где

$$\begin{bmatrix} \frac{2}{3} \cos(\gamma_g(t)) & \frac{2}{3} \cos\left(\gamma_g(t) - \frac{2\pi}{3}\right) & \frac{2}{3} \cos\left(\gamma_g(t) + \frac{2\pi}{3}\right) \\ \frac{2}{3} \cos(\gamma_g(t)) & \frac{2}{3} \cos\left(\gamma_g(t) - \frac{2\pi}{3}\right) & \frac{2}{3} \cos\left(\gamma_g(t) + \frac{2\pi}{3}\right) \\ \frac{2}{3} \sin(\gamma_g(t)) & \frac{2}{3} \sin\left(\gamma_g(t) - \frac{2\pi}{3}\right) & \frac{2}{3} \sin\left(\gamma_g(t) + \frac{2\pi}{3}\right) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_{A_g} \\ I_{B_g} \\ I_{C_g} \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{bmatrix} \frac{2}{3} \cdot \left(I_{A_g} \cos(\gamma_g(t)) + I_{B_g} \cos\left(\gamma_g(t) - \frac{2\pi}{3}\right) + \frac{2}{3} I_{C_g} \cos\left(\gamma_g(t) + \frac{2\pi}{3}\right) \right) \\ \frac{2}{3} \cdot \left(I_{A_g} \cos(\gamma_g(t)) + I_{B_g} \cos\left(\gamma_g(t) - \frac{2\pi}{3}\right) + \frac{2}{3} I_{C_g} \cos\left(\gamma_g(t) + \frac{2\pi}{3}\right) \right) \\ \frac{2}{3} \cdot \left(I_{A_g} \sin(\gamma_g(t)) + I_{B_g} \sin\left(\gamma_g(t) - \frac{2\pi}{3}\right) + \frac{2}{3} I_{C_g} \sin\left(\gamma_g(t) + \frac{2\pi}{3}\right) \right) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_{d_g} \\ I_{d_g} \\ I_{q_g} \end{bmatrix};$$

I_{d_g} – ток основного генератора по продольной оси; I_{q_g} – ток основного генератора по поперечной оси.

Полученное матричное уравнение (2.39) можно записать в виде:

$$\begin{bmatrix} \hat{\Psi}_{F_g} \\ \hat{\Psi}_{Rd_g} \\ \hat{\Psi}_{Rq_g} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{M}_{AFd_g} & 0 & 0 \\ 0 & \hat{M}_{ARd_g} & 0 \\ 0 & 0 & \hat{M}_{ARq_g} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_{d_g} \\ I_{q_g} \\ I_{0_g} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \hat{L}_{F_g} & \hat{M}_{FRd_g} & 0 \\ \hat{M}_{RdF_g} & \hat{L}_{Rd_g} & 0 \\ 0 & 0 & \hat{L}_{Rq_g} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \hat{I}_{F_g} \\ \hat{I}_{Rd_g} \\ \hat{I}_{Rq_g} \end{bmatrix}, \quad (2.40)$$

где $\hat{M}_{AFd_g} = K_{IF_g} \tilde{M}_{AFd_g}$; $\hat{M}_{ARd_g} = K_{IRd_g} \tilde{M}_{ARd_g}$; $\hat{M}_{ARq_g} = K_{IRq_g} \tilde{M}_{ARq_g}$;

$\hat{L}_{F_g} = K_{UF_g} K_{IF_g} L_{F_g}$; $\hat{M}_{FRd_g} = \hat{M}_{RdF_g} = K_{UF_g} K_{IRd_g} M_{FRd_g} = K_{URd_g} K_{IF_g} M_{RdF_g}$;

$\hat{L}_{Rd_g} = K_{URd_g} K_{IRd_g} L_{Rd_g}$; $\hat{L}_{Rq_g} = K_{URq_g} K_{IRq_g} L_{Rq_g}$

В [14] показано, что если коэффициенты приведения по токам K_{IF_g} , K_{IRd_g} , K_{IRq_g} , основного генератора можно определить следующим образом:

$$K_{IF_g} = \frac{1,91 \cdot w_g k_{обг} k_{d_g}}{2 p_g w_{F_g}}; \quad K_{IRd_g} = \frac{1,91 \cdot w_g k_{обг} k_{d_g}}{2 p_g w_{Rd_g}}; \quad K_{IRq_g} = \frac{1,91 \cdot w_g k_{обг} k_{q_g}}{2 p_g w_{Rq_g}};$$

где w_g – число витков обмотки статора основного генератора; $k_{обг}$ – обмоточный коэффициент обмотки статора основного генератора; k_{d_g} – коэффициент реакции якоря по продольной оси основного генератора; k_{q_g} – коэффициент реакции якоря по поперечной оси основного генератора; p_g – число пар полюсов основного генератора; w_{F_g} – число витков

обмотки возбуждения основного генератора; $w_{Rd_g} = 1$ – число витков продольного демпферного контура основного генератора; $w_{Rq_g} = 1$ – число витков поперечного демпферного контура основного генератора.

В этом случае, при принятых коэффициентах приведения матричное уравнение (2.40) запишется в виде:

$$\begin{bmatrix} \hat{\Psi}_{F_g} \\ \hat{\Psi}_{Rd_g} \\ \hat{\Psi}_{Rq_g} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_{ad_g} & 0 & 0 \\ 0 & L_{ad_g} & 0 \\ 0 & 0 & L_{aq_g} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_{d_g} \\ I_{q_g} \\ I_{0_g} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L_{ad_g} + L_{\sigma F_g} & L_{ad_g} & 0 \\ L_{ad_g} & L_{ad_g} + L_{\sigma Rd_g} & 0 \\ 0 & 0 & L_{aq_g} + L_{\sigma Rq_g} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \hat{I}_{F_g} \\ \hat{I}_{Rd_g} \\ \hat{I}_{Rq_g} \end{bmatrix}, \quad (2.41)$$

Сопоставляя выражения (2.40) и (2.41), получаем:

$$K_{IF_g} \tilde{M}_{AFd_g} = \hat{M}_{AFd_g} = L_{ad_g}; \quad K_{IRd_g} \tilde{M}_{ARd_g} = \hat{M}_{ARd_g} = L_{ad_g};$$

$$K_{IRq_g} \tilde{M}_{ARq_g} = \hat{M}_{ARq_g} = L_{aq_g}; \quad K_{UF_g} K_{IF_g} L_{F_g} = \hat{L}_{F_g} = L_{ad_g} + L_{\sigma F_g};$$

$$K_{URd_g} K_{IRd_g} L_{Rd_g} = \hat{L}_{Rd_g} = L_{ad_g} + L_{\sigma Rd_g}; \quad K_{URq_g} K_{IRq_g} L_{Rq_g} = \hat{L}_{Rq_g} = L_{aq_g} + L_{\sigma Rq_g};$$

$$K_{UF_g} K_{IRd_g} M_{FRd_g} = \frac{2}{3} K_{IF_g} K_{IRd_g} M_{FRd_g} = K_{URd_g} K_{IF_g} M_{FRd_g} = L_{ad_g};$$

Определяем индуктивности и взаимные индуктивности L_{F_g} , L_{Rd_g} , L_{Rq_g} , M_{FRd_g} ,

$$\tilde{M}_{AFd_g}, \tilde{M}_{ARd_g}, \tilde{M}_{ARq_g}: \tilde{M}_{AFd_g} = \frac{L_{ad_g}}{K_{IF_g}}; \quad \tilde{M}_{ARd_g} = \frac{L_{ad_g}}{K_{IRd_g}}; \quad \tilde{M}_{ARq_g} = \frac{L_{aq_g}}{K_{IRq_g}};$$

$$L_{F_g} = \frac{L_{ad_g} + L_{\sigma F_g}}{K_{UF_g} K_{IF_g}}; \quad L_{Rd_g} = \frac{L_{ad_g} + L_{\sigma Rd_g}}{K_{URd_g} K_{IRd_g}}; \quad L_{Rq_g} = \frac{L_{aq_g} + L_{\sigma Rq_g}}{K_{URq_g} K_{IRq_g}};$$

$$M_{FRd_g} = M_{RdF_g} = \frac{L_{ad_g}}{K_{UF_g} K_{IRd_g}} = \frac{L_{ad_g}}{K_{URd_g} K_{IF_g}}.$$

Выражения для взаимных индуктивностей фаз обмотки статора и обмотки возбуждения основного генератора запишутся в виде:

$$M_{AF_g} = M_{FA_g} = \tilde{M}_{AFd_g} \cos(\gamma_g(t)) = \frac{L_{ad_g}}{K_{IF_g}} \cos(\gamma_g(t)), \quad (2.42)$$

$$M_{BF_g} = M_{FB_g} = \tilde{M}_{AFd_g} \cos\left(\gamma_g(t) - \frac{2\pi}{3}\right) = \frac{L_{ad_g}}{K_{IF_g}} \cos\left(\gamma_g(t) - \frac{2\pi}{3}\right), \quad (2.43)$$

$$M_{CF_g} = M_{FC_g} = \tilde{M}_{AFd_g} \cos\left(\gamma_g(t) + \frac{2\pi}{3}\right) = \frac{L_{ad_g}}{K_{IF_g}} \cos\left(\gamma_g(t) + \frac{2\pi}{3}\right). \quad (2.44)$$

Выражения для взаимных индуктивностей фаз обмотки статора и продольного демпферного контура основного генератора:

$$M_{ARd_g} = M_{RdA_g} = \tilde{M}_{ARd_g} \cos(\gamma_g(t)) = \frac{L_{ad_g}}{K_{IRd_g}} \cos(\gamma_g(t)), \quad (2.45)$$

$$M_{BRd_g} = M_{RdB_g} = \tilde{M}_{ARd_g} \cos\left(\gamma_g(t) - \frac{2\pi}{3}\right) = \frac{L_{ad_g}}{K_{IRd_g}} \cos\left(\gamma_g(t) - \frac{2\pi}{3}\right), \quad (2.46)$$

$$M_{CRd_g} = M_{RdC_g} = \tilde{M}_{ARd_g} \cos\left(\gamma_g(t) + \frac{2\pi}{3}\right) = \frac{L_{ad_g}}{K_{IRd_g}} \cos\left(\gamma_g(t) + \frac{2\pi}{3}\right). \quad (2.47)$$

Выражения для взаимных индуктивностей фаз обмотки статора и поперечного демпферного контура основного генератора:

$$M_{ARq_g} = M_{RqA_g} = \tilde{M}_{ARq_g} \sin(\gamma_g(t)) = \frac{L_{aq_g}}{K_{IRq_g}} \sin(\gamma_g(t)), \quad (2.48)$$

$$M_{BRq_g} = M_{RqB_g} = \tilde{M}_{ARq_g} \sin\left(\gamma_g(t) - \frac{2\pi}{3}\right) = \frac{L_{aq_g}}{K_{IRq_g}} \sin\left(\gamma_g(t) - \frac{2\pi}{3}\right), \quad (2.49)$$

$$M_{CRq_g} = M_{RqC_g} = \tilde{M}_{ARq_g} \sin\left(\gamma_g(t) + \frac{2\pi}{3}\right) = \frac{L_{aq_g}}{K_{IRq_g}} \sin\left(\gamma_g(t) + \frac{2\pi}{3}\right). \quad (2.50)$$

Таким образом, в уравнениях математической модели основного генератора определены индуктивности и взаимные индуктивности фаз обмотки статора и взаимные индуктивности между фазами обмотки статора и контурами ротора основного генератора. Для последующей разработки имитационной модели основного генератора получим математическую модель электрической части основного генератора с учётом приведённых уравнений напряжений и потокосцеплений контуров ротора к обмотке статора основного генератора.

Рассмотрим матричное уравнение потокосцеплений контуров ротора основного генератора:

$$\left[\Psi_{R_g} \right] = \left[L_{RS_g} \right] \cdot \left[I_{S_g} \right] + \left[L_{RR_g} \right] \cdot \left[I_{R_g} \right], \quad (2.51)$$

Для получения приведённого уравнения потокоцеплений контуров ротора основного генератора умножим левую и правую части матричного уравнения (2.51) на матрицу коэффициентов приведения по напряжениям контуров ротора к обмотке статора основного генератора $\left[K_{UR_g} \right]$:

$$\left[K_{UR_g} \right] \cdot \left[\Psi_{R_g} \right] = \left[K_{UR_g} \right] \cdot \left[L_{RS_g} \right] \cdot \left[I_{S_g} \right] + \left[K_{UR_g} \right] \cdot \left[L_{RR_g} \right] \cdot \left[I_{R_g} \right],$$

Выполняя дальнейшие преобразования, получим:

$$\begin{bmatrix} \hat{\Psi}_{F_g} \\ \hat{\Psi}_{Rd_g} \\ \hat{\Psi}_{Rq_g} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{2}{3} L_{ad_g} \cos(\gamma_g(t)) & \frac{2}{3} L_{ad_g} \cos\left(\gamma_g(t) - \frac{2\pi}{3}\right) & \frac{2}{3} L_{ad_g} \cos\left(\gamma_g(t) + \frac{2\pi}{3}\right) \\ \frac{2}{3} L_{ad_g} \cos(\gamma_g(t)) & \frac{2}{3} L_{ad_g} \cos\left(\gamma_g(t) - \frac{2\pi}{3}\right) & \frac{2}{3} L_{ad_g} \cos\left(\gamma_g(t) + \frac{2\pi}{3}\right) \\ \frac{2}{3} L_{ad_g} \sin(\gamma_g(t)) & \frac{2}{3} L_{ad_g} \sin\left(\gamma_g(t) - \frac{2\pi}{3}\right) & \frac{2}{3} L_{ad_g} \sin\left(\gamma_g(t) + \frac{2\pi}{3}\right) \end{bmatrix} \cdot \quad (2.52)$$

$$\cdot \begin{bmatrix} I_{A_g} \\ I_{B_g} \\ I_{C_g} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L_{ad_g} + L_{\sigma F_g} & L_{ad_g} & 0 \\ L_{ad_g} & L_{ad_g} + L_{\sigma Rd_g} & 0 \\ 0 & 0 & L_{aq_g} + L_{\sigma Rq_g} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \hat{I}_{F_g} \\ \hat{I}_{Rd_g} \\ \hat{I}_{Rq_g} \end{bmatrix}$$

Тогда матричное уравнение (2.52) можно представить в виде:

$$\begin{bmatrix} \hat{\Psi}_{F_g} \\ \hat{\Psi}_{Rd_g} \\ \hat{\Psi}_{Rq_g} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{M}_{FA_g} & \hat{M}_{FB_g} & \hat{M}_{FC_g} \\ \hat{M}_{RdA_g} & \hat{M}_{RdB_g} & \hat{M}_{RdC_g} \\ \hat{M}_{RqA_g} & \hat{M}_{RqB_g} & \hat{M}_{RqC_g} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_{A_g} \\ I_{B_g} \\ I_{C_g} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \hat{L}_{F_g} & \hat{M}_{FRd_g} & 0 \\ \hat{M}_{RdF_g} & \hat{L}_{Rd_g} & 0 \\ 0 & 0 & \hat{L}_{Rq_g} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \hat{I}_{F_g} \\ \hat{I}_{Rd_g} \\ \hat{I}_{Rq_g} \end{bmatrix}, \quad (2.53)$$

$$\left[\hat{\Psi}_{R_g} \right] = \left[\hat{L}_{RS_g} \right] \cdot \left[I_{S_g} \right] + \left[\hat{L}_{RR_g} \right] \cdot \left[\hat{I}_{R_g} \right], \quad (2.54)$$

$$\text{где } \left[\hat{L}_{RS_g} \right] = \begin{bmatrix} \hat{M}_{FA_g} & \hat{M}_{FB_g} & \hat{M}_{FC_g} \\ \hat{M}_{RdA_g} & \hat{M}_{RdB_g} & \hat{M}_{RdC_g} \\ \hat{M}_{RqA_g} & \hat{M}_{RqB_g} & \hat{M}_{RqC_g} \end{bmatrix} \quad - \quad \text{матрица приведённых взаимных}$$

индуктивностей между контурами ротора и фазами обмотки статора основного генератора;

\hat{M}_{FA_g} – приведённая взаимная индуктивность между обмоткой возбуждения и фазой

«А» обмотки статора основного генератора;

$$\hat{M}_{FA_g} = \frac{2}{3} L_{ad_g} \cos(\gamma_g(t)), (2.55)$$

\hat{M}_{FB_g} – приведённая взаимная индуктивность между обмоткой возбуждения и фазой «В» обмотки статора основного генератора;

$$\hat{M}_{FB_g} = \frac{2}{3} L_{ad_g} \cos\left(\gamma_g(t) - \frac{2\pi}{3}\right), (2.56)$$

\hat{M}_{FC_g} – приведённая взаимная индуктивность между обмоткой возбуждения и фазой «С» обмотки статора основного генератора;

$$\hat{M}_{FC_g} = \frac{2}{3} L_{ad_g} \cos\left(\gamma_g(t) + \frac{2\pi}{3}\right), (2.57)$$

\hat{M}_{RdA_g} – приведённая взаимная индуктивность между продольным демпферным контуром и фазой «А» обмотки статора основного генератора;

$$\hat{M}_{RdA_g} = \frac{2}{3} L_{ad_g} \cos(\gamma_g(t)), (2.58)$$

\hat{M}_{RdB_g} – приведённая взаимная индуктивность между продольным демпферным контуром и фазой «В» обмотки статора основного генератора;

$$\hat{M}_{RdB_g} = \frac{2}{3} L_{ad_g} \cos\left(\gamma_g(t) - \frac{2\pi}{3}\right), (2.59)$$

\hat{M}_{RdC_g} – приведённая взаимная индуктивность между продольным демпферным контуром и фазой «С» обмотки статора основного генератора;

$$\hat{M}_{RdC_g} = \frac{2}{3} L_{ad_g} \cos\left(\gamma_g(t) + \frac{2\pi}{3}\right), (2.60)$$

\hat{M}_{RqA_g} – приведённая взаимная индуктивность между поперечным демпферным контуром и фазой «А» обмотки статора основного генератора;

$$\hat{M}_{RqA_g} = \frac{2}{3} L_{aq_g} \sin(\gamma_g(t)), (2.61)$$

\hat{M}_{RqB_g} – приведённая взаимная индуктивность между поперечным демпферным контуром и фазой «В» обмотки статора основного генератора;

$$\hat{M}_{RqB_g} = \frac{2}{3} L_{aq_g} \sin\left(\gamma_g(t) - \frac{2\pi}{3}\right), (2.62)$$

\hat{M}_{RqC_g} – приведённая взаимная индуктивность между поперечным демпферным контуром и фазой «С» обмотки статора основного генератора;

$$\hat{M}_{RqC_g} = \frac{2}{3} L_{aq_g} \sin\left(\gamma_g(t) + \frac{2\pi}{3}\right), \quad (2.63)$$

$$\left[\hat{L}_{RR_g} \right] = \begin{bmatrix} \hat{L}_{F_g} & \hat{M}_{FRd_g} & 0 \\ \hat{M}_{RdF_g} & \hat{L}_{Rd_g} & 0 \\ 0 & 0 & \hat{L}_{Rq_g} \end{bmatrix} \text{ – матрица приведённых индуктивностей и взаимных}$$

индуктивностей цепей ротора основного генератора; \hat{L}_{F_g} – приведённая индуктивность обмотки возбуждения основного генератора;

$$\hat{L}_{F_g} = L_{ad_g} + L_{\sigma_{F_g}}, \quad (2.64)$$

\hat{M}_{FRd_g} – приведённая взаимная индуктивность между обмоткой возбуждения и продольным демпферным контуром основного генератора;

$$\hat{M}_{FRd_g} = L_{ad_g}, \quad (2.65)$$

\hat{M}_{RdF_g} – приведённая взаимная индуктивность между продольным демпферным контуром и обмоткой возбуждения основного генератора;

$$\hat{M}_{RdF_g} = \hat{M}_{FRd_g} = L_{ad_g}, \quad (2.66)$$

\hat{L}_{Rd_g} – приведённая индуктивность продольного демпферного контура основного генератора;

$$\hat{L}_{Rd_g} = L_{ad_g} + L_{\sigma_{Rd_g}}, \quad (2.67)$$

\hat{L}_{Rq_g} – приведённая индуктивность поперечного демпферного контура основного генератора;

$$\hat{L}_{Rq_g} = L_{aq_g} + L_{\sigma_{Rq_g}}. \quad (2.68)$$

Рассмотрим матричное уравнение потокосцеплений фаз обмотки статора основного генератора:

$$\left[\Psi_{S_g} \right] = \left[L_{SS_g} \right] \cdot \left[I_{S_g} \right] + \left[L_{SR_g} \right] \cdot \left[I_{R_g} \right],$$

Выполняя далее необходимые преобразования, получим:

$$\left[\Psi_{S_g} \right] = \left[L_{SS_g} \right] \cdot \left[I_{S_g} \right] + \left[L_{SR_g} \right] \cdot \left[K_{I_{R_g}} \right] \cdot \left[\hat{I}_{R_g} \right],$$

$$\begin{bmatrix} \Psi_{A_g} \\ \Psi_{B_g} \\ \Psi_{C_g} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_{A_g} & M_{AB_g} & M_{AC_g} \\ M_{BA_g} & L_{B_g} & M_{BC_g} \\ M_{CA_g} & M_{CB_g} & L_{C_g} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_{A_g} \\ I_{B_g} \\ I_{C_g} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L_{ad} \cos(\gamma_g(t)) & L_{ad} \cos(\gamma_g(t)) & L_{aq} \sin(\gamma_g(t)) \\ L_{ad} \cos\left(\gamma_g(t) - \frac{2\pi}{3}\right) & L_{ad} \cos\left(\gamma_g(t) - \frac{2\pi}{3}\right) & L_{aq} \sin\left(\gamma_g(t) - \frac{2\pi}{3}\right) \\ L_{ad} \cos\left(\gamma_g(t) + \frac{2\pi}{3}\right) & L_{ad} \cos\left(\gamma_g(t) + \frac{2\pi}{3}\right) & L_{aq} \sin\left(\gamma_g(t) + \frac{2\pi}{3}\right) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \hat{I}_{F_g} \\ \hat{I}_{Rd_g} \\ \hat{I}_{Rq_g} \end{bmatrix}, \quad (2.69)$$

Тогда матричное уравнение (2.69) можно представить в виде:

$$\begin{bmatrix} \Psi_{A_g} \\ \Psi_{B_g} \\ \Psi_{C_g} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_{A_g} & M_{AB_g} & M_{AC_g} \\ M_{BA_g} & L_{B_g} & M_{BC_g} \\ M_{CA_g} & M_{CB_g} & L_{C_g} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_{A_g} \\ I_{B_g} \\ I_{C_g} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \hat{M}_{AF_g} & \hat{M}_{ARd_g} & \hat{M}_{ARq_g} \\ \hat{M}_{BF_g} & \hat{M}_{BRd_g} & \hat{M}_{BRq_g} \\ \hat{M}_{CF_g} & \hat{M}_{CRd_g} & \hat{M}_{CRq_g} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \hat{I}_{F_g} \\ \hat{I}_{Rd_g} \\ \hat{I}_{Rq_g} \end{bmatrix}, \quad (2.70)$$

$$\begin{bmatrix} \Psi_{S_g} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_{SS_g} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_{S_g} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \hat{L}_{SR_g} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \hat{I}_{R_g} \end{bmatrix}, \quad (2.71)$$

где $\begin{bmatrix} \hat{L}_{SR_g} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{M}_{AF_g} & \hat{M}_{ARd_g} & \hat{M}_{ARq_g} \\ \hat{M}_{BF_g} & \hat{M}_{BRd_g} & \hat{M}_{BRq_g} \\ \hat{M}_{CF_g} & \hat{M}_{CRd_g} & \hat{M}_{CRq_g} \end{bmatrix}$ – матрица взаимных индуктивностей фаз

обмотки статора и контуров ротора основного генератора; \hat{M}_{AF_g} – приведённая взаимная индуктивность между фазой «А» обмотки статора и обмоткой возбуждения основного генератора;

$$\hat{M}_{AF_g} = L_{ad_g} \cos(\gamma_g(t)), \quad (2.72)$$

\hat{M}_{BF_g} – приведённая взаимная индуктивность между фазой «В» обмотки статора и обмоткой возбуждения основного генератора;

$$\hat{M}_{BF_g} = L_{ad_g} \cos\left(\gamma_g(t) - \frac{2\pi}{3}\right), \quad (2.73)$$

\hat{M}_{CF_g} – приведённая взаимная индуктивность между фазой «С» обмотки статора и обмоткой возбуждения основного генератора;

$$\hat{M}_{CF_g} = L_{ad_g} \cos\left(\gamma_g(t) + \frac{2\pi}{3}\right), \quad (2.74)$$

\hat{M}_{ARd_g} – приведённая взаимная индуктивность между фазой «А» обмотки статора и продольным демпферным контуром основного генератора;

$$\hat{M}_{ARd_g} = L_{ad_g} \cos(\gamma_g(t)), \quad (2.75)$$

\hat{M}_{BRd_g} – приведённая взаимная индуктивность между фазой «В» обмотки статора и продольным демпферным контуром основного генератора;

$$\hat{M}_{BRd_g} = L_{ad_g} \cos\left(\gamma_g(t) - \frac{2\pi}{3}\right), \quad (2.76)$$

\hat{M}_{CRd_g} – приведённая взаимная индуктивность между фазой «С» обмотки статора и продольным демпферным контуром основного генератора;

$$\hat{M}_{CRd_g} = L_{ad_g} \cos\left(\gamma_g(t) + \frac{2\pi}{3}\right), \quad (2.77)$$

\hat{M}_{ARq_g} – приведённая взаимная индуктивность между фазой «А» обмотки статора и поперечным демпферным контуром основного генератора;

$$\hat{M}_{ARq_g} = L_{aq_g} \sin(\gamma_g(t)), \quad (2.78)$$

\hat{M}_{BRq_g} – приведённая взаимная индуктивность между фазой «В» обмотки статора и поперечным демпферным контуром основного генератора;

$$\hat{M}_{BRq_g} = L_{aq_g} \sin\left(\gamma_g(t) - \frac{2\pi}{3}\right), \quad (2.79)$$

\hat{M}_{CRq_g} – приведённая взаимная индуктивность между фазой «С» обмотки статора и поперечным демпферным контуром основного генератора;

$$\hat{M}_{CRq_g} = L_{aq_g} \sin\left(\gamma_g(t) + \frac{2\pi}{3}\right). \quad (2.80)$$

Рассмотрим матричное уравнение напряжений контуров ротора основного генератора:

$$\begin{bmatrix} U_{R_g} \end{bmatrix} = \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \Psi_{R_g} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} R_{R_g} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_{R_g} \end{bmatrix}, \quad (2.81)$$

Для получения приведённого уравнения напряжений контуров ротора основного генератора умножим левую и правую части матричного уравнения (2.81) на матрицу коэффициентов приведения по напряжениям контуров ротора к обмотке статора основного генератора $\begin{bmatrix} K_{U_{R_g}} \end{bmatrix}$:

$$\left[K_{U_{R_g}} \right] \cdot \left[U_{R_g} \right] = \left[K_{U_{R_g}} \right] \cdot \frac{d}{dt} \left[\Psi_{R_g} \right] + \left[K_{U_{R_g}} \right] \cdot \left[R_{R_g} \right] \cdot \left[I_{R_g} \right];$$

Выполняя далее необходимые упрощения, получим:

$$\left[\hat{U}_{R_g} \right] = \frac{d}{dt} \left(\left[K_{U_{R_g}} \right] \cdot \left[\Psi_{R_g} \right] \right) + \left[K_{U_{R_g}} \right] \cdot \left[R_{R_g} \right] \cdot \left[K_{I_{R_g}} \right] \cdot \left[\hat{I}_{R_g} \right];$$

$$\left[\hat{U}_{R_g} \right] = \frac{d}{dt} \left[\hat{\Psi}_{R_g} \right] + \left[K_{U_{R_g}} \right] \cdot \left[R_{R_g} \right] \cdot \left[K_{I_{R_g}} \right] \cdot \left[\hat{I}_{R_g} \right];$$

$$\text{где } \left[\hat{U}_{R_g} \right] = \left[K_{U_{R_g}} \right] \cdot \left[U_{R_g} \right], \quad \begin{bmatrix} \hat{U}_{F_g} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{U_{F_g}} & 0 & 0 \\ 0 & K_{U_{Rd_g}} & 0 \\ 0 & 0 & K_{U_{Rq_g}} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} U_{F_g} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix},$$

$$\left[\hat{U}_{R_g} \right] = \begin{bmatrix} \hat{U}_{F_g} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} - \text{вектор-столбец приведённых напряжений контуров ротора основного}$$

генератора;

$$\hat{U}_{F_g} = K_{U_{F_g}} U_{F_g} - \text{приведённое напряжение обмотки возбуждения основного}$$

генератора.

Выполняя далее необходимые преобразования, получаем:

$$\begin{bmatrix} \hat{U}_{F_g} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \hat{\Psi}_{F_g} \\ \hat{\Psi}_{Rd_g} \\ \hat{\Psi}_{Rq_g} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} K_{U_{F_g}} & K_{I_{F_g}} & R_{F_g} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & K_{U_{Rd_g}} & K_{I_{Rd_g}} & R_{Rd_g} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & K_{U_{Rq_g}} & K_{I_{Rq_g}} & R_{Rq_g} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \hat{I}_{F_g} \\ \hat{I}_{Rd_g} \\ \hat{I}_{Rq_g} \end{bmatrix},$$

(2.82)

Матричное уравнение (2.82) можно представить в виде:

$$\begin{bmatrix} \hat{U}_{F_g} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \hat{\Psi}_{F_g} \\ \hat{\Psi}_{Rd_g} \\ \hat{\Psi}_{Rq_g} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \hat{R}_{F_g} & 0 & 0 \\ 0 & \hat{R}_{Rd_g} & 0 \\ 0 & 0 & \hat{R}_{Rq_g} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \hat{I}_{F_g} \\ \hat{I}_{Rd_g} \\ \hat{I}_{Rq_g} \end{bmatrix}, \quad (2.83)$$

$$\left[\hat{U}_{R_g} \right] = \frac{d}{dt} \left[\hat{\Psi}_{R_g} \right] + \left[\hat{R}_{R_g} \right] \cdot \left[\hat{I}_{R_g} \right], \quad (2.84)$$

где
$$\left[\hat{R}_{R_g} \right] = \begin{bmatrix} \hat{R}_{F_g} & 0 & 0 \\ 0 & \hat{R}_{Rd_g} & 0 \\ 0 & 0 & \hat{R}_{Rq_g} \end{bmatrix}$$
 – матрица приведённых сопротивлений контуров

ротора основного генератора; \hat{R}_{F_g} – приведённое активное сопротивление обмотки возбуждения основного генератора;

$$\hat{R}_{F_g} = K_{U_{F_g}} K_{I_{F_g}} R_{F_g}, \quad (2.85)$$

\hat{R}_{Rd_g} – приведённое активное сопротивление продольного демпферного контура основного генератора;

$$\hat{R}_{Rd_g} = K_{U_{Rd_g}} K_{I_{Rd_g}} R_{Rd_g}, \quad (2.86)$$

\hat{R}_{Rq_g} – приведённое активное сопротивление поперечного демпферного контура основного генератора;

$$\hat{R}_{Rq_g} = K_{U_{Rq_g}} K_{I_{Rq_g}} R_{Rq_g}. \quad (2.87)$$

Рассмотрим матричное уравнение напряжений фаз обмотки статора основного генератора:

$$\left[U_{S_g} \right] = -\frac{d}{dt} \left[\Psi_{S_g} \right] - \left[R_{S_g} \right] \cdot \left[I_{S_g} \right], \quad (2.88)$$

Рассматривая совместно матричные уравнения (2.54), (2.71), (2.84) и (2.88) получаем систему матричных уравнений:

$$\begin{cases} \left[U_{S_g} \right] = -\frac{d}{dt} \left[\Psi_{S_g} \right] - \left[R_{S_g} \right] \cdot \left[I_{S_g} \right] \\ \left[\hat{U}_{R_g} \right] = \frac{d}{dt} \left[\hat{\Psi}_{R_g} \right] + \left[\hat{R}_{R_g} \right] \cdot \left[\hat{I}_{R_g} \right] \\ \left[\Psi_{S_g} \right] = \left[L_{SS_g} \right] \cdot \left[I_{S_g} \right] + \left[\hat{L}_{SR_g} \right] \cdot \left[\hat{I}_{R_g} \right] \\ \left[\hat{\Psi}_{R_g} \right] = \left[\hat{L}_{RS_g} \right] \cdot \left[I_{S_g} \right] + \left[\hat{L}_{RR_g} \right] \cdot \left[\hat{I}_{R_g} \right] \end{cases}, \quad (2.89)$$

Матричные уравнения для напряжений фаз обмотки статора и контуров ротора основного генератора (2.89) можно представить в виде одного матричного уравнения:

$$\begin{bmatrix} -\left[U_{S_g} \right] \\ \left[\hat{U}_{R_g} \right] \end{bmatrix} = \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \left[\Psi_{S_g} \right] \\ \left[\hat{\Psi}_{R_g} \right] \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \left[R_{S_g} \right] & \left[O_{3 \times 3} \right] \\ \left[O_{3 \times 3} \right] & \left[\hat{R}_{R_g} \right] \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \left[I_{S_g} \right] \\ \left[\hat{I}_{R_g} \right] \end{bmatrix}, \quad (2.90)$$

$$[U_g] = \frac{d}{dt}[\Psi_g] + [R_g] \cdot [I_g], \quad (2.91)$$

где $[U_g] = \begin{bmatrix} -[U_{S_g}] \\ [\hat{U}_{R_g}] \end{bmatrix}$ – матрица напряжений фаз обмотки статора и контуров ротора

основного генератора; $[\Psi_g] = \begin{bmatrix} [\Psi_{S_g}] \\ [\hat{\Psi}_{R_g}] \end{bmatrix}$ – матрица потокосцеплений фаз обмотки статора и

контуров ротора основного генератора; $[R_g] = \begin{bmatrix} [R_{S_g}] & [O_{3 \times 3}] \\ [O_{3 \times 3}] & [\hat{R}_{R_g}] \end{bmatrix}$ – матрица активных

сопротивлений фаз обмотки статора и контуров ротора основного генератора;

$[O_{3 \times 3}] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$ – нулевая матрица; $[I_g] = \begin{bmatrix} [I_{S_g}] \\ [\hat{I}_{R_g}] \end{bmatrix}$ – матрица токов фаз обмотки статора и

контуров ротора основного генератора.

Матричные уравнения для потокосцеплений фаз обмотки статора и контуров ротора основного генератора (2.89) можно представить в виде одного матричного уравнения:

$$\begin{bmatrix} [\Psi_{S_g}] \\ [\hat{\Psi}_{R_g}] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [L_{SS_g}] & [\hat{L}_{SR_g}] \\ [\hat{L}_{RS_g}] & [\hat{L}_{RR_g}] \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} [I_{S_g}] \\ [\hat{I}_{R_g}] \end{bmatrix}, \quad (2.92)$$

$$[\Psi_g] = [L_g] \cdot [I_g], \quad (2.93)$$

где $[L_g] = \begin{bmatrix} [L_{SS_g}] & [\hat{L}_{SR_g}] \\ [\hat{L}_{RS_g}] & [\hat{L}_{RR_g}] \end{bmatrix}$ – матрица индуктивностей и взаимных индуктивностей

фаз обмотки статора и контуров ротора основного генератора.

Совместно рассматривая матричные уравнения (2.91) и (2.93) получаем математическую модель электрической части основного генератора без учёта насыщения магнитной цепи:

$$\begin{cases} [U_g] = \frac{d}{dt}[\Psi_g] + [R_g] \cdot [I_g] \\ [\Psi_g] = [L_g] \cdot [I_g] \end{cases}, \quad (2.94)$$

Полученная выше математическая модель электрической части основного генератора (2.94) не учитывает насыщение его магнитной цепи. Получим далее математическую модель электрической части основного генератора с учётом насыщения его магнитной цепи.

Учёт насыщения магнитной цепи основного генератора произведём путём ввода в уравнения математической модели основного генератора насыщенные значения индуктивностей по продольной и поперечной осям основного генератора $L_{ad_{g\mu}}$ и $L_{aq_{g\mu}}$, соответствующих насыщенной магнитной цепи.

Насыщенные значения индуктивностей по продольной и поперечной осям основного генератора $L_{ad_{g\mu}}$ и $L_{aq_{g\mu}}$ можно определить в виде:

$$L_{ad_{g\mu}} = \frac{L_{ad_g}}{K_{\mu d_g}}, \quad (2.95)$$

$$L_{aq_{g\mu}} = \frac{L_{aq_g}}{K_{\mu q_g}}, \quad (2.96)$$

где $K_{\mu d_g}$ – коэффициент учёта насыщения по продольной оси основного генератора;

$K_{\mu q_g}$ – коэффициент учёта насыщения по поперечной оси основного генератора;

L_{ad_g} – ненасыщенное значение индуктивности по продольной оси основного генератора; L_{aq_g} – ненасыщенное значение индуктивности по поперечной оси основного генератора.

Коэффициент учёта насыщения по продольной оси основного генератора $K_{\mu d_g}$, можно определить, как функцию результирующего относительного потокосцепления в воздушном зазоре: $K_{\mu d_g} = f(\Psi_{\delta_g}^*)$. Для определения результирующего относительного потокосцепления в воздушном зазоре $\Psi_{\delta_g}^*$ выделим в матричном уравнении потокосцеплений фаз обмотки статора и контуров ротора основного генератора составляющие потокосцеплений в воздушном зазоре.

Для удобства, рассмотрим отдельно матричные уравнения для потокосцеплений фаз обмотки статора и контуров ротора основного генератора (2.54) и (2.71) и выделим в каждом матричном уравнении составляющие потокосцеплений в воздушном зазоре.

Рассмотрим матричное уравнение для потокосцеплений фаз обмотки статора основного генератора и выделим в нём составляющие потокосцеплений в воздушном зазоре:

$$\left[\Psi_{S_g} \right] = \left[L_{SS_g} \right] \cdot \left[I_{S_g} \right] + \left[\hat{L}_{SR_g} \right] \cdot \left[\hat{I}_{R_g} \right];$$

Данное матричное уравнение можно представить в виде:

$$\begin{bmatrix} \Psi_{A_g} \\ \Psi_{B_g} \\ \Psi_{C_g} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_{\sigma_g} & 0 & 0 \\ 0 & L_{\sigma_g} & 0 \\ 0 & 0 & L_{\sigma_g} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_{A_g} \\ I_{B_g} \\ I_{C_g} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Psi_{\delta A_g} \\ \Psi_{\delta B_g} \\ \Psi_{\delta C_g} \end{bmatrix}, \quad (2.97)$$

где

$$\begin{bmatrix} \Psi_{\delta A_g} \\ \Psi_{\delta B_g} \\ \Psi_{\delta C_g} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_{\delta A_g} & M_{\delta AB_g} & M_{\delta AC_g} \\ M_{\delta BA_g} & L_{\delta B_g} & M_{\delta BC_g} \\ M_{\delta CA_g} & M_{\delta CB_g} & L_{\delta C_g} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_{A_g} \\ I_{B_g} \\ I_{C_g} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \hat{M}_{AF_g} & \hat{M}_{ARd_g} & \hat{M}_{ARq_g} \\ \hat{M}_{BF_g} & \hat{M}_{BRd_g} & \hat{M}_{BRq_g} \\ \hat{M}_{CF_g} & \hat{M}_{CRd_g} & \hat{M}_{CRq_g} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \hat{I}_{F_g} \\ \hat{I}_{Rd_g} \\ \hat{I}_{Rq_g} \end{bmatrix},$$

(2.98)

Матричные уравнения (2.97) и (2.98) можно представить в виде:

$$\left[\Psi_{S_g} \right] = \left[L_{\sigma S_g} \right] \cdot \left[I_{S_g} \right] + \left[\Psi_{\delta S_g} \right], \quad (2.99)$$

$$\left[\Psi_{\delta S_g} \right] = \left[L_{\delta SS_g} \right] \cdot \left[I_{S_g} \right] + \left[\hat{L}_{SR_g} \right] \cdot \left[\hat{I}_{R_g} \right], \quad (2.100)$$

где $\left[L_{\sigma S_g} \right] = \begin{bmatrix} L_{\sigma_g} & 0 & 0 \\ 0 & L_{\sigma_g} & 0 \\ 0 & 0 & L_{\sigma_g} \end{bmatrix}$ – матрица индуктивностей рассеяния фаз обмотки

статора основного генератора; $\left[\Psi_{\delta S_g} \right] = \begin{bmatrix} \Psi_{\delta A_g} \\ \Psi_{\delta B_g} \\ \Psi_{\delta C_g} \end{bmatrix}$ – вектор-столбец потокосцеплений в

воздушном зазоре фаз обмотки статора основного генератора; $\Psi_{\delta A_g}$ – потокосцепление в

воздушном зазоре фазы «А» обмотки статора основного генератора; $\Psi_{\delta B_g}$ – потокосцепление в

воздушном зазоре фазы «В» обмотки статора основного генератора; $\Psi_{\delta C_g}$ – потокосцепление в

воздушном зазоре фазы «С» обмотки статора основного генератора;

$$\left[L_{\delta SS_g} \right] = \begin{bmatrix} L_{\delta A_g} & M_{\delta AB_g} & M_{\delta AC_g} \\ M_{\delta BA_g} & L_{\delta B_g} & M_{\delta BC_g} \\ M_{\delta CA_g} & M_{\delta CB_g} & L_{\delta C_g} \end{bmatrix} \quad \text{– матрица индуктивностей и взаимных}$$

индуктивностей фаз обмотки статора основного генератора с учётом потокосцеплений в

воздушном зазоре; $L_{\delta A_g}$ – индуктивность фазы «А» обмотки статора основного генератора с учётом потокоцепления в воздушном зазоре;

$$L_{\delta A_g} = \frac{L_{ad_g} + L_{aq_g}}{3} + \frac{(L_{ad_g} - L_{aq_g})}{3} \cos(2\gamma_g(t)), \quad (2.101)$$

$L_{\delta B_g}$ – индуктивность фазы «В» обмотки статора основного генератора с учётом потокоцепления в воздушном зазоре;

$$L_{\delta B_g} = \frac{L_{ad_g} + L_{aq_g}}{3} + \frac{(L_{ad_g} - L_{aq_g})}{3} \cos\left(2\gamma_g(t) + \frac{2\pi}{3}\right), \quad (2.102)$$

$L_{\delta C_g}$ – индуктивность фазы «С» обмотки статора основного генератора с учётом потокоцепления в воздушном зазоре;

$$L_{\delta C_g} = \frac{L_{ad_g} + L_{aq_g}}{3} + \frac{(L_{ad_g} - L_{aq_g})}{3} \cos\left(2\gamma_g(t) - \frac{2\pi}{3}\right), \quad (2.103)$$

$M_{\delta AB_g}$ – взаимная индуктивность между фазами «А» и «В» обмотки статора основного генератора с учётом потокоцепления в воздушном зазоре;

$$M_{\delta AB_g} = M_{\delta BA_g} = -\frac{L_{ad_g} + L_{aq_g}}{6} + \frac{(L_{ad_g} - L_{aq_g})}{3} \cdot \cos\left(2\gamma_g(t) - \frac{2\pi}{3}\right), \quad (2.104)$$

$M_{\delta BC_g}$ – взаимная индуктивность между фазами «В» и «С» обмотки статора основного генератора с учётом потокоцепления в воздушном зазоре;

$$M_{\delta BC_g} = M_{\delta CB_g} = -\frac{L_{ad_g} + L_{aq_g}}{6} + \frac{(L_{ad_g} - L_{aq_g})}{3} \cdot \cos(2\gamma_g(t)), \quad (2.105)$$

$M_{\delta AC_g}$ – взаимная индуктивность между фазами «А» и «С» обмотки статора основного генератора с учётом потокоцепления в воздушном зазоре;

$$M_{\delta AC_g} = M_{\delta CA_g} = -\frac{L_{ad_g} + L_{aq_g}}{6} + \frac{(L_{ad_g} - L_{aq_g})}{3} \cdot \cos\left(2\gamma_g(t) + \frac{2\pi}{3}\right). \quad (2.106)$$

Рассмотрим матричное уравнение для потокоцеплений контуров ротора основного генератора и выделим в нём составляющие потокоцеплений в воздушном зазоре:

$$\left[\hat{\Psi}_{R_g} \right] = \left[\hat{L}_{RS_g} \right] \cdot \left[I_{S_g} \right] + \left[\hat{L}_{RR_g} \right] \cdot \left[\hat{I}_{R_g} \right];$$

Данное матричное уравнение можно представить в виде:

$$\begin{bmatrix} \hat{\Psi}_{F_g} \\ \hat{\Psi}_{Rd_g} \\ \hat{\Psi}_{Rq_g} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_{\sigma F_g} & 0 & 0 \\ 0 & L_{\sigma Rd_g} & 0 \\ 0 & 0 & L_{\sigma Rq_g} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \hat{I}_{F_g} \\ \hat{I}_{Rd_g} \\ \hat{I}_{Rq_g} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \hat{\Psi}_{\delta F_g} \\ \hat{\Psi}_{\delta Rd_g} \\ \hat{\Psi}_{\delta Rq_g} \end{bmatrix}, \quad (2.107)$$

где

$$\begin{bmatrix} \hat{\Psi}_{\delta F_g} \\ \hat{\Psi}_{\delta Rd_g} \\ \hat{\Psi}_{\delta Rq_g} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{M}_{FA_g} & \hat{M}_{FB_g} & \hat{M}_{FC_g} \\ \hat{M}_{RdA_g} & \hat{M}_{RdB_g} & \hat{M}_{RdC_g} \\ \hat{M}_{RqA_g} & \hat{M}_{RqB_g} & \hat{M}_{RqC_g} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_{A_g} \\ I_{B_g} \\ I_{C_g} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L_{ad_g} & \hat{M}_{FRd_g} & 0 \\ \hat{M}_{RdF_g} & L_{ad_g} & 0 \\ 0 & 0 & L_{aq_g} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \hat{I}_{F_g} \\ \hat{I}_{Rd_g} \\ \hat{I}_{Rq_g} \end{bmatrix}, \quad (2.108)$$

Матричные уравнения (2.107) и (2.108) можно представить в виде:

$$\begin{bmatrix} \hat{\Psi}_{R_g} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_{\sigma R_g} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \hat{I}_{R_g} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \hat{\Psi}_{\delta R_g} \end{bmatrix}, \quad (2.109)$$

$$\begin{bmatrix} \hat{\Psi}_{\delta R_g} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{L}_{RS_g} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_{S_g} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L_{\delta RR_g} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \hat{I}_{R_g} \end{bmatrix}, \quad (2.110)$$

где $\begin{bmatrix} L_{\sigma R_g} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_{\sigma F_g} & 0 & 0 \\ 0 & L_{\sigma Rd_g} & 0 \\ 0 & 0 & L_{\sigma Rq_g} \end{bmatrix}$ – матрица индуктивностей рассеяния контуров

ротора основного генератора; $\begin{bmatrix} \hat{\Psi}_{\delta R_g} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{\Psi}_{\delta F_g} \\ \hat{\Psi}_{\delta Rd_g} \\ \hat{\Psi}_{\delta Rq_g} \end{bmatrix}$ – вектор-столбец потокосцеплений в

воздушном зазоре контуров ротора основного генератора; $\hat{\Psi}_{\delta F_g}$ – потокосцепление в

воздушном зазоре обмотки возбуждения основного генератора; $\hat{\Psi}_{\delta Rd_g}$ – потокосцепление в

воздушном зазоре продольного демпферного контура основного генератора; $\hat{\Psi}_{\delta Rq_g}$ –

потокосцепление в воздушном зазоре продольного демпферного контура основного генератора;

$$\begin{bmatrix} L_{\delta RR_g} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_{ad_g} & \hat{M}_{FRd_g} & 0 \\ \hat{M}_{RdF_g} & L_{ad_g} & 0 \\ 0 & 0 & L_{aq_g} \end{bmatrix} \quad \text{– матрица приведённых индуктивностей и}$$

взаимных индуктивностей цепей ротора основного генератора с учётом потокосцеплений в воздушном зазоре.

Рассматривая совместно матричные уравнения (2.99) и (2.109) получаем матричное уравнение потокосцеплений для фаз обмотки статора и контуров ротора основного генератора с учётом потокосцеплений в воздушном зазоре:

$$\begin{cases} \left[\Psi_{S_g} \right] = \left[L_{\sigma S_g} \right] \cdot \left[I_{S_g} \right] + \left[\Psi_{\delta S_g} \right] \\ \left[\hat{\Psi}_{R_g} \right] = \left[L_{\sigma R_g} \right] \cdot \left[\hat{I}_{R_g} \right] + \left[\hat{\Psi}_{\delta R_g} \right] \end{cases}, (2.111)$$

$$\left[\Psi_g \right] = \left[L_{\sigma g} \right] \cdot \left[I_g \right] + \left[\Psi_{\delta g} \right], (2.112)$$

где $\left[L_{\sigma g} \right] = \begin{bmatrix} \left[L_{\sigma S_g} \right] & \left[O_{3 \times 3} \right] \\ \left[O_{3 \times 3} \right] & \left[L_{\sigma R_g} \right] \end{bmatrix}$ – матрица индуктивностей рассеяния фаз обмотки

статора и контуров ротора основного генератора; $\left[\Psi_{\delta g} \right] = \begin{bmatrix} \left[\Psi_{\delta S_g} \right] \\ \left[\Psi_{\delta R_g} \right] \end{bmatrix}$ – матрица потокосцеплений в воздушном зазоре фаз обмотки статора и контуров ротора основного генератора.

Рассматривая совместно матричные уравнения (2.100) и (2.110) получаем матричное уравнение потокосцеплений в воздушном зазоре для фаз обмотки статора и контуров ротора основного генератора:

$$\begin{cases} \left[\Psi_{\delta S_g} \right] = \left[L_{\delta SS_g} \right] \cdot \left[I_{S_g} \right] + \left[\hat{L}_{SR_g} \right] \cdot \left[\hat{I}_{R_g} \right] \\ \left[\hat{\Psi}_{\delta R_g} \right] = \left[\hat{L}_{RS_g} \right] \cdot \left[I_{S_g} \right] + \left[L_{\delta RR_g} \right] \cdot \left[\hat{I}_{R_g} \right] \end{cases}, (2.113)$$

$$\left[\Psi_{\delta g} \right] = \left[L_{\delta g} \right] \cdot \left[I_g \right], (2.114)$$

где $\left[L_{\delta g} \right] = \begin{bmatrix} \left[L_{\delta SS_g} \right] & \left[\hat{L}_{SR_g} \right] \\ \left[\hat{L}_{RS_g} \right] & \left[L_{\delta RR_g} \right] \end{bmatrix}$.

Рассматривая совместно матричные уравнения (2.91), (2.112) и (2.114) получаем математическую модель электрической части основного генератора без учёта насыщения магнитной цепи в виде:

$$\begin{cases} [U_g] = \frac{d}{dt}[\Psi_g] + [R_g] \cdot [I_g] \\ [\Psi_g] = [L_{\sigma_g}] \cdot [I_g] + [\Psi_{\delta_g}], \\ [\Psi_{\delta_g}] = [L_{\delta_g}] \cdot [I_g] \end{cases}, (2.115)$$

Определим из системы матричных уравнений (2.115) $[\Psi_{\delta_g}]$ через $[\Psi_g]$:

$$\begin{aligned} [I_g] &= [L_{\sigma_g}]^{-1} \cdot ([\Psi_g] - [\Psi_{\delta_g}]); \\ [\Psi_{\delta_g}] &= [L_{\delta_g}] \cdot [L_{\sigma_g}]^{-1} \cdot ([\Psi_g] - [\Psi_{\delta_g}]); \\ [\Psi_{\delta_g}] &= [L_{\delta_g}] \cdot [L_{\sigma_g}]^{-1} \cdot [\Psi_g] - [L_{\delta_g}] \cdot [L_{\sigma_g}]^{-1} \cdot [\Psi_{\delta_g}]; \\ ([E_{6 \times 6}] + [L_{\delta_g}] \cdot [L_{\sigma_g}]^{-1}) \cdot [\Psi_{\delta_g}] &= [L_{\delta_g}] \cdot [L_{\sigma_g}]^{-1} \cdot [\Psi_g]; \\ [\Psi_{\delta_g}] &= ([E_{6 \times 6}] + [L_{\delta_g}] \cdot [L_{\sigma_g}]^{-1})^{-1} \cdot [L_{\delta_g}] \cdot [L_{\sigma_g}]^{-1} \cdot [\Psi_g], \end{aligned} (2.116)$$

$$\text{где } [E_{6 \times 6}] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \text{ — единичная матрица.}$$

Результирующее потокосцепление в воздушном зазоре основного генератора в этом случае может быть определено как:

$$\Psi_{\delta_{g\Sigma}} = \sqrt{(\Psi_{\delta F_g})^2 + (\Psi_{\delta Rq_g})^2}, (2.117)$$

Тогда результирующее потокосцепление в воздушном зазоре основного генератора, выраженное в относительных единицах определится как:

$$\Psi_{\delta_g}^* = \frac{\Psi_{\delta_{g\Sigma}}}{\Psi_{\delta b_g}} = \frac{\Psi_{\delta_g} \omega_{b_g}}{U_{b_g}}, (2.118)$$

где $\Psi_{\delta b_g} = \frac{U_{b_g}}{\omega_{b_g}}$ — базисное значение потокосцепления в воздушном зазоре основного

генератора; $\omega_{b_g} = 2\pi f_{n_g}$ — базисное значение угловой частоты основного генератора;

$f_{n_g} = 400 \text{ Гц}$ – номинальная частота тока основного генератора; $U_{b_g} = U_{n_g} \sqrt{2}$ – базисное значение напряжения обмотки статора основного генератора; $U_{n_g} = 120 \text{ В}$ – номинальное фазное напряжение основного генератора.

Коэффициент учёта насыщения по продольной оси основного генератора $K_{\mu_{d_g}}$, может быть определён с помощью характеристики холостого хода и спрямлённой характеристики холостого хода основного генератора построенные в относительных единицах.

На рисунке 2.2 показаны характеристика холостого хода и спрямлённая характеристика холостого хода основного генератора построенные в относительных единицах.

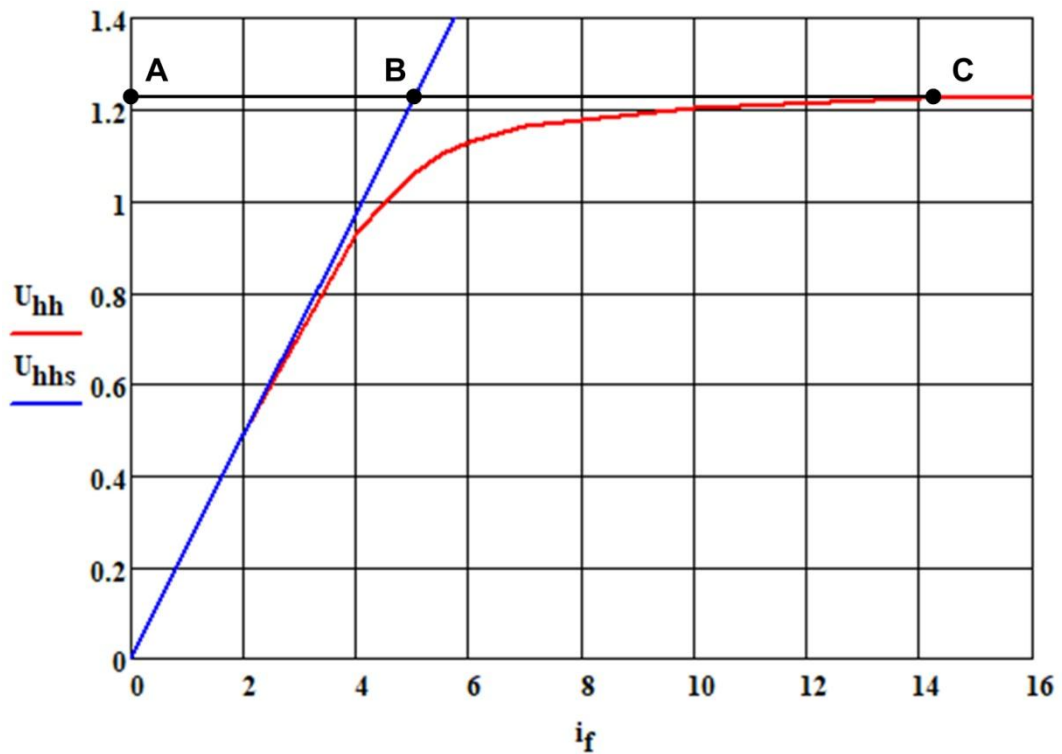


Рисунок 2.2. Характеристика холостого хода и спрямлённая характеристика холостого хода основного генератора в относительных единицах

Откладывая по вертикальной оси относительное значение потокосцепления $\Psi_{\delta_g}^*$ можно определить значение коэффициента учёта насыщения по продольной оси $K_{\mu_{d_g}}$ основного генератора:

$$K_{\mu_{d_g}} = \frac{AC}{AB}.$$

Таким образом, для каждого значения потокосцепления $\Psi_{\delta_g}^*$ можно получить соответствующее ему значение коэффициента $K_{\mu_{d_g}}$.

На рисунке 2.3 представлен график зависимости коэффициента учёта насыщения основного генератора по продольной оси от результирующего потокосцепления в воздушном зазоре $K_{\mu d_g} = f(\Psi_{\delta_g}^*)$.

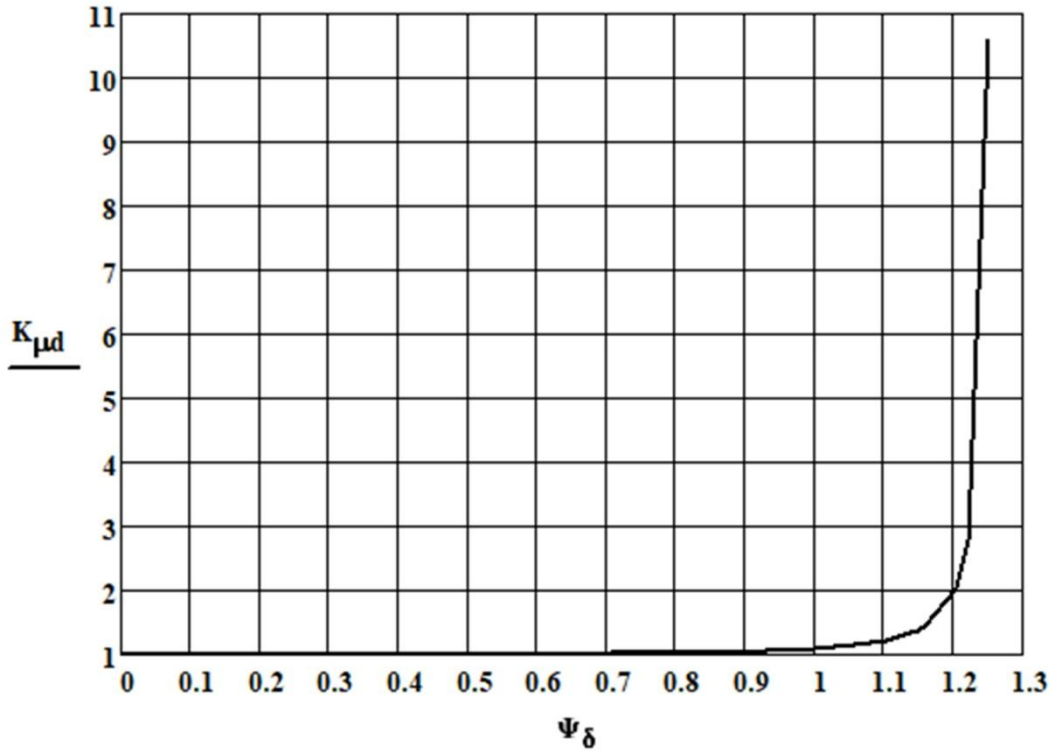


Рисунок 2.3. График зависимости коэффициента учитывающего насыщение по продольной оси от результирующего потокосцепления в воздушном зазоре $K_{\mu d_g} = f(\Psi_{\delta_g}^*)$ основного генератора

По определённому значению коэффициента учёта насыщения основного генератора по продольной оси $K_{\mu d_g}$ далее можно определить значение коэффициента учёта насыщения основного генератора по поперечной оси $K_{\mu q_g}$:

$$K_{\mu q_g} = \frac{\omega_{b_g} L_{aq_g}}{Z_{b_g} \cdot \left(1 + \frac{3}{4} \cdot (K_{\mu d_g} - 1) \cdot \frac{L_{aq_g}}{L_{ad_g}} \right)}, \quad (2.119)$$

где $Z_{b_g} = \frac{U_{b_g}}{I_{b_g}}$ – базисное значение сопротивления обмотки статора основного

генератора; $I_{b_g} = I_{n_g} \sqrt{2}$ – базисное значение тока обмотки статора основного генератора;

I_{n_g} – номинальный фазный ток основного генератора.

Насыщенные значения индуктивностей по продольной и поперечной осям основного генератора $L_{ad_{g\mu}}$ и $L_{aq_{g\mu}}$ можно определить по (2.95) и (2.96).

Рассматривая совместно матричные уравнения (2.91), (2.112), (2.114), а также учитывая (2.95) и (2.96), получаем математическую модель электрической части основного генератора с учётом насыщения магнитной цепи:

$$\begin{cases} [U_g] = \frac{d}{dt} [\Psi_g] + [R_g] \cdot [I_g] \\ [\Psi_g] = [L_{\sigma_g}] \cdot [I_g] + [\Psi_{\delta_g}] \\ [\Psi_{\delta_g}] = [L_{\mu\delta_g}] \cdot [I_g] \end{cases}, (2.120)$$

$$\text{где } [L_{\mu\delta_g}] = \begin{bmatrix} [L_{\mu\delta SS_g}] & [\hat{L}_{\mu SR_g}] \\ [\hat{L}_{\mu RS_g}] & [L_{\mu\delta RR_g}] \end{bmatrix}; \quad [L_{\mu\delta SS_g}] = \begin{bmatrix} L_{\mu\delta A_g} & M_{\mu\delta AB_g} & M_{\mu\delta AC_g} \\ M_{\mu\delta BA_g} & L_{\mu\delta B_g} & M_{\mu\delta BC_g} \\ M_{\mu\delta CA_g} & M_{\mu\delta CB_g} & L_{\mu\delta C_g} \end{bmatrix} -$$

матрица индуктивностей и взаимных индуктивностей фаз обмотки статора основного генератора с учётом потокосцеплений в воздушном зазоре с учётом насыщения магнитной цепи; $L_{\mu\delta A_g}$ – индуктивность фазы «А» обмотки статора основного генератора с учётом потокосцепления в воздушном зазоре с учётом насыщения магнитной цепи;

$$L_{\mu\delta A_g} = \frac{L_{\mu ad_g} + L_{\mu aq_g}}{3} + \frac{(L_{\mu ad_g} - L_{\mu aq_g})}{3} \cos(2\gamma_g(t)), (2.121)$$

$L_{\mu\delta B_g}$ – индуктивность фазы «В» обмотки статора основного генератора с учётом потокосцепления в воздушном зазоре с учётом насыщения магнитной цепи;

$$L_{\mu\delta B_g} = \frac{L_{\mu ad_g} + L_{\mu aq_g}}{3} + \frac{(L_{\mu ad_g} - L_{\mu aq_g})}{3} \cos\left(2\gamma_g(t) + \frac{2\pi}{3}\right), (2.122)$$

$L_{\mu\delta C_g}$ – индуктивность фазы «С» обмотки статора основного генератора с учётом потокосцепления в воздушном зазоре с учётом насыщения магнитной цепи;

$$L_{\mu\delta C_g} = \frac{L_{\mu ad_g} + L_{\mu aq_g}}{3} + \frac{(L_{\mu ad_g} - L_{\mu aq_g})}{3} \cos\left(2\gamma_g(t) - \frac{2\pi}{3}\right), (2.123)$$

$M_{\mu\delta AB_g}$ – взаимная индуктивность между фазами «А» и «В» обмотки статора основного генератора с учётом потокосцепления в воздушном зазоре с учётом насыщения магнитной цепи;

$$M_{\mu\delta AB_g} = M_{\mu\delta BA_g} = -\frac{L_{\mu ad_g} + L_{\mu aq_g}}{6} + \frac{(L_{\mu ad_g} - L_{\mu aq_g})}{3} \cdot \cos\left(2\gamma_g(t) - \frac{2\pi}{3}\right), \quad (2.124)$$

$M_{\mu\delta BC_g}$ – взаимная индуктивность между фазами «В» и «С» обмотки статора основного генератора с учётом потокосцепления в воздушном зазоре с учётом насыщения магнитной цепи;

$$M_{\mu\delta BC_g} = M_{\mu\delta CB_g} = -\frac{L_{\mu ad_g} + L_{\mu aq_g}}{6} + \frac{(L_{\mu ad_g} - L_{\mu aq_g})}{3} \cdot \cos\left(2\gamma_g(t)\right), \quad (2.125)$$

$M_{\mu\delta AC_g}$ – взаимная индуктивность между фазами «А» и «С» обмотки статора основного генератора с учётом потокосцепления в воздушном зазоре с учётом насыщения магнитной цепи;

$$M_{\mu\delta AC_g} = M_{\mu\delta CA_g} = -\frac{L_{\mu ad_g} + L_{\mu aq_g}}{6} + \frac{(L_{\mu ad_g} - L_{\mu aq_g})}{3} \cdot \cos\left(2\gamma_g(t) + \frac{2\pi}{3}\right), \quad (2.126)$$

$$\left[\hat{L}_{\mu SR_g} \right] = \begin{bmatrix} \hat{M}_{\mu AF_g} & \hat{M}_{\mu ARd_g} & \hat{M}_{\mu ARq_g} \\ \hat{M}_{\mu BF_g} & \hat{M}_{\mu BRd_g} & \hat{M}_{\mu BRq_g} \\ \hat{M}_{\mu CF_g} & \hat{M}_{\mu CRd_g} & \hat{M}_{\mu CRq_g} \end{bmatrix} \quad \text{– матрица взаимных индуктивностей фаз}$$

обмотки статора и контуров ротора основного генератора с учётом насыщения магнитной цепи;
 $\hat{M}_{\mu AF_g}$ – приведённая взаимная индуктивность между фазой «А» обмотки статора и обмоткой возбуждения основного генератора с учётом насыщения магнитной цепи;

$$\hat{M}_{\mu AF_g} = L_{\mu ad_g} \cos\left(\gamma_g(t)\right), \quad (2.127)$$

$\hat{M}_{\mu BF_g}$ – приведённая взаимная индуктивность между фазой «В» обмотки статора и обмоткой возбуждения основного генератора с учётом насыщения магнитной цепи;

$$\hat{M}_{\mu BF_g} = L_{\mu ad_g} \cos\left(\gamma_g(t) - \frac{2\pi}{3}\right), \quad (2.128)$$

$\hat{M}_{\mu CF_g}$ – приведённая взаимная индуктивность между фазой «С» обмотки статора и обмоткой возбуждения основного генератора с учётом насыщения магнитной цепи;

$$\hat{M}_{\mu CF_g} = L_{\mu ad_g} \cos\left(\gamma_g(t) + \frac{2\pi}{3}\right), \quad (2.129)$$

$\hat{M}_{\mu ARd_g}$ – приведённая взаимная индуктивность между фазой «А» обмотки статора и продольным демпферным контуром основного генератора с учётом насыщения магнитной цепи;

$$\hat{M}_{\mu ARd_g} = L_{\mu ad_g} \cos(\gamma_g(t)), \quad (2.130)$$

$\hat{M}_{\mu BRd_g}$ – приведённая взаимная индуктивность между фазой «В» обмотки статора и продольным демпферным контуром основного генератора с учётом насыщения магнитной цепи;

$$\hat{M}_{\mu BRd_g} = L_{\mu ad_g} \cos\left(\gamma_g(t) - \frac{2\pi}{3}\right), \quad (2.131)$$

$\hat{M}_{\mu CRd_g}$ – приведённая взаимная индуктивность между фазой «С» обмотки статора и продольным демпферным контуром основного генератора с учётом насыщения магнитной цепи;

$$\hat{M}_{\mu CRd_g} = L_{\mu ad_g} \cos\left(\gamma_g(t) + \frac{2\pi}{3}\right), \quad (2.132)$$

$\hat{M}_{\mu ARq_g}$ – приведённая взаимная индуктивность между фазой «А» обмотки статора и поперечным демпферным контуром основного генератора с учётом насыщения магнитной цепи;

$$\hat{M}_{\mu ARq_g} = L_{\mu aq_g} \sin(\gamma_g(t)), \quad (2.133)$$

$\hat{M}_{\mu BRq_g}$ – приведённая взаимная индуктивность между фазой «В» обмотки статора и поперечным демпферным контуром основного генератора с учётом насыщения магнитной цепи;

$$\hat{M}_{\mu BRq_g} = L_{\mu aq_g} \sin\left(\gamma_g(t) - \frac{2\pi}{3}\right), \quad (2.134)$$

$\hat{M}_{\mu CRq_g}$ – приведённая взаимная индуктивность между фазой «С» обмотки статора и поперечным демпферным контуром основного генератора с учётом насыщения магнитной цепи;

$$\hat{M}_{\mu CRq_g} = L_{\mu aq_g} \sin\left(\gamma_g(t) + \frac{2\pi}{3}\right). \quad (2.135)$$

$$\left[\hat{L}_{\mu RS_g} \right] = \begin{bmatrix} \hat{M}_{\mu FA_g} & \hat{M}_{\mu FB_g} & \hat{M}_{\mu FC_g} \\ \hat{M}_{\mu RdA_g} & \hat{M}_{\mu RdB_g} & \hat{M}_{\mu RdC_g} \\ \hat{M}_{\mu RqA_g} & \hat{M}_{\mu RqB_g} & \hat{M}_{\mu RqC_g} \end{bmatrix} \quad - \quad \text{матрица} \quad \text{приведённых} \quad \text{взаимных}$$

индуктивностей между контурами ротора и фазами обмотки статора основного генератора с учётом насыщения магнитной цепи; $\hat{M}_{\mu FA_g}$ – приведённая взаимная индуктивность между обмоткой возбуждения и фазой «А» обмотки статора основного генератора с учётом насыщения магнитной цепи;

$$\hat{M}_{\mu FA_g} = \frac{2}{3} L_{\mu ad_g} \cos(\gamma_g(t)), \quad (2.136)$$

$\hat{M}_{\mu FB_g}$ – приведённая взаимная индуктивность между обмоткой возбуждения и фазой «В» обмотки статора основного генератора с учётом насыщения магнитной цепи;

$$\hat{M}_{\mu FB_g} = \frac{2}{3} L_{\mu ad_g} \cos\left(\gamma_g(t) - \frac{2\pi}{3}\right), \quad (2.137)$$

$\hat{M}_{\mu FC_g}$ – приведённая взаимная индуктивность между обмоткой возбуждения и фазой «С» обмотки статора основного генератора с учётом насыщения магнитной цепи;

$$\hat{M}_{\mu FC_g} = \frac{2}{3} L_{\mu ad_g} \cos\left(\gamma_g(t) + \frac{2\pi}{3}\right), \quad (2.138)$$

$\hat{M}_{\mu RdA_g}$ – приведённая взаимная индуктивность между продольным демпферным контуром и фазой «А» обмотки статора основного генератора с учётом насыщения магнитной цепи;

$$\hat{M}_{\mu RdA_g} = \frac{2}{3} L_{\mu ad_g} \cos(\gamma_g(t)), \quad (2.139)$$

$\hat{M}_{\mu RdB_g}$ – приведённая взаимная индуктивность между продольным демпферным контуром и фазой «В» обмотки статора основного генератора с учётом насыщения магнитной цепи;

$$\hat{M}_{\mu RdB_g} = \frac{2}{3} L_{\mu ad_g} \cos\left(\gamma_g(t) - \frac{2\pi}{3}\right), \quad (2.140)$$

$\hat{M}_{\mu RdC_g}$ – приведённая взаимная индуктивность между продольным демпферным контуром и фазой «С» обмотки статора основного генератора с учётом насыщения магнитной цепи;

$$\hat{M}_{\mu R d C_g} = \frac{2}{3} L_{\mu a d_g} \cos\left(\gamma_g(t) + \frac{2\pi}{3}\right), \quad (2.141)$$

$\hat{M}_{\mu R q A_g}$ – приведённая взаимная индуктивность между поперечным демпферным контуром и фазой «А» обмотки статора основного генератора с учётом насыщения магнитной цепи;

$$\hat{M}_{\mu R q A_g} = \frac{2}{3} L_{\mu a q_g} \sin\left(\gamma_g(t)\right), \quad (2.142)$$

$\hat{M}_{\mu R q B_g}$ – приведённая взаимная индуктивность между поперечным демпферным контуром и фазой «В» обмотки статора основного генератора с учётом насыщения магнитной цепи;

$$\hat{M}_{\mu R q B_g} = \frac{2}{3} L_{\mu a q_g} \sin\left(\gamma_g(t) - \frac{2\pi}{3}\right), \quad (2.143)$$

$\hat{M}_{\mu R q C_g}$ – приведённая взаимная индуктивность между поперечным демпферным контуром и фазой «С» обмотки статора основного генератора с учётом насыщения магнитной цепи;

$$\hat{M}_{\mu R q C_g} = \frac{2}{3} L_{\mu a q_g} \sin\left(\gamma_g(t) + \frac{2\pi}{3}\right), \quad (2.144)$$

$$\left[L_{\mu \delta R R_g} \right] = \begin{bmatrix} L_{\mu a d_g} & \hat{M}_{\mu F R d_g} & 0 \\ \hat{M}_{\mu R d F_g} & L_{\mu a d_g} & 0 \\ 0 & 0 & L_{\mu a q_g} \end{bmatrix} \quad \text{– матрица приведённых индуктивностей и}$$

взаимных индуктивностей цепей ротора основного генератора с учётом потокосцеплений в воздушном зазоре с учётом насыщения магнитной цепи; $\hat{M}_{\mu F R d_g}$ – приведённая взаимная индуктивность между обмоткой возбуждения и продольным демпферным контуром основного генератора с учётом насыщения магнитной цепи;

$$\hat{M}_{\mu F R d_g} = \hat{M}_{\mu R d F_g} = L_{\mu a d_g}. \quad (2.145)$$

Математическая модель механической части основного генератора представлена общим уравнением динамики вращательного движения основного генератора:

$$J_g \frac{d\Omega_g}{dt} = M_{np_g} - M_{\zeta_g}, \quad (2.146)$$

Где J_g – момент инерции основного генератора; Ω_g – угловая скорость вращения вала основного генератора; M_{np_g} – вращательный момент, развиваемый приводом на валу основного генератора;

M_{z_g} – электромагнитный момент основного генератора;

$$M_{z_g} = \frac{P_{A_g} + P_{B_g} + P_{C_g}}{\Omega_g}, \quad (2.147)$$

P_{A_g} – активная мощность фазы «А» фидера основного генератора;

$$P_{A_g} = \frac{1}{T} \int_0^T p_{A_g}(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T U_{A_g} \cdot I_{A_g} dt, \quad (2.148)$$

P_{B_g} – активная мощность фазы «В» фидера основного генератора;

$$P_{B_g} = \frac{1}{T} \int_0^T p_{B_g}(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T U_{B_g} \cdot I_{B_g} dt, \quad (2.149)$$

P_{C_g} – активная мощность фазы «С» фидера основного генератора;

$$P_{C_g} = \frac{1}{T} \int_0^T p_{C_g}(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T U_{C_g} \cdot I_{C_g} dt. \quad (2.150)$$

2.1.2 Математическое моделирование возбудителя

При реализации математической модели электрической части возбудителя использовалась математическая модель электрической части основного генератора с учётом отсутствия продольного и поперечного демпферных контуров на роторе возбудителя.

Математическая модель электрической части возбудителя описывается системой матричных уравнений:

$$\begin{cases} [U_{S_e}] = -\frac{d}{dt} [\Psi_{S_e}] - [R_{S_e}] \cdot [I_{S_e}] \\ [U_{R_e}] = \frac{d}{dt} [\Psi_{R_e}] + [R_{R_e}] \cdot [I_{R_e}] \\ [\Psi_{S_e}] = [L_{SS_e}] \cdot [I_{S_e}] + [L_{SR_e}] \cdot [I_{R_e}] \\ [\Psi_{R_e}] = [L_{RS_e}] \cdot [I_{S_e}] + [L_{RR_e}] \cdot [I_{R_e}] \end{cases}, \quad (2.151)$$

где $\begin{bmatrix} U_{S_e} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U_{A_e} \\ U_{B_e} \\ U_{C_e} \end{bmatrix}$ – вектор-столбец фазных напряжений возбудителя; U_{A_e} –

напряжение фазы «А» обмотки статора возбудителя; U_{B_e} – напряжение фазы «В» обмотки статора возбудителя; U_{C_e} – напряжение фазы «С» обмотки статора возбудителя;

$\begin{bmatrix} U_{R_e} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U_{F_e} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$ – вектор-столбец напряжений цепей ротора возбудителя;

$\begin{bmatrix} \Psi_{S_e} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Psi_{A_e} \\ \Psi_{B_e} \\ \Psi_{C_e} \end{bmatrix}$ – вектор-столбец потокосцеплений фаз обмотки статора возбудителя;

Ψ_{A_e} – потокосцепление фазы «А» обмотки статора возбудителя; Ψ_{B_e} – потокосцепление фазы «В» обмотки статора возбудителя; Ψ_{C_e} – потокосцепление фазы «С» обмотки статора возбудителя;

$\begin{bmatrix} \Psi_{R_e} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Psi_{F_e} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$ – вектор-столбец потокосцеплений контуров ротора возбудителя;

Ψ_{F_e} – потокосцепление обмотки возбуждения возбудителя;

$\begin{bmatrix} I_{S_e} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_{A_e} \\ I_{B_e} \\ I_{C_e} \end{bmatrix}$ – вектор-столбец фазных токов возбудителя;

I_{A_e} – ток фазы «А» обмотки статора возбудителя; I_{B_e} – ток фазы «В» обмотки статора возбудителя; I_{C_e} – ток фазы «С» обмотки статора возбудителя;

$\begin{bmatrix} I_{R_e} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_{F_e} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$ – вектор-столбец токов роторных цепей возбудителя; I_{F_e} – ток обмотки

возбуждения возбудителя;

$\begin{bmatrix} R_{S_e} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_e & 0 & 0 \\ 0 & R_e & 0 \\ 0 & 0 & R_e \end{bmatrix}$ – матрица активных сопротивлений фаз обмотки статора

возбудителя; R_e – активное сопротивление фазы обмотки статора возбудителя;

$$\left[R_{R_e} \right] = \begin{bmatrix} R_{F_e} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} - \text{матрица активных сопротивлений цепей ротора возбудителя};$$

R_{F_e} – активное сопротивление обмотки возбуждения основного генератора;

$$\left[L_{SS_e} \right] = \begin{bmatrix} L_{A_e} & M_{AB_e} & M_{AC_e} \\ M_{BA_e} & L_{B_e} & M_{BC_e} \\ M_{CA_e} & M_{CB_e} & L_{C_e} \end{bmatrix} - \text{матрица индуктивностей и взаимных}$$

индуктивностей фаз обмотки статора возбудителя; L_{A_e} – индуктивность фазы «А» обмотки статора возбудителя; M_{AB_e} – взаимная индуктивность между фазами «А» и «В» обмотки статора возбудителя; M_{AC_e} – взаимная индуктивность между фазами «А» и «С» обмотки статора возбудителя; M_{BA_e} – взаимная индуктивность между фазами «В» и «А» обмотки статора возбудителя; L_{B_e} – индуктивность фазы «В» обмотки статора основного генератора; M_{BC_e} – взаимная индуктивность между фазами «В» и «С» обмотки статора возбудителя; M_{CA_e} – взаимная индуктивность между фазами «С» и «А» обмотки статора возбудителя; M_{CB_e} – взаимная индуктивность между фазами «С» и «В» обмотки статора возбудителя; L_{C_e} – индуктивность фазы «С» обмотки статора возбудителя;

$$\left[L_{SR_e} \right] = \begin{bmatrix} M_{AF_e} & 0 & 0 \\ M_{BF_e} & 0 & 0 \\ M_{CF_e} & 0 & 0 \end{bmatrix} - \text{матрица взаимных индуктивностей фаз обмотки статора и}$$

цепей ротора возбудителя; M_{AF_e} – взаимная индуктивность между фазой «А» обмотки статора и обмоткой возбуждения возбудителя; M_{BF_e} – взаимная индуктивность между фазой «В» обмотки статора и обмоткой возбуждения возбудителя; M_{CF_e} – взаимная индуктивность между фазой «С» обмотки статора и обмоткой возбуждения возбудителя;

$$\left[L_{RS_e} \right] = \begin{bmatrix} M_{FA_e} & M_{FB_e} & M_{FC_e} \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} - \text{матрица взаимных индуктивностей цепей ротора и}$$

фаз обмотки статора возбудителя; M_{FA_e} – взаимная индуктивность между обмоткой возбуждения и фазой «А» обмотки статора возбудителя; M_{FB_e} – взаимная индуктивность

между обмоткой возбуждения и фазой «В» обмотки статора возбудителя; M_{FC_e} – взаимная индуктивность между обмоткой возбуждения и фазой «С» обмотки статора возбудителя;

$$\begin{bmatrix} L_{RR_e} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_{F_e} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \text{ – матрица индуктивностей и взаимных индуктивностей цепей}$$

ротора возбудителя; L_{F_e} – индуктивность обмотки возбуждения возбудителя;

По аналогии с получением математической модели электрической части основного генератора без учёта насыщения магнитной цепи, математическую модель электрической части возбудителя без учёта насыщения магнитной цепи получаем на основе матричных уравнений (2.91), (2.112) и (2.114) основного генератора:

$$\begin{cases} [U_e] = \frac{d}{dt} [\Psi_e] + [R_e] \cdot [I_e] \\ [\Psi_e] = [L_{\sigma_e}] \cdot [I_e] + [\Psi_{\delta_e}] \\ [\Psi_{\delta_e}] = [L_{\delta_e}] \cdot [I_e] \end{cases}, (2.152)$$

где $[U_e] = \begin{bmatrix} -[U_{S_e}] \\ [\hat{U}_{R_e}] \end{bmatrix}$ – матрица напряжений фаз обмотки статора и контуров ротора

возбудителя; $[\hat{U}_{R_e}] = \begin{bmatrix} \hat{U}_{F_e} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$ – вектор-столбец приведённых напряжений контуров ротора

возбудителя; $\hat{U}_{F_e} = K_{U_{F_e}} U_{F_e}$ – приведённое напряжение обмотки возбуждения возбудителя;

$$K_{U_{F_e}} = \frac{2}{3} K_{I_{F_e}} \text{ – коэффициент приведения по напряжению обмотки возбуждения}$$

возбудителя к обмотке статора возбудителя; $K_{I_{F_e}} = \frac{1,91 \cdot w_e k_{o\delta_e} k_{d_e}}{2 p_e w_{F_e}}$ – коэффициент приведения

по току обмотки возбуждения возбудителя к обмотке статора возбудителя;

где w_e – число витков обмотки статора возбудителя; $k_{o\delta_e}$ – обмоточный коэффициент обмотки статора возбудителя; k_{d_e} – коэффициент реакции якоря по продольной оси возбудителя; k_{q_e} – коэффициент реакции якоря по поперечной оси возбудителя; p_e – число пар полюсов возбудителя; w_{F_e} – число витков обмотки возбуждения возбудителя.

$$[\Psi_e] = \begin{bmatrix} [\Psi_{S_e}] \\ [\hat{\Psi}_{R_e}] \end{bmatrix} - \text{матрица потокосцеплений фаз обмотки статора и контуров ротора}$$

$$\text{возбудителя; } [\hat{\Psi}_{R_e}] = \begin{bmatrix} \hat{\Psi}_{F_e} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} - \text{вектор-столбец приведённых потокосцеплений контуров ротора}$$

$$\text{возбудителя; } \hat{\Psi}_{F_e} = K_{U_{F_e}} \Psi_{F_e} - \text{приведённое потокосцепление обмотки возбуждения}$$

$$\text{возбудителя; } [R_e] = \begin{bmatrix} [R_{S_e}] & [O_{3 \times 3}] \\ [O_{3 \times 3}] & [\hat{R}_{R_e}] \end{bmatrix} - \text{матрица активных сопротивлений фаз обмотки статора и}$$

$$\text{контуров ротора возбудителя; } [I_e] = \begin{bmatrix} [I_{S_e}] \\ [\hat{I}_{R_e}] \end{bmatrix} - \text{матрица токов фаз обмотки статора и контуров}$$

$$\text{ротора возбудителя; } [\hat{I}_{R_e}] = \begin{bmatrix} \hat{I}_{F_e} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} - \text{вектор-столбец приведённых токов контуров ротора}$$

$$\text{возбудителя; } \hat{I}_{F_e} = \frac{I_{F_e}}{K_{I_{F_e}}} - \text{приведённый ток обмотки возбуждения возбудителя;}$$

$$[L_{\sigma_e}] = \begin{bmatrix} [L_{\sigma_{S_e}}] & [O_{3 \times 3}] \\ [O_{3 \times 3}] & [L_{\sigma_{R_e}}] \end{bmatrix} - \text{матрица индуктивностей рассеяния фаз обмотки статора и}$$

$$\text{контуров ротора возбудителя; } [L_{\sigma_{S_e}}] = \begin{bmatrix} L_{\sigma_e} & 0 & 0 \\ 0 & L_{\sigma_e} & 0 \\ 0 & 0 & L_{\sigma_e} \end{bmatrix} - \text{матрица индуктивностей рассеяния}$$

$$\text{фаз обмотки статора возбудителя; } L_{\sigma_e} - \text{индуктивность рассеяния обмотки статора возбудителя;}$$

$$[L_{\sigma_{R_e}}] = \begin{bmatrix} L_{\sigma_{F_e}} & 0 & 0 \\ 0 & L_{\sigma_{F_e}} & 0 \\ 0 & 0 & L_{\sigma_{F_e}} \end{bmatrix} - \text{матрица индуктивностей рассеяния контуров ротора}$$

$$\text{возбудителя; } L_{\sigma_{F_e}} - \text{индуктивность рассеяния обмотки возбуждения возбудителя;}$$

$$\left[\Psi_{\delta_e} \right] = \begin{bmatrix} \left[\Psi_{\delta S_e} \right] \\ \left[\Psi_{\delta R_e} \right] \end{bmatrix} - \text{матрица потокосцеплений в воздушном зазоре фаз обмотки статора}$$

$$\text{и контуров ротора возбудителя; } \left[\Psi_{\delta S_e} \right] = \begin{bmatrix} \Psi_{\delta A_e} \\ \Psi_{\delta B_e} \\ \Psi_{\delta C_e} \end{bmatrix} - \text{вектор-столбец потокосцеплений в}$$

воздушном зазоре фаз обмотки статора возбудителя; $\Psi_{\delta A_e}$ – потокосцепление в воздушном зазоре фазы «А» обмотки статора возбудителя; $\Psi_{\delta B_e}$ – потокосцепление в воздушном зазоре фазы «В» обмотки статора возбудителя; $\Psi_{\delta C_e}$ – потокосцепление в воздушном зазоре фазы

$$\text{«С» обмотки статора возбудителя; } \left[\hat{\Psi}_{\delta R_e} \right] = \begin{bmatrix} \hat{\Psi}_{\delta F_e} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} - \text{вектор-столбец потокосцеплений в}$$

воздушном зазоре контуров ротора возбудителя; $\hat{\Psi}_{\delta F_e}$ – потокосцепление в воздушном зазоре обмотки возбуждения возбудителя;

$$\left[L_{\delta_e} \right] = \begin{bmatrix} \left[L_{\delta SS_e} \right] & \left[\hat{L}_{SR_e} \right] \\ \left[\hat{L}_{RS_e} \right] & \left[L_{\delta RR_e} \right] \end{bmatrix}; \quad \left[L_{\delta SS_e} \right] = \begin{bmatrix} L_{\delta A_e} & M_{\delta AB_e} & M_{\delta AC_e} \\ M_{\delta BA_e} & L_{\delta B_e} & M_{\delta BC_e} \\ M_{\delta CA_e} & M_{\delta CB_e} & L_{\delta C_e} \end{bmatrix} - \text{матрица}$$

индуктивностей и взаимных индуктивностей фаз обмотки статора возбудителя с учётом потокосцеплений в воздушном зазоре; $L_{\delta A_e}$ – индуктивность фазы «А» обмотки статора возбудителя с учётом потокосцепления в воздушном зазоре;

$$L_{\delta A_e} = \frac{L_{ad_e} + L_{aq_e}}{3} + \frac{(L_{ad_e} - L_{aq_e})}{3} \cos(2\gamma_e(t)), \quad (2.153)$$

L_{ad_e} – ненасыщенное значение индуктивности по продольной оси возбудителя;

L_{aq_e} – ненасыщенное значение индуктивности по поперечной оси возбудителя.

где $\gamma_e(t)$ – электрический угол поворота ротора возбудителя;

$$\gamma_e(t) = \int_0^t \omega_e(\tau) d\tau, \quad (2.154)$$

$\omega_e(t)$ – мгновенная частота вращения ротора возбудителя;

$L_{\delta B_e}$ – индуктивность фазы «В» обмотки статора возбудителя с учётом потокосцепления в воздушном зазоре;

$$L_{\delta B_e} = \frac{L_{ad_e} + L_{aq_e}}{3} + \frac{(L_{ad_e} - L_{aq_e})}{3} \cos\left(2\gamma_e(t) + \frac{2\pi}{3}\right), \quad (2.155)$$

$L_{\delta C_e}$ – индуктивность фазы «С» обмотки статора возбудителя с учётом потокосцепления в воздушном зазоре;

$$L_{\delta C_e} = \frac{L_{ad_e} + L_{aq_e}}{3} + \frac{(L_{ad_e} - L_{aq_e})}{3} \cos\left(2\gamma_e(t) - \frac{2\pi}{3}\right), \quad (2.156)$$

$M_{\delta AB_e}$ – взаимная индуктивность между фазами «А» и «В» обмотки статора возбудителя с учётом потокосцепления в воздушном зазоре;

$$M_{\delta AB_e} = M_{\delta BA_e} = -\frac{L_{ad_e} + L_{aq_e}}{6} + \frac{(L_{ad_e} - L_{aq_e})}{3} \cdot \cos\left(2\gamma_e(t) - \frac{2\pi}{3}\right), \quad (2.157)$$

$M_{\delta BC_e}$ – взаимная индуктивность между фазами «В» и «С» обмотки статора возбудителя с учётом потокосцепления в воздушном зазоре;

$$M_{\delta BC_e} = M_{\delta CB_e} = -\frac{L_{ad_e} + L_{aq_e}}{6} + \frac{(L_{ad_e} - L_{aq_e})}{3} \cdot \cos(2\gamma_e(t)), \quad (2.158)$$

$M_{\delta AC_e}$ – взаимная индуктивность между фазами «А» и «С» обмотки статора возбудителя с учётом потокосцепления в воздушном зазоре;

$$M_{\delta AC_e} = M_{\delta CA_e} = -\frac{L_{ad_e} + L_{aq_e}}{6} + \frac{(L_{ad_e} - L_{aq_e})}{3} \cdot \cos\left(2\gamma_e(t) + \frac{2\pi}{3}\right), \quad (2.159)$$

$$\begin{bmatrix} \hat{L}_{SR_e} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{M}_{AF_e} & 0 & 0 \\ \hat{M}_{BF_e} & 0 & 0 \\ \hat{M}_{CF_e} & 0 & 0 \end{bmatrix} \text{ – матрица взаимных индуктивностей фаз обмотки статора и}$$

контуров ротора возбудителя; \hat{M}_{AF_e} – приведённая взаимная индуктивность между фазой «А» обмотки статора и обмоткой возбуждения возбудителя;

$$\hat{M}_{AF_e} = L_{ad_e} \cos(\gamma_e(t)), \quad (2.160)$$

\hat{M}_{BF_e} – приведённая взаимная индуктивность между фазой «В» обмотки статора и обмоткой возбуждения возбудителя;

$$\hat{M}_{BF_e} = L_{ad_e} \cos\left(\gamma_e(t) - \frac{2\pi}{3}\right), \quad (2.161)$$

\hat{M}_{CF_e} – приведённая взаимная индуктивность между фазой «С» обмотки статора и обмоткой возбуждения возбудителя;

$$\hat{M}_{CF_e} = L_{ad_e} \cos\left(\gamma_e(t) + \frac{2\pi}{3}\right), (2.162)$$

$$\left[\hat{L}_{RS_e} \right] = \begin{bmatrix} \hat{M}_{FA_e} & \hat{M}_{FB_e} & \hat{M}_{FC_e} \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} - \text{матрица приведённых взаимных индуктивностей}$$

между контурами ротора и фазами обмотки статора возбудителя; \hat{M}_{FA_e} – приведённая взаимная индуктивность между обмоткой возбуждения и фазой «А» обмотки статора возбудителя;

$$\hat{M}_{FA_e} = \frac{2}{3} L_{ad_e} \cos(\gamma_e(t)), (2.163)$$

\hat{M}_{FB_e} – приведённая взаимная индуктивность между обмоткой возбуждения и фазой «В» обмотки статора возбудителя;

$$\hat{M}_{FB_e} = \frac{2}{3} L_{ad_e} \cos\left(\gamma_e(t) - \frac{2\pi}{3}\right), (2.164)$$

\hat{M}_{FC_e} – приведённая взаимная индуктивность между обмоткой возбуждения и фазой «С» обмотки статора возбудителя;

$$\hat{M}_{FC_e} = \frac{2}{3} L_{ad_e} \cos\left(\gamma_e(t) + \frac{2\pi}{3}\right), (2.165)$$

$$\left[L_{\delta RR_e} \right] = \begin{bmatrix} L_{ad_e} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} - \text{матрица приведённых индуктивностей и взаимных}$$

индуктивностей цепей ротора возбудителя с учётом потокоцеплений в воздушном зазоре.

Математическая модель электрической части возбудителя (2.152) не учитывает насыщение его магнитной цепи. Получим далее математическую модель электрической части возбудителя с учётом насыщения его магнитной цепи.

Учёт насыщения магнитной цепи возбудителя произведём путём ввода в уравнения математической модели возбудителя насыщенные значения индуктивностей по продольной и поперечной осям возбудителя $L_{ad_{e\mu}}$ и $L_{aq_{e\mu}}$, соответствующих насыщенной магнитной цепи.

Насыщенные значения индуктивностей по продольной и поперечной осям возбудителя $L_{ad_{e\mu}}$ и $L_{aq_{e\mu}}$ можно определить в виде:

$$L_{ad_{e\mu}} = \frac{L_{ad_e}}{K_{\mu d_e}}, (2.166)$$

где $K_{\mu_{d_e}}$ – коэффициент учёта насыщения по продольной оси возбудителя;

$$L_{aq_{e\mu}} = \frac{L_{aq_e}}{K_{\mu_{q_e}}}, \quad (2.167)$$

где $K_{\mu_{q_e}}$ – коэффициент учёта насыщения по поперечной оси возбудителя;

Коэффициент учёта насыщения по продольной оси возбудителя $K_{\mu_{d_e}}$, можно определить, как функцию результирующего относительного потокосцепления в воздушном зазоре: $K_{\mu_{d_e}} = f(\Psi_{\delta_e}^*)$.

Определяя из системы матричных уравнений (2.152) $[\Psi_{\delta_e}]$ через $[\Psi_e]$: по аналогии с математической моделью электрической части основного генератора получаем:

$$[\Psi_{\delta_e}] = \left([E_{6 \times 6}] + [L_{\delta_e}] \cdot [L_{\sigma_e}]^{-1} \right)^{-1} \cdot [L_{\delta_e}] \cdot [L_{\sigma_e}]^{-1} \cdot [\Psi_e], \quad (2.168)$$

С учётом того, что на роторе возбудителя расположена только обмотка возбуждения (продольный и поперечный демпферные контуры отсутствуют), результирующее потокосцепление в воздушном зазоре возбудителя в этом случае может быть определено как:

$$\Psi_{\delta_{e\Sigma}} = \sqrt{(\Psi_{\delta_{F_e}})^2 + (\Psi_{\delta_{R_{q_e}}})^2} = \sqrt{(\Psi_{\delta_{F_e}})^2 + 0^2} = \Psi_{\delta_{F_e}}, \quad (2.169)$$

Тогда результирующее потокосцепление в воздушном зазоре возбудителя, выраженное в относительных единицах определится как:

$$\Psi_{\delta_e}^* = \frac{\Psi_{\delta_{e\Sigma}}}{\Psi_{\delta_{b_e}}} = \frac{\Psi_{\delta_{e\Sigma}} \omega_{b_e}}{U_{b_e}}, \quad (2.170)$$

где $\Psi_{\delta_{b_e}} = \frac{U_{b_e}}{\omega_{b_e}}$ – базисное значение потокосцепления в воздушном зазоре возбудителя;

$\omega_{b_e} = 2\pi f_{n_e}$ – базисное значение угловой частоты; $f_{n_e} = 1000 \text{ Гц}$ – номинальная частота тока возбудителя; $U_{b_e} = U_{n_e} \sqrt{2}$ – базисное значение напряжения обмотки статора возбудителя; $U_{n_e} = 31 \text{ В}$ – номинальное фазное напряжение возбудителя.

Коэффициент учёта насыщения по продольной оси возбудителя $K_{\mu_{d_e}}$, может быть определён с помощью характеристики холостого хода и спрямлённой характеристики холостого хода возбудителя построенных в относительных единицах.

На рисунке 2.4 показаны характеристика холостого хода и спрямлённая характеристика холостого хода возбудителя построенные в относительных единицах.

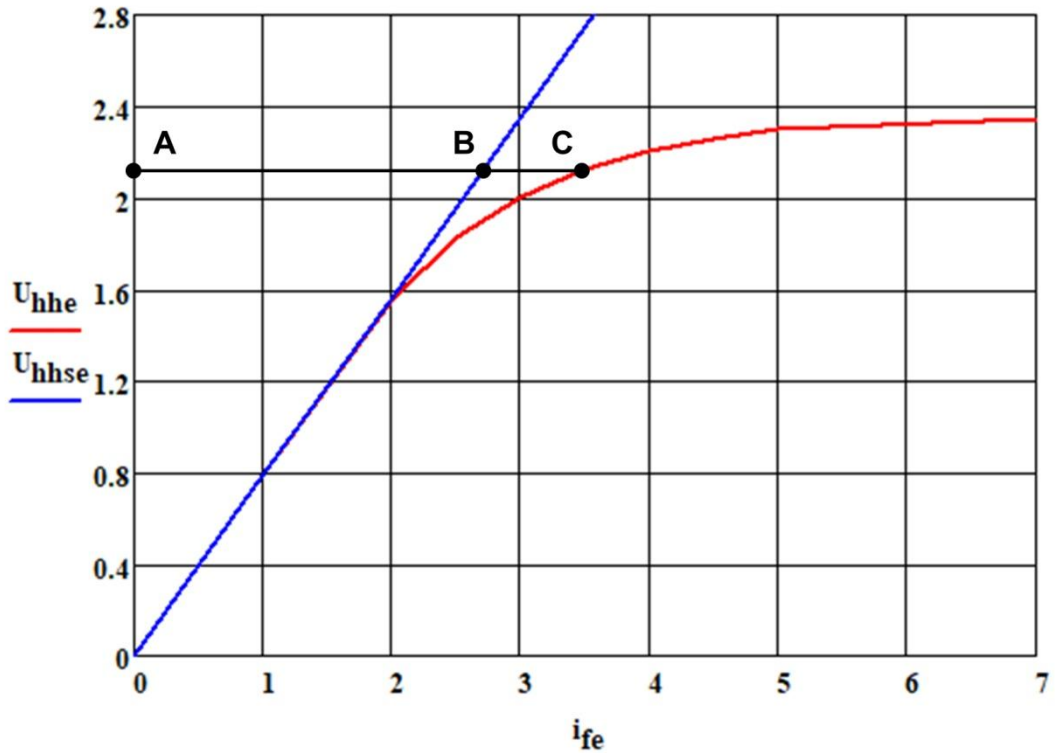


Рисунок 2.4. Характеристика холостого хода и спрямлённая характеристика холостого хода возбуждателя в относительных единицах

Откладывая по вертикальной оси относительное значение потокосцепления $\Psi_{\delta_e}^*$ можно определить значение коэффициента учёта насыщения по продольной оси $K_{\mu_{d_e}}$:

$$K_{\mu_{d_e}} = \frac{AC}{AB};$$

Таким образом, для каждого значения потокосцепления $\Psi_{\delta_e}^*$ можно получить соответствующее ему значение коэффициента $K_{\mu_{d_e}}$.

На рисунке 2.5 представлен график зависимости коэффициента учёта насыщения возбуждателя по продольной оси от результирующего потокосцепления в воздушном зазоре

$$K_{\mu_{d_e}} = f(\Psi_{\delta_e}^*).$$

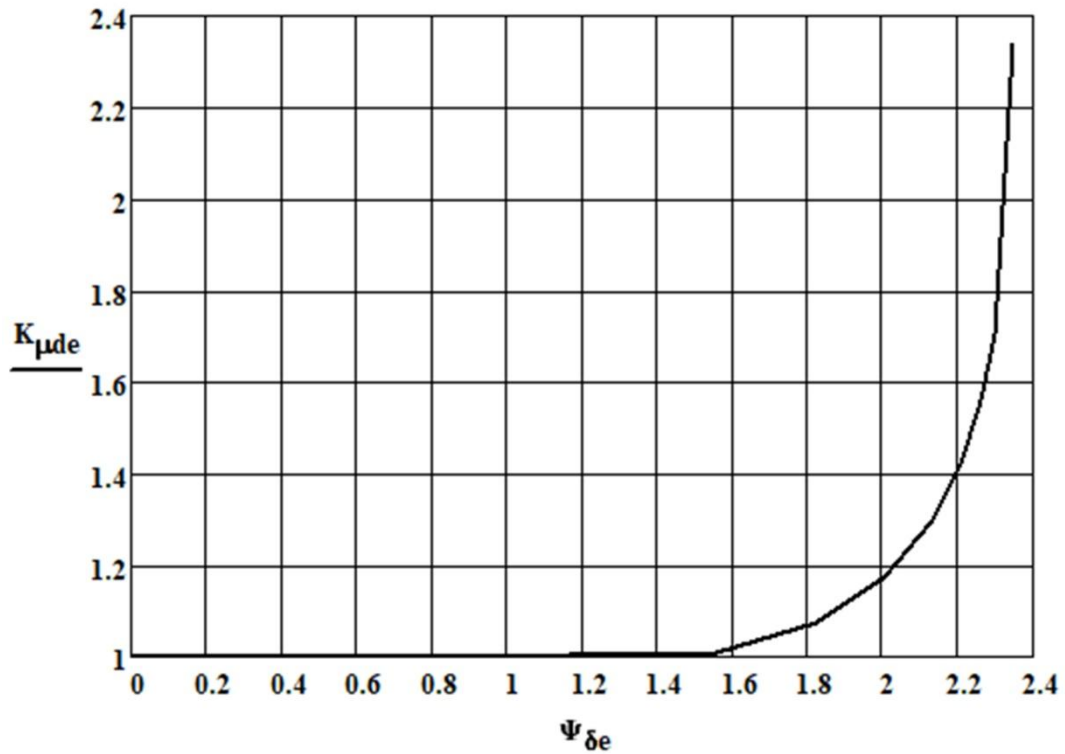


Рисунок 2.5. График зависимости коэффициента учитывающего насыщение по продольной оси от результирующего потокосцепления в воздушном зазоре $K_{\mu de} = f(\Psi_{\delta e}^*)$ возбuditеля

По определённом значению коэффициента учёта насыщения возбuditеля по продольной оси $K_{\mu de}$ далее можно определить коэффициент учёта насыщения возбuditеля по поперечной оси $K_{\mu qe}$:

$$K_{\mu qe} = \frac{\omega_{b_e} L_{aqe}}{Z_{b_e} \cdot \left(1 + \frac{3}{4} \cdot (K_{\mu de} - 1) \cdot \frac{L_{aqe}}{L_{ade}} \right)}, \quad (2.171)$$

где $Z_{b_e} = \frac{U_{b_e}}{I_{b_e}}$ – базисное значение сопротивления обмотки статора возбuditеля;

$I_{b_e} = I_{n_e} \sqrt{2}$ – базисное значение тока обмотки статора возбuditеля; I_{n_e} – номинальный фазный ток возбuditеля.

По аналогии с получением математической модели электрической части основного генератора с учётом насыщения магнитной цепи, математическую модель электрической части возбuditеля с учётом насыщения магнитной цепи получаем на основе матричного уравнения (2.152), а также учитывая (2.166) и (2.167):

$$\begin{cases} [U_e] = \frac{d}{dt}[\Psi_e] + [R_e] \cdot [I_e] \\ [\Psi_e] = [L_{\sigma_e}] \cdot [I_e] + [\Psi_{\delta_e}] \\ [\Psi_{\delta_e}] = [L_{\mu\delta_e}] \cdot [I_e] \end{cases}, (2.172)$$

$$\text{где } [L_{\mu\delta_e}] = \begin{bmatrix} [L_{\mu\delta SS_e}] & [\hat{L}_{\mu SR_e}] \\ [\hat{L}_{\mu RS_e}] & [L_{\mu\delta RR_e}] \end{bmatrix}; [L_{\mu\delta SS_e}] = \begin{bmatrix} L_{\mu\delta A_e} & M_{\mu\delta AB_e} & M_{\mu\delta AC_e} \\ M_{\mu\delta BA_e} & L_{\mu\delta B_e} & M_{\mu\delta BC_e} \\ M_{\mu\delta CA_e} & M_{\mu\delta CB_e} & L_{\mu\delta C_e} \end{bmatrix} - \text{матрица}$$

индуктивностей и взаимных индуктивностей фаз обмотки статора возбудителя с учётом потокосцеплений в воздушном зазоре с учётом насыщения магнитной цепи; $L_{\mu\delta A_e}$ – индуктивность фазы «А» обмотки статора возбудителя с учётом потокосцепления в воздушном зазоре с учётом насыщения магнитной цепи;

$$L_{\mu\delta A_e} = \frac{L_{\mu ad_e} + L_{\mu aq_e}}{3} + \frac{(L_{\mu ad_e} - L_{\mu aq_e})}{3} \cos(2\gamma_e(t)), (2.173)$$

$L_{\mu\delta B_e}$ – индуктивность фазы «В» обмотки статора возбудителя с учётом потокосцепления в воздушном зазоре с учётом насыщения магнитной цепи;

$$L_{\mu\delta B_e} = \frac{L_{\mu ad_e} + L_{\mu aq_e}}{3} + \frac{(L_{\mu ad_e} - L_{\mu aq_e})}{3} \cos\left(2\gamma_e(t) + \frac{2\pi}{3}\right), (2.174)$$

$L_{\mu\delta C_e}$ – индуктивность фазы «С» обмотки статора возбудителя с учётом потокосцепления в воздушном зазоре с учётом насыщения магнитной цепи;

$$L_{\mu\delta C_e} = \frac{L_{\mu ad_e} + L_{\mu aq_e}}{3} + \frac{(L_{\mu ad_e} - L_{\mu aq_e})}{3} \cos\left(2\gamma_e(t) - \frac{2\pi}{3}\right), (2.175)$$

$M_{\mu\delta AB_e}$ – взаимная индуктивность между фазами «А» и «В» обмотки статора возбудителя с учётом потокосцепления в воздушном зазоре с учётом насыщения магнитной цепи;

$$M_{\mu\delta AB_e} = M_{\mu\delta BA_e} = -\frac{L_{\mu ad_e} + L_{\mu aq_e}}{6} + \frac{(L_{\mu ad_e} - L_{\mu aq_e})}{3} \cdot \cos\left(2\gamma_e(t) - \frac{2\pi}{3}\right), (2.176)$$

$M_{\mu\delta BC_e}$ – взаимная индуктивность между фазами «В» и «С» обмотки статора возбудителя с учётом потокосцепления в воздушном зазоре с учётом насыщения магнитной цепи;

$$M_{\mu\delta BC_e} = M_{\mu\delta CB_e} = -\frac{L_{\mu ad_e} + L_{\mu aq_e}}{6} + \frac{(L_{\mu ad_e} - L_{\mu aq_e})}{3} \cdot \cos(2\gamma_e(t)), (2.177)$$

$M_{\mu\delta AC_e}$ – взаимная индуктивность между фазами «А» и «С» обмотки статора возбудителя с учётом потокосцепления в воздушном зазоре с учётом насыщения магнитной цепи;

$$M_{\mu\delta AC_e} = M_{\mu\delta CA_e} = -\frac{L_{\mu ad_e} + L_{\mu aq_e}}{6} + \frac{(L_{\mu ad_e} - L_{\mu aq_e})}{3} \cdot \cos\left(2\gamma_e(t) + \frac{2\pi}{3}\right), (2.178)$$

$$\left[\hat{L}_{\mu SR_e} \right] = \begin{bmatrix} \hat{M}_{\mu AF_e} & 0 & 0 \\ \hat{M}_{\mu BF_e} & 0 & 0 \\ \hat{M}_{\mu CF_e} & 0 & 0 \end{bmatrix} \text{ – матрица взаимных индуктивностей фаз обмотки статора и}$$

контуров ротора возбудителя с учётом насыщения магнитной цепи;

$\hat{M}_{\mu AF_e}$ – приведённая взаимная индуктивность между фазой «А» обмотки статора и обмоткой возбуждения возбудителя с учётом насыщения магнитной цепи;

$$\hat{M}_{\mu AF_e} = L_{\mu ad_e} \cos(\gamma_e(t)), (2.179)$$

$\hat{M}_{\mu BF_e}$ – приведённая взаимная индуктивность между фазой «В» обмотки статора и обмоткой возбуждения возбудителя с учётом насыщения магнитной цепи;

$$\hat{M}_{\mu BF_e} = L_{\mu ad_e} \cos\left(\gamma_e(t) - \frac{2\pi}{3}\right), (2.180)$$

$\hat{M}_{\mu CF_e}$ – приведённая взаимная индуктивность между фазой «С» обмотки статора и обмоткой возбуждения возбудителя с учётом насыщения магнитной цепи;

$$\hat{M}_{\mu CF_e} = L_{\mu ad_e} \cos\left(\gamma_e(t) + \frac{2\pi}{3}\right), (2.181)$$

$$\left[\hat{L}_{\mu RS_e} \right] = \begin{bmatrix} \hat{M}_{\mu FA_e} & \hat{M}_{\mu FB_e} & \hat{M}_{\mu FC_e} \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \text{ – матрица приведённых взаимных индуктивностей}$$

между контурами ротора и фазами обмотки статора возбудителя с учётом насыщения магнитной цепи;

$\hat{M}_{\mu FA_e}$ – приведённая взаимная индуктивность между обмоткой возбуждения и фазой «А» обмотки статора возбудителя с учётом насыщения магнитной цепи;

$$\hat{M}_{\mu FA_e} = \frac{2}{3} L_{\mu ad_e} \cos(\gamma_e(t)), (2.182)$$

$\hat{M}_{\mu FB_e}$ – приведённая взаимная индуктивность между обмоткой возбуждения и фазой «В» обмотки статора возбудителя с учётом насыщения магнитной цепи;

$$\hat{M}_{\mu FB_e} = \frac{2}{3} L_{\mu ad_e} \cos\left(\gamma_e(t) - \frac{2\pi}{3}\right), \quad (2.183)$$

$\hat{M}_{\mu FC_e}$ – приведённая взаимная индуктивность между обмоткой возбуждения и фазой «С» обмотки статора возбудителя с учётом насыщения магнитной цепи;

$$\hat{M}_{\mu FC_e} = \frac{2}{3} L_{\mu ad_e} \cos\left(\gamma_e(t) + \frac{2\pi}{3}\right), \quad (2.184)$$

$$[L_{\mu\delta RR_e}] = \begin{bmatrix} L_{\mu ad_e} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad \text{– матрица приведённых индуктивностей и взаимных}$$

индуктивностей цепей ротора возбудителя с учётом потокоцеплений в воздушном зазоре с учётом насыщения магнитной цепи;

Математическая модель механической части возбудителя представлена общим уравнением динамики вращательного движения возбудителя:

$$J_e \frac{d\Omega_e}{dt} = M_{np_e} - M_{z_e}, \quad (2.185)$$

Где J_e – момент инерции возбудителя; Ω_e – угловая скорость вращения вала возбудителя; M_{np_e} – вращательный момент, развиваемый приводом на валу возбудителя;

M_{z_e} – электромагнитный момент возбудителя;

$$M_{z_e} = \frac{P_{A_e} + P_{B_e} + P_{C_e}}{\Omega_e}, \quad (2.186)$$

P_{A_e} – активная мощность фазы «А» фидера возбудителя;

$$P_{A_e} = \frac{1}{T} \int_0^T p_{A_e}(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T U_{A_e} \cdot I_{A_e} dt, \quad (2.187)$$

P_{B_e} – активная мощность фазы «В» фидера возбудителя;

$$P_{B_e} = \frac{1}{T} \int_0^T p_{B_e}(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T U_{B_e} \cdot I_{B_e} dt, \quad (2.188)$$

P_{C_e} – активная мощность фазы «С» фидера возбудителя;

$$P_{C_e} = \frac{1}{T} \int_0^T p_{C_e}(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T U_{C_e} \cdot I_{C_e} dt. \quad (2.189)$$

2.1.3 Математическое моделирование подвозбудителя

Математическое моделирование подвозбудителя производилось на основе его электрической схемы замещения, представленной на рисунке 2.6.

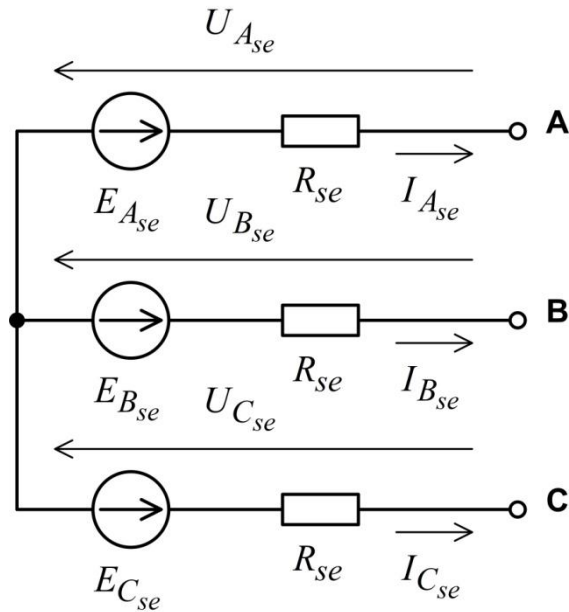


Рисунок 2.6. Схема замещения подвозбудителя

Математическая модель электрической части подвозбудителя описывается системой матричных уравнений:

$$\begin{bmatrix} U_{S_{se}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_{S_{se}} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} R_{S_{se}} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_{S_{se}} \end{bmatrix}, \quad (2.190)$$

где $\begin{bmatrix} U_{S_{se}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U_{A_{se}} \\ U_{B_{se}} \\ U_{C_{se}} \end{bmatrix}$ – вектор-столбец фазных напряжений подвозбудителя; $U_{A_{se}}$ –

напряжение фазы «А» подвозбудителя; $U_{B_{se}}$ – напряжение фазы «В» подвозбудителя; $U_{C_{se}}$ –

напряжение фазы «С» подвозбудителя; $\begin{bmatrix} E_{S_{se}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_{A_{se}} \\ E_{B_{se}} \\ E_{C_{se}} \end{bmatrix}$ – вектор-столбец фазных ЭДС

подвозбудителя; $E_{A_{se}}$ – ЭДС фазы «А» подвозбудителя;

$$E_{A_{se}} = E_{m_{se}} \sin(\gamma_{se}(t)), \quad (2.191)$$

где $E_{m_{se}} = K_{se}\Omega_{se}$ – амплитудное значение фазной ЭДС подвозбудителя; $K_{se} = const$ – коэффициент пропорциональности; Ω_{se} – угловая скорость вращения вала подвозбудителя; $\gamma_{se}(t)$ – электрический угол поворота ротора подвозбудителя;

$$\gamma_{se}(t) = \int_0^t \omega_{se}(\tau) d\tau, \quad (2.192)$$

$\omega_{se}(t)$ – мгновенная частота вращения ротора подвозбудителя.

$E_{B_{se}}$ – ЭДС фазы «В» подвозбудителя;

$$E_{B_{se}} = E_{m_{se}} \sin\left(\gamma_{se}(t) - \frac{2\pi}{3}\right), \quad (2.193)$$

$E_{C_{se}}$ – ЭДС фазы «С» подвозбудителя;

$$E_{C_{se}} = E_{m_{se}} \sin\left(\gamma_{se}(t) + \frac{2\pi}{3}\right), \quad (2.194)$$

$$[R_{S_{se}}] = \begin{bmatrix} R_{se} & 0 & 0 \\ 0 & R_{se} & 0 \\ 0 & 0 & R_{se} \end{bmatrix} \text{ – матрица активных сопротивлений фаз обмотки статора}$$

подвозбудителя; R_{se} – активное сопротивление фазы обмотки статора подвозбудителя;

$$[I_{S_{se}}] = \begin{bmatrix} I_{A_{se}} \\ I_{B_{se}} \\ I_{C_{se}} \end{bmatrix} \text{ – вектор-столбец фазных токов подвозбудителя; } I_{A_{se}} \text{ – ток фазы «А»}$$

подвозбудителя; $I_{B_{se}}$ – ток фазы «В» подвозбудителя; $I_{C_{se}}$ – ток фазы «С» подвозбудителя.

Математическая модель механической части подвозбудителя представлена общим уравнением динамики вращательного движения подвозбудителя:

$$J_{se} \frac{d\Omega_{se}}{dt} = M_{np_{se}} - M_{z_{se}}, \quad (2.195)$$

Где J_{se} – момент инерции подвозбудителя; Ω_{se} – угловая скорость вращения вала подвозбудителя; $M_{np_{se}}$ – вращательный момент, развиваемый приводом на валу подвозбудителя; $M_{z_{se}}$ – электромагнитный момент подвозбудителя;

$$M_{z_{se}} = \frac{P_{A_{se}} + P_{B_{se}} + P_{C_{se}}}{\Omega_{se}}, \quad (2.196)$$

$P_{A_{se}}$ – активная мощность фазы «А» фидера подвозбудителя;

$$P_{A_{se}} = \frac{1}{T} \int_0^T p_{A_{se}}(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T U_{A_{se}} \cdot I_{A_{se}} dt, \quad (2.197)$$

$P_{B_{se}}$ – активная мощность фазы «В» фидера подвозбудителя;

$$P_{B_{se}} = \frac{1}{T} \int_0^T p_{B_{se}}(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T U_{B_{se}} \cdot I_{B_{se}} dt, \quad (2.198)$$

$P_{C_{se}}$ – активная мощность фазы «С» фидера подвозбудителя;

$$P_{C_{se}} = \frac{1}{T} \int_0^T p_{C_{se}}(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T U_{C_{se}} \cdot I_{C_{se}} dt. \quad (2.199)$$

2.1.4 Математическое моделирование вращающегося выпрямителя

Математическое моделирование вращающегося выпрямителя генератора производилось на основе его электрической схемы замещения, представленной на рисунке 2.7.

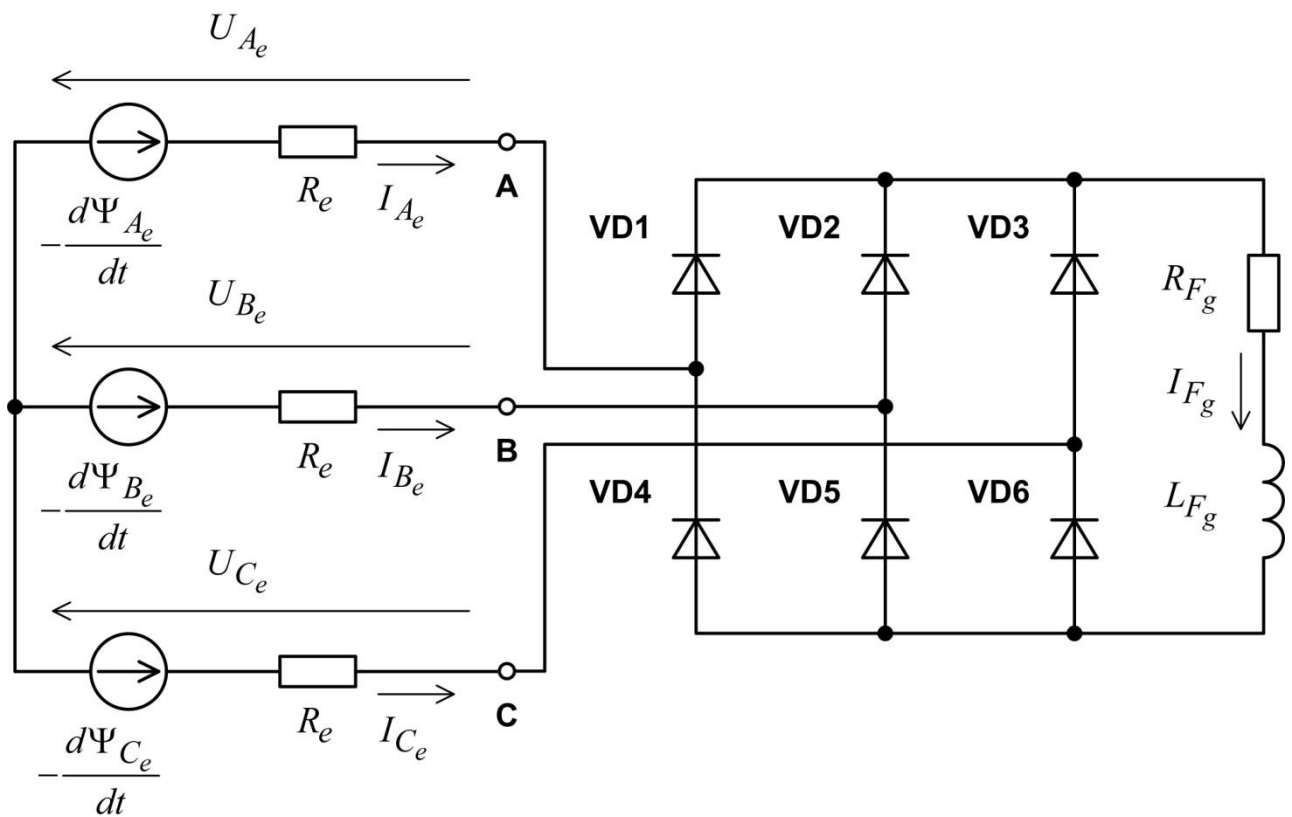


Рисунок 2.7. Схема замещения подключения вращающегося выпрямителя к выводам фаз обмотки статора возбудителя

Выходное напряжение вращающегося выпрямителя определяется логическим выражением:

$$U_R = \begin{cases} \left| U_{A_e} - U_{B_e} - 2U_d \right|, \text{ если } \left(\left| U_{A_e} - U_{B_e} - 2U_d \right| > \left| U_{B_e} - U_{C_e} - 2U_d \right| \right) \wedge \\ \wedge \left(\left| U_{A_e} - U_{B_e} - 2U_d \right| > \left| U_{C_e} - U_{A_e} - 2U_d \right| \right); \\ \left| U_{B_e} - U_{C_e} - 2U_d \right|, \text{ если } \left(\left| U_{B_e} - U_{C_e} - 2U_d \right| > \left| U_{A_e} - U_{B_e} - 2U_d \right| \right) \wedge \\ \wedge \left(\left| U_{B_e} - U_{C_e} - 2U_d \right| > \left| U_{C_e} - U_{A_e} - 2U_d \right| \right); \\ \left| U_{C_e} - U_{A_e} - 2U_d \right|, \text{ если } \left(\left| U_{C_e} - U_{A_e} - 2U_d \right| > \left| U_{A_e} - U_{B_e} - 2U_d \right| \right) \wedge \\ \wedge \left(\left| U_{C_e} - U_{A_e} - 2U_d \right| > \left| U_{B_e} - U_{C_e} - 2U_d \right| \right) \end{cases}, \quad (2.200)$$

где U_d – прямое падение напряжения на диоде вращающегося выпрямителя.

Нагрузкой вращающегося выпрямителя является обмотка возбуждения основного генератора, поэтому:

$$U_R = U_{F_g} = \frac{d\Psi_{F_g}}{dt} + R_{F_g} I_{F_g}, \quad (2.201)$$

Тогда с учётом (2.200) и (2.201) полная математическая модель вращающегося выпрямителя запишется в виде:

$$\left\{ \begin{array}{l} \left\{ \begin{array}{l} \left| U_{A_e} - U_{B_e} - 2U_d \right|, \text{ если } \left(\left| U_{A_e} - U_{B_e} - 2U_d \right| > \left| U_{B_e} - U_{C_e} - 2U_d \right| \right) \wedge \\ \wedge \left(\left| U_{A_e} - U_{B_e} - 2U_d \right| > \left| U_{C_e} - U_{A_e} - 2U_d \right| \right); \\ \left| U_{B_e} - U_{C_e} - 2U_d \right|, \text{ если } \left(\left| U_{B_e} - U_{C_e} - 2U_d \right| > \left| U_{A_e} - U_{B_e} - 2U_d \right| \right) \wedge \\ \wedge \left(\left| U_{B_e} - U_{C_e} - 2U_d \right| > \left| U_{C_e} - U_{A_e} - 2U_d \right| \right); \\ \left| U_{C_e} - U_{A_e} - 2U_d \right|, \text{ если } \left(\left| U_{C_e} - U_{A_e} - 2U_d \right| > \left| U_{A_e} - U_{B_e} - 2U_d \right| \right) \wedge \\ \wedge \left(\left| U_{C_e} - U_{A_e} - 2U_d \right| > \left| U_{B_e} - U_{C_e} - 2U_d \right| \right) \end{array} \right. \\ U_R = U_{F_g} \end{array} \right. \quad (2.202)$$

2.2 Математическое моделирование регулятора напряжения

При получении математической модели регулятора напряжения использовались результаты, полученные в работах [43 – 51].

Математическое моделирование регулятора напряжения производилось на основе его структурной модели, представленной на рисунке 2.8.

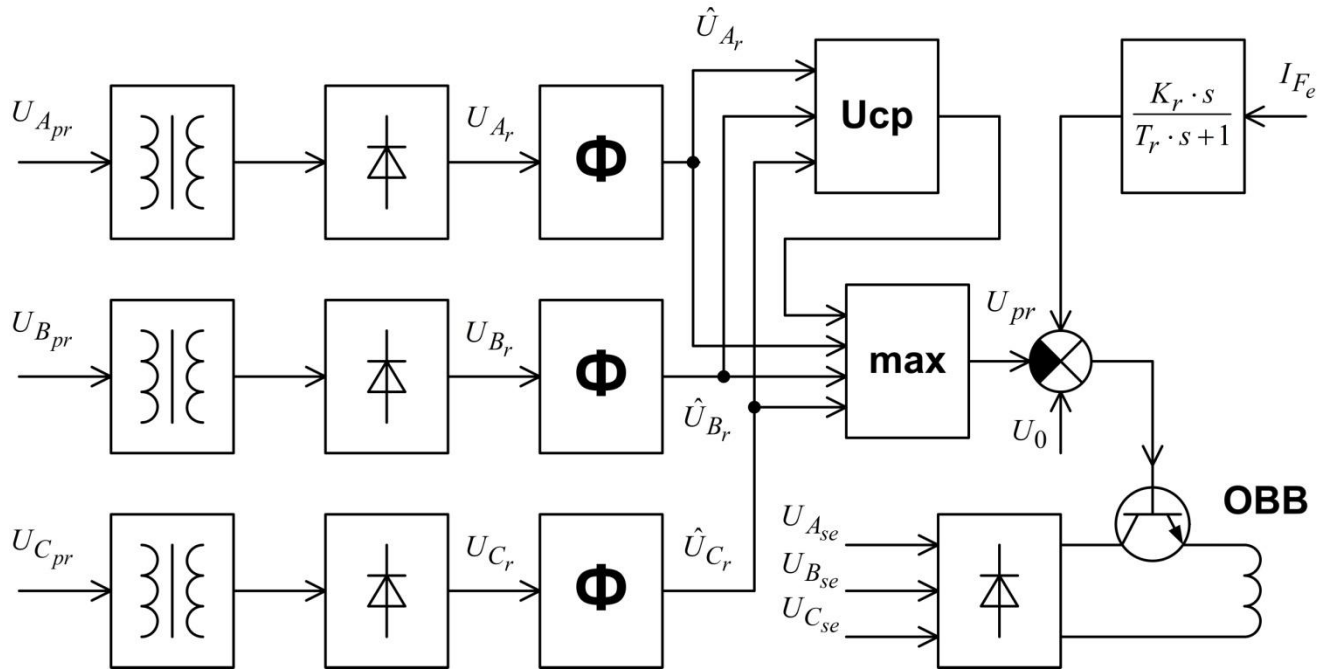


Рисунок 2.8. Структурная модель регулятора напряжения

Математическая модель регулятора напряжения описывается уравнением, учитывающим наличие в реальных регуляторах цепи параллельной коррекции, образованной путем охвата усилителя регулятора гибкой обратной связью по току возбуждения возбудителя:

$$\left\{ \begin{array}{l}
 U_{F_e} = \begin{cases}
 |U_{A_{se}} - U_{B_{se}} - 2U_d|, \text{ если } (|U_{A_{se}} - U_{B_{se}} - 2U_d| > |U_{B_{se}} - U_{C_{se}} - 2U_d|) \wedge \\
 \wedge (|U_{A_{se}} - U_{B_{se}} - 2U_d| > |U_{C_{se}} - U_{A_{se}} - 2U_d|) \wedge (\Delta U < 0); \\
 |U_{B_{se}} - U_{C_{se}} - 2U_d|, \text{ если } (|U_{B_{se}} - U_{C_{se}} - 2U_d| > |U_{A_{se}} - U_{B_{se}} - 2U_d|) \wedge \\
 \wedge (|U_{B_{se}} - U_{C_{se}} - 2U_d| > |U_{C_{se}} - U_{A_{se}} - 2U_d|) \wedge (\Delta U < 0); \\
 |U_{C_{se}} - U_{A_{se}} - 2U_d|, \text{ если } (|U_{C_{se}} - U_{A_{se}} - 2U_d| > |U_{A_{se}} - U_{B_{se}} - 2U_d|) \wedge \\
 \wedge (|U_{C_{se}} - U_{A_{se}} - 2U_d| > |U_{B_{se}} - U_{C_{se}} - 2U_d|) \wedge (\Delta U < 0); \\
 0, \text{ если } \Delta U > 0
 \end{cases}, \quad (2.203) \\
 U_{F_e} = \frac{d\Psi_{F_e}}{dt} + R_{F_e} I_{F_e}
 \end{array} \right.$$

где $\Delta U = \Delta U(t) = L^{-1}\{\Delta U(s)\}$ – приращение напряжения генератора; $\Delta U(s)$ – приращение напряжения генератора, выраженное в преобразовании Лапласа;

$$\Delta U(s) = U_{pr}(s) - I_{F_e}(s) \cdot \frac{K_r \cdot s}{T_r \cdot s + 1} - U_0(s); \quad U_{pr}(s) \text{ – напряжение на выходе схемы}$$

выделения наибольшего напряжения, выраженное в преобразовании Лапласа;

$$U_{pr}(s) = L\{U_{pr}(t)\} = \int_0^{\infty} U_{pr}(t) \cdot e^{-st} dt; \quad U_{pr} = U_{pr}(t) \text{ – напряжение на выходе схемы}$$

выделения наибольшего напряжения;

$$U_{pr} = \begin{cases} \hat{U}_{A_r}, \text{ если } (\hat{U}_{A_r} > \hat{U}_{B_r}) \wedge (\hat{U}_{A_r} > \hat{U}_{C_r}) \wedge (\hat{U}_{A_r} > \hat{U}_{rav}), \\ \hat{U}_{B_r}, \text{ если } (\hat{U}_{B_r} > \hat{U}_{A_r}) \wedge (\hat{U}_{B_r} > \hat{U}_{C_r}) \wedge (\hat{U}_{B_r} > \hat{U}_{rav}), \\ \hat{U}_{C_r}, \text{ если } (\hat{U}_{C_r} > \hat{U}_{A_r}) \wedge (\hat{U}_{C_r} > \hat{U}_{B_r}) \wedge (\hat{U}_{C_r} > \hat{U}_{rav}), \\ \hat{U}_{rav}, \text{ если } (\hat{U}_{rav} > \hat{U}_{A_r}) \wedge (\hat{U}_{rav} > \hat{U}_{B_r}) \wedge (\hat{U}_{rav} > \hat{U}_{C_r}) \end{cases}, \quad (2.204)$$

$\hat{U}_{A_r} = \hat{U}_{A_r}(t) = L^{-1}\{\hat{U}_{A_r}(s)\}$ – измеренное напряжение фазы «А» на выходе фильтра;

$\hat{U}_{A_r}(s)$ – измеренное напряжение фазы «А» на выходе фильтра, выраженное в преобразовании Лапласа; $\hat{U}_{A_r}(s) = W(s) \cdot U_{A_r}(s)$; $W(s)$ – передаточная функция фильтра;

$U_{A_r}(s)$ – измеренное напряжение фазы «А» на входе фильтра, выраженное в преобразовании

Лапласа; $U_{A_r}(s) = L\{U_{A_r}(t)\} = \int_0^{\infty} U_{A_r}(t) \cdot e^{-st} dt$; $U_{A_r} = \left| \frac{1}{K} U_{A_{pr}} - U_d \right|$ – измеренное

напряжение фазы «А» на входе фильтра; K – коэффициент трансформации трансформатора;

$U_{A_{pr}}$ – напряжение фазы «А» генератора в точке регулирования; $\hat{U}_{B_r} = \hat{U}_{B_r}(t) = L^{-1}\{\hat{U}_{B_r}(s)\}$

– измеренное напряжение фазы «В» на выходе фильтра; $\hat{U}_{B_r}(s)$ – измеренное напряжение

фазы «В» на выходе фильтра, выраженное в преобразовании Лапласа; $\hat{U}_{B_r}(s) = W(s) \cdot U_{B_r}(s)$;

$U_{B_r}(s)$ – измеренное напряжение фазы «В» на входе фильтра, выраженное в преобразовании

Лапласа; $U_{B_r}(s) = L\{U_{B_r}(t)\} = \int_0^{\infty} U_{B_r}(t) \cdot e^{-st} dt$; $U_{B_r} = \left| \frac{1}{K} U_{B_{pr}} - U_d \right|$ – измеренное

напряжение фазы «В» на входе фильтра; $U_{B_{pr}}$ – напряжение фазы «В» генератора в точке

регулирования; $\hat{U}_{C_r} = \hat{U}_{C_r}(t) = L^{-1}\{\hat{U}_{C_r}(s)\}$ – измеренное напряжение фазы «С» на выходе

фильтра; $\hat{U}_{C_r}(s)$ – измеренное напряжение фазы «С» на выходе фильтра, выраженное в

преобразовании Лапласа; $\hat{U}_{C_r}(s) = W(s) \cdot U_{C_r}(s)$; $U_{C_r}(s)$ – измеренное напряжение фазы «С»

на входе фильтра, выраженное в преобразовании Лапласа;

$U_{C_r}(s) = L\{U_{C_r}(t)\} = \int_0^{\infty} U_{C_r}(t) \cdot e^{-st} dt$; $U_{C_r} = \left| \frac{1}{K} U_{C_{pr}} - U_d \right|$ – измеренное

напряжение фазы «С» на входе фильтра; $U_{C_{pr}}$ – напряжение фазы «С» генератора в точке

регулирования; $U_{rav} = \frac{\hat{U}_{A_r} + \hat{U}_{B_r} + \hat{U}_{C_r}}{3}$ – среднее напряжение трёх фаз на выходе фильтров;

$I_{F_e}(s)$ – ток возбуждения возбудителя, выраженный в преобразовании Лапласа;

$I_{F_e}(s) = L\{I_{F_e}\} = L\{I_{F_e}(t)\} = \int_0^{\infty} I_{F_e}(t) \cdot e^{-st} dt$; $U_0(s)$ – значение «уставки» регулятора

напряжения, выраженное в преобразовании Лапласа;

$U_0(s) = L\{U_0\} = L\{U_0(t)\} = \int_0^{\infty} U_0(t) \cdot e^{-st} dt = \frac{U_0}{s}$; $U_0 = const$ – значение «уставки»

регулятора напряжения.

2.3 Математическое моделирование привода постоянной частоты вращения

Модель привода постоянной частоты вращения (ППЧВ), как показано в [74, 84, 98] имеет в своём составе общее уравнение динамики системы «привод-генератор», уравнение грубого канала регулирования и уравнение точного канала регулирования.

Общее уравнение динамики системы «привод-генератор»:

$$J \frac{d\Omega}{dt} = M_{np} - M_z, \quad (2.205)$$

Где J – момент инерции всех вращающихся частей генератора; Ω – угловая скорость вращения выходного вала ППЧВ; будем полагать, что: $\Omega = \Omega_g = \Omega_e = \Omega_{se}$;

M_{np} – вращательный момент, развиваемый приводом; M_z – электромагнитный момент генератора; будем полагать, что:

$$M_z = M_{zg} + M_{ze} + M_{zse}, \quad (2.206)$$

Дифференциальное уравнение грубого канала регулирования (регулятор частоты):

$$T_{\Delta\gamma} \frac{d\Delta\gamma}{dt} + \Delta\gamma = -k_{\Delta\Omega} \Delta\Omega - k_{\Delta I} \Delta I, \quad (2.207)$$

Где $T_{\Delta\gamma}$ – постоянная времени грубого канала регулирования; $\Delta\gamma$ – приращение управляющего воздействия привода; $k_{\Delta\Omega}$ – коэффициент усиления грубого канала; $\Delta\Omega$ – приращение угловой скорости вращения выходного вала ППЧВ; $k_{\Delta I}$ – коэффициент передачи

сигнала от корректора частоты; ΔI – приращение управляющего воздействия корректора частоты.

Дифференциальное уравнение точного канала регулирования (корректор частоты):

$$T_{\Delta I} \frac{d\Delta I}{dt} = k_{f\Omega} \Delta \Omega, \quad (2.208)$$

где $T_{\Delta I}$ – постоянная времени точного канала регулирования; $k_{f\Omega}$ – коэффициент учитывающий влияние точного канала регулирования на грубый канал.

2.4 Математическое моделирование статической нагрузки

2.4.1 Математическое моделирование линейной трёхфазной статической нагрузки

При математическом моделировании линейной трёхфазной статической нагрузки, использовалась математическая модель линейной трёхфазной статической активно-индуктивной нагрузки:

$$\begin{bmatrix} U_{n_1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_{n_1} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_{n_1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L_{n_1} \end{bmatrix} \cdot \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} I_{n_1} \end{bmatrix}, \quad (2.209)$$

где $\begin{bmatrix} U_{n_1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U_{A_{n_1}} \\ U_{B_{n_1}} \\ U_{C_{n_1}} \end{bmatrix}$ – вектор-столбец фазных напряжений линейной трёхфазной

статической нагрузки; $U_{A_{n_1}}$ – напряжение фазы «А» линейной трёхфазной статической нагрузки; $U_{B_{n_1}}$ – напряжение фазы «В» линейной трёхфазной статической нагрузки; $U_{C_{n_1}}$ – напряжение фазы «С» линейной трёхфазной статической нагрузки;

$\begin{bmatrix} R_{n_1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_{A_{n_1}} & 0 & 0 \\ 0 & R_{B_{n_1}} & 0 \\ 0 & 0 & R_{C_{n_1}} \end{bmatrix}$ – матрица активных сопротивлений фаз линейной

трёхфазной статической нагрузки; $R_{A_{n_1}}$ – активное сопротивление фазы «А» линейной трёхфазной статической нагрузки; $R_{B_{n_1}}$ – активное сопротивление фазы «В» линейной

трёхфазной статической нагрузки; $R_{C_{n1}}$ – активное сопротивление фазы «С» линейной

трёхфазной статической нагрузки; $[I_{n1}] = \begin{bmatrix} I_{A_{n1}} \\ I_{B_{n1}} \\ I_{C_{n1}} \end{bmatrix}$ – вектор-столбец фазных токов линейной

трёхфазной статической нагрузки; $I_{A_{n1}}$ – ток фазы «А» линейной трёхфазной статической нагрузки; $I_{B_{n1}}$ – ток фазы «В» линейной трёхфазной статической нагрузки; $I_{C_{n1}}$ – ток фазы

«С» линейной трёхфазной статической нагрузки; $[L_{n1}] = \begin{bmatrix} L_{A_{n1}} & 0 & 0 \\ 0 & L_{B_{n1}} & 0 \\ 0 & 0 & L_{C_{n1}} \end{bmatrix}$ – матрица

индуктивностей фаз линейной трёхфазной статической нагрузки; $L_{A_{n1}}$ – индуктивность фазы «А» линейной трёхфазной статической нагрузки; $L_{B_{n1}}$ – индуктивность фазы «В» линейной трёхфазной статической нагрузки; $L_{C_{n1}}$ – индуктивность фазы «С» линейной трёхфазной статической нагрузки.

2.4.2 Математическое моделирование линейной однофазной статической нагрузки

При математическом моделировании линейной однофазной статической нагрузки, использовалась математическая модель линейной однофазной статической активно-индуктивной нагрузки:

$$U_{A_{n3}} = R_{A_{n3}} I_{A_{n3}} + L_{A_{n3}} \frac{dI_{A_{n3}}}{dt}, \quad (2.210)$$

где $U_{A_{n3}}$ – напряжение фазы линейной однофазной статической нагрузки; $R_{A_{n3}}$ – активное сопротивление линейной однофазной статической нагрузки; $I_{A_{n3}}$ – ток линейной однофазной статической нагрузки; $L_{A_{n3}}$ – индуктивность линейной однофазной статической нагрузки.

2.4.3 Математическое моделирование нелинейной трёхфазной статической нагрузки

При математическом моделировании нелинейной трёхфазной статической нагрузки, использовалась математическая модель трансформаторно-выпрямительного устройства. На рисунке 2.9 показана электрическая схема замещения нелинейной трёхфазной статической нагрузки.

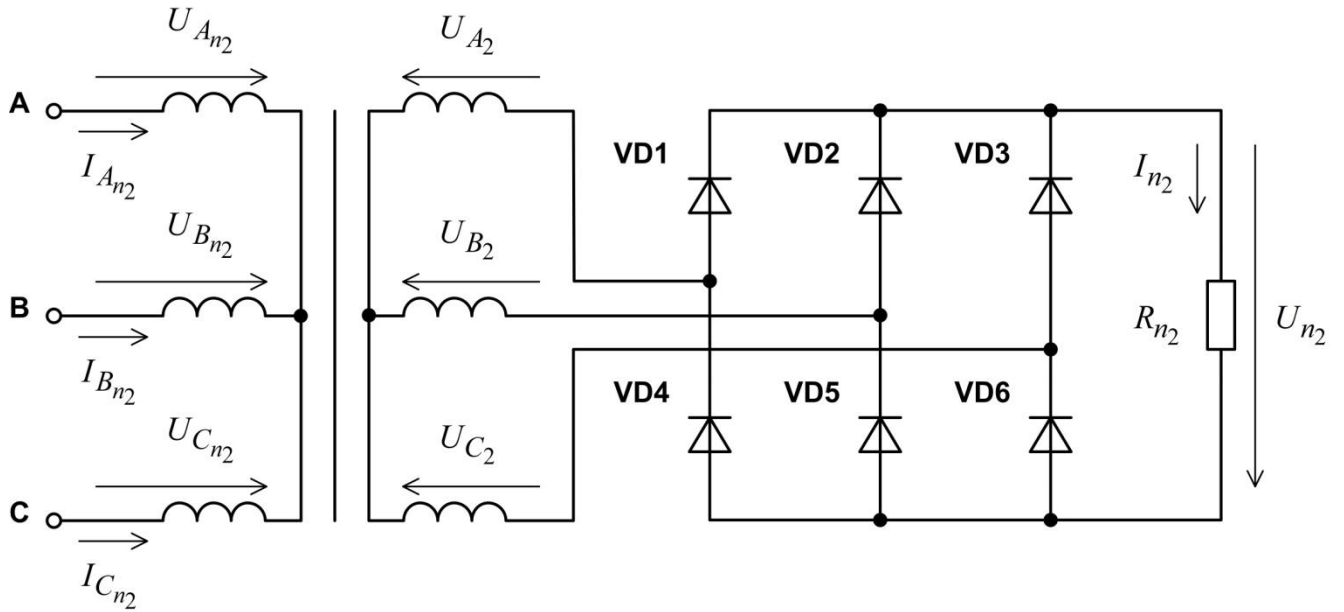


Рисунок 2.9. Схема замещения нелинейной трёхфазной статической нагрузки

Математическая модель нелинейной трёхфазной статической нагрузки описывается уравнением:

$$U_{n2} = \begin{cases} |U_{A_2} - U_{B_2} - 2U_d|, \text{ если } (|U_{A_2} - U_{B_2} - 2U_d| > |U_{B_2} - U_{C_2} - 2U_d|) \wedge \\ \wedge (|U_{A_2} - U_{B_2} - 2U_d| > |U_{C_2} - U_{A_2} - 2U_d|); \\ |U_{B_2} - U_{C_2} - 2U_d|, \text{ если } (|U_{B_2} - U_{C_2} - 2U_d| > |U_{A_2} - U_{B_2} - 2U_d|) \wedge \\ \wedge (|U_{B_2} - U_{C_2} - 2U_d| > |U_{C_2} - U_{A_2} - 2U_d|); \\ |U_{C_2} - U_{A_2} - 2U_d|, \text{ если } (|U_{C_2} - U_{A_2} - 2U_d| > |U_{A_2} - U_{B_2} - 2U_d|) \wedge \\ \wedge (|U_{C_2} - U_{A_2} - 2U_d| > |U_{B_2} - U_{C_2} - 2U_d|); \end{cases} \quad (2.211)$$

где U_{n2} – выходное напряжение трансформаторно-выпрямительного устройства;

$$U_{n2} = I_{n2} R_{n2}, \quad (2.212)$$

I_{n2} – ток нагрузки трансформаторно-выпрямительного устройства;

R_{n2} – активное сопротивление нагрузки трансформаторно-выпрямительного устройства;

U_{A2} – напряжение фазы «А» вторичной обмотки трансформаторно-выпрямительного устройства;

$$U_{A2} = \frac{U_{An2}}{K_r}, \quad (2.213)$$

U_{An2} – напряжение фазы «А» первичной обмотки трансформаторно-выпрямительного устройства; K_r – коэффициент трансформации трансформатора; U_{B2} – напряжение фазы «В» вторичной обмотки трансформаторно-выпрямительного устройства;

$$U_{B2} = \frac{U_{Bn2}}{K_r}, \quad (2.214)$$

U_{Bn2} – напряжение фазы «В» первичной обмотки трансформаторно-выпрямительного устройства; U_{C2} – напряжение фазы «С» вторичной обмотки трансформаторно-выпрямительного устройства;

$$U_{C2} = \frac{U_{Cn2}}{K_r}, \quad (2.215)$$

U_{Cn2} – напряжение фазы «С» первичной обмотки трансформаторно-выпрямительного устройства.

2.5 Математическое моделирование контакторов трёхфазных и однофазной нагрузок

Математическая модель контактора трёхфазной нагрузки №1 (рисунок 2.1) может быть описана уравнением:

$$\left[\Delta U_{k1} \right] = \begin{cases} \left[R_{k1\infty} \right] \cdot \left[I_{n1} \right], & \text{при разомкнутом положении контактов} \\ \left[R_{k10} \right] \cdot \left[I_{n1} \right], & \text{при замкнутом положении контактов} \end{cases}, \quad (2.216)$$

где $[\Delta U_{k_1}] = \begin{bmatrix} \Delta U_{k_{A_1}} \\ \Delta U_{k_{B_1}} \\ \Delta U_{k_{C_1}} \end{bmatrix}$ – вектор-столбец падений напряжений на контактах контактора

трёхфазной нагрузки №1; $\Delta U_{k_{A_1}}$ – падение напряжения на контактах фазы «А» контактора

трёхфазной нагрузки №1; $\Delta U_{k_{B_1}}$ – падение напряжения на контактах фазы «В» контактора

трёхфазной нагрузки №1; $\Delta U_{k_{C_1}}$ – падение напряжения на контактах фазы «С» контактора

трёхфазной нагрузки №1;

$[R_{k_\infty}] = \begin{bmatrix} R_{k_{A_\infty}} & 0 & 0 \\ 0 & R_{k_{B_\infty}} & 0 \\ 0 & 0 & R_{k_{C_\infty}} \end{bmatrix}$ – матрица сопротивлений контактов контактора

трёхфазной нагрузки №1 в разомкнутом состоянии; $R_{k_{A_\infty}}$ – сопротивление контактов фазы «А»

контактора трёхфазной нагрузки №1 в разомкнутом состоянии; $R_{k_{B_\infty}}$ – сопротивление

контактов фазы «В» контактора трёхфазной нагрузки №1 в разомкнутом состоянии; $R_{k_{C_\infty}}$ –

сопротивление контактов фазы «С» контактора трёхфазной нагрузки №1 в разомкнутом

состоянии; $R_{k_{A_\infty}} \rightarrow \infty$; $R_{k_{B_\infty}} \rightarrow \infty$; $R_{k_{C_\infty}} \rightarrow \infty$; $[R_{k_0}] = \begin{bmatrix} R_{k_{A_0}} & 0 & 0 \\ 0 & R_{k_{B_0}} & 0 \\ 0 & 0 & R_{k_{C_0}} \end{bmatrix}$ – матрица

сопротивлений контактов контактора №1 трёхфазной нагрузки в замкнутом состоянии; $R_{k_{A_0}}$ –

сопротивление контактов фазы «А» контактора трёхфазной нагрузки №1 в замкнутом

состоянии; $R_{k_{B_0}}$ – сопротивление контактов фазы «В» контактора трёхфазной нагрузки №1 в

замкнутом состоянии; $R_{k_{C_0}}$ – сопротивление контактов фазы «С» контактора трёхфазной

нагрузки №1 в замкнутом состоянии; $R_{k_{A_0}} \rightarrow 0$; $R_{k_{B_0}} \rightarrow 0$; $R_{k_{C_0}} \rightarrow 0$.

Математическая модель контактора трёхфазной нагрузки №2 (рисунок 2.1) аналогична, полученной ранее математической модели контактора трёхфазной нагрузки №1 (2.216).

Математическая модель контактора однофазной нагрузки (рисунок 2.1) может быть описана уравнением:

$$\Delta U_{k3} = \begin{cases} R_{k3\infty} I_{n3}, & \text{при разомкнутом положении контактов} \\ R_{k30} I_{n3}, & \text{при замкнутом положении контактов} \end{cases}, \quad (2.217)$$

где ΔU_{k3} – падение напряжения на контактах однофазного контактора;

$R_{k3\infty}$ – сопротивление контактов однофазного контактора в разомкнутом состоянии;

$R_{k3\infty} \rightarrow \infty$; R_{k30} – сопротивление контактов однофазного контактора в замкнутом состоянии;

$R_{k30} \rightarrow 0$.

2.6 Выводы по главе 2

1. Разработана математическая модель бортового генератора переменного тока (авиационного синхронного генератора серии ГТ). В составе общей математической модели авиационного синхронного генератора разработаны математические модели основного генератора, возбuditеля, подвозбудителя и вращающегося выпрямителя. Математические модели основного генератора и возбuditеля получены в фазной системе координат с учётом насыщения магнитной цепи основного генератора и возбuditеля, что позволяет описывать процессы как при симметричных, так и при несимметричных режимах.

2. Разработана математическая модель регулятора напряжения.

3. Рассмотрена математическая модель привода постоянной частоты вращения.

4. Рассмотрены математические модели линейной и нелинейной трёхфазных статических нагрузок, а также математическая модель линейной однофазной статической нагрузки.

5. Рассмотрены математические модели контакторов трёхфазных и однофазной нагрузок.

6. На основе разработанных математических моделей агрегатов канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты далее необходимо реализовать их имитационные модели для имитационного моделирования технических состояний канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты. Данная задача будет решена в следующей главе работы.

3 Имитационная модель канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты

3.1 Имитационные модели агрегатов канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты

На рисунке 3.1 представлена имитационная модель канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты, реализованная в среде имитационного моделирования Simulink пакета прикладных программ MATLAB.

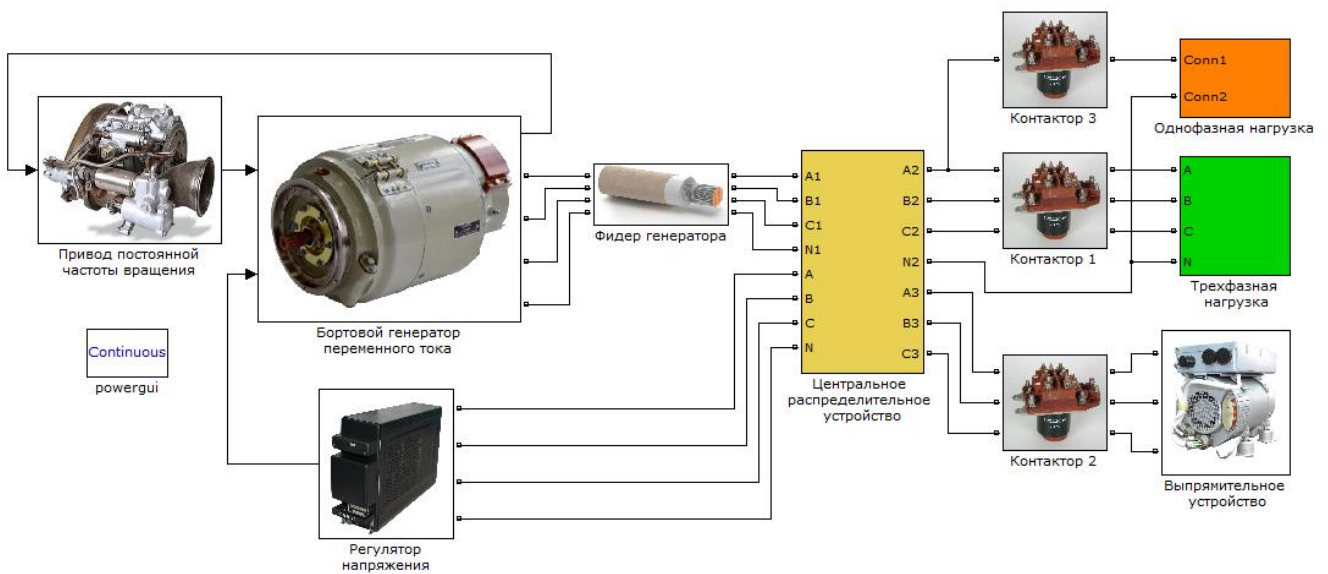


Рисунок 3.1. Имитационная модель канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты

Имитационная модель канала бортовой СЭС ВС переменного тока содержит модели бортового генератора переменного тока (авиационный синхронный генератор серии ГТ), регулятора напряжения, привода постоянной частоты вращения, фидера генератора, центрального распределительного устройства (ЦРУ), контакторов трёхфазных и однофазной нагрузок, линейной и нелинейной (выпрямительное устройство) трёхфазных статических нагрузок и линейной однофазной статической нагрузки.

На рисунке 3.2 показана имитационная модель бортового генератора переменного тока (авиационный синхронный генератор серии ГТ).

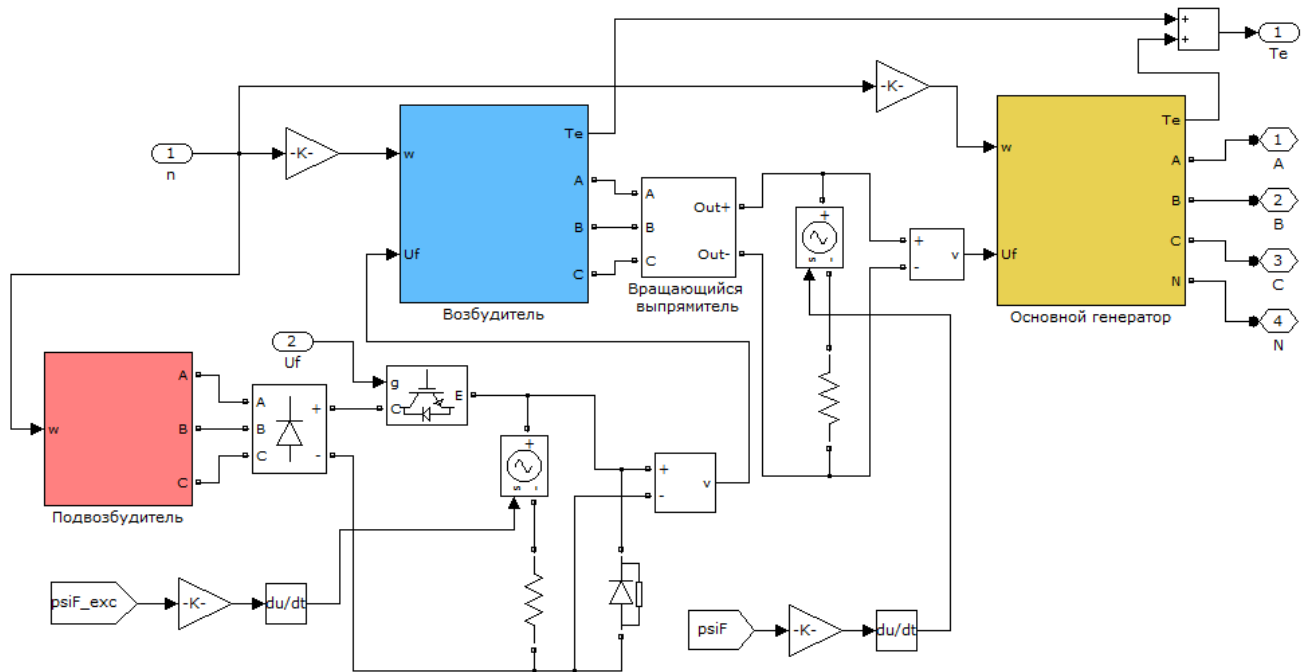


Рисунок 3.2. Имитационная модель авиационного синхронного генератора серии ГТ

Имитационная модель авиационного синхронного генератора серии ГТ содержит имитационные модели основного генератора, вращающегося выпрямителя, возбудителя и подвозбудителя.

Имитационная модель основного генератора реализует математическую модель основного генератора (2.120), (2.146).

На рисунке 3.3 показана имитационная модель основного генератора.

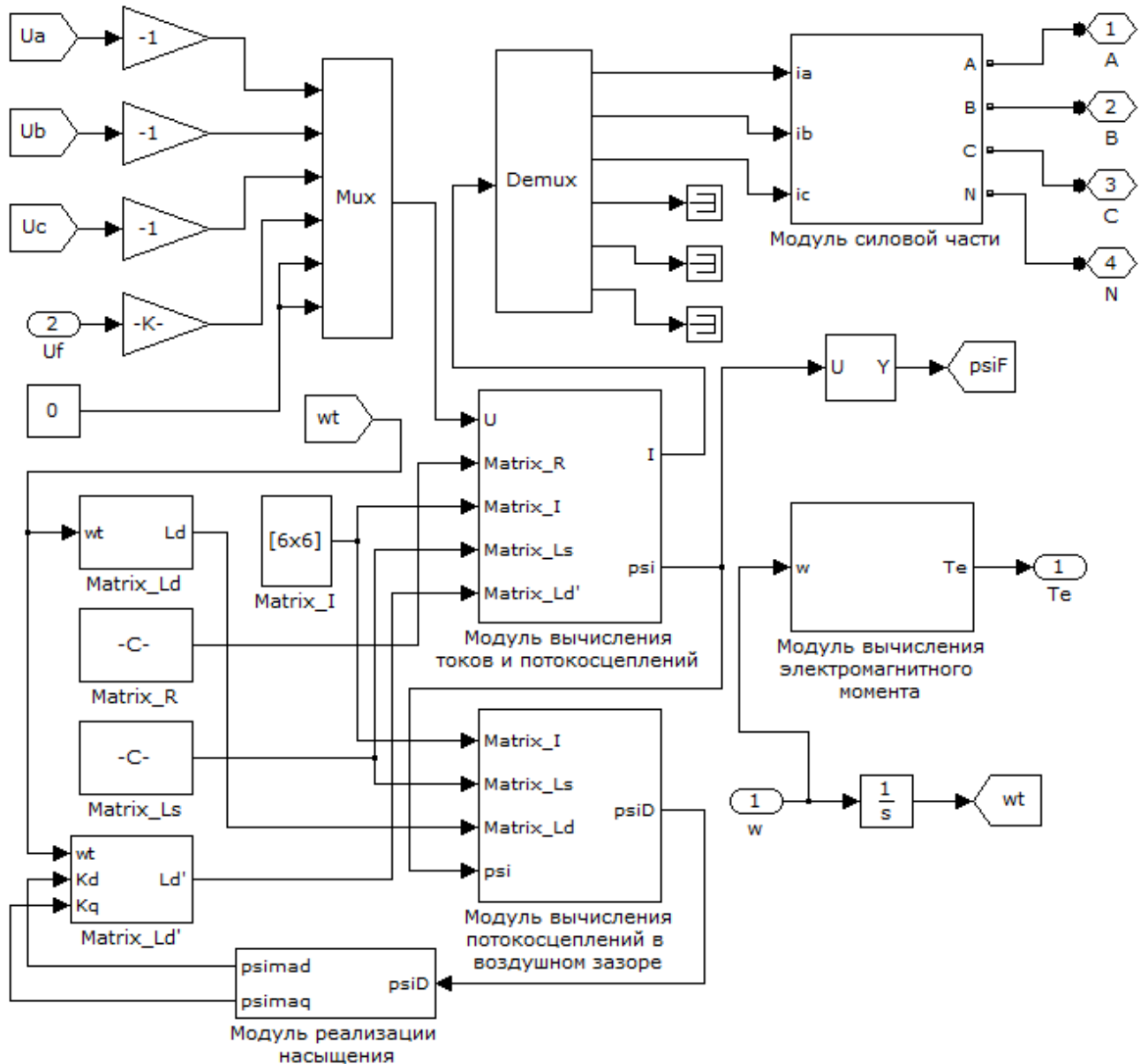


Рисунок 3.3. Имитационная модель основного генератора

Имитационная модель основного генератора содержит подсистемы: «Matrix_Ld», «Matrix_R», «Matrix_Ls», «Matrix_Ld'», «Matrix_I», «Модуль реализации насыщения», «Модуль вычисления потокосцеплений и токов», «Модуль вычисления потокосцеплений в воздушном зазоре», «Модуль силовой части», «Модуль вычисления электромагнитного момента».

Подсистема «Matrix_I» имитационной модели основного генератора формирует единичную матрицу $[E_{6 \times 6}]$.

Подсистема «Matrix_R» имитационной модели основного генератора формирует матрицу $[R_g]$.

Подсистема «Matrix_Ls» имитационной модели основного генератора формирует матрицу $[L_{\sigma_g}]$.

Подсистема «Matrix_Ld» имитационной модели основного генератора формирует матрицу $[L_{\delta_g}]$.

На рисунке 3.4 показана подсистема «Matrix_Ld» имитационной модели основного генератора.

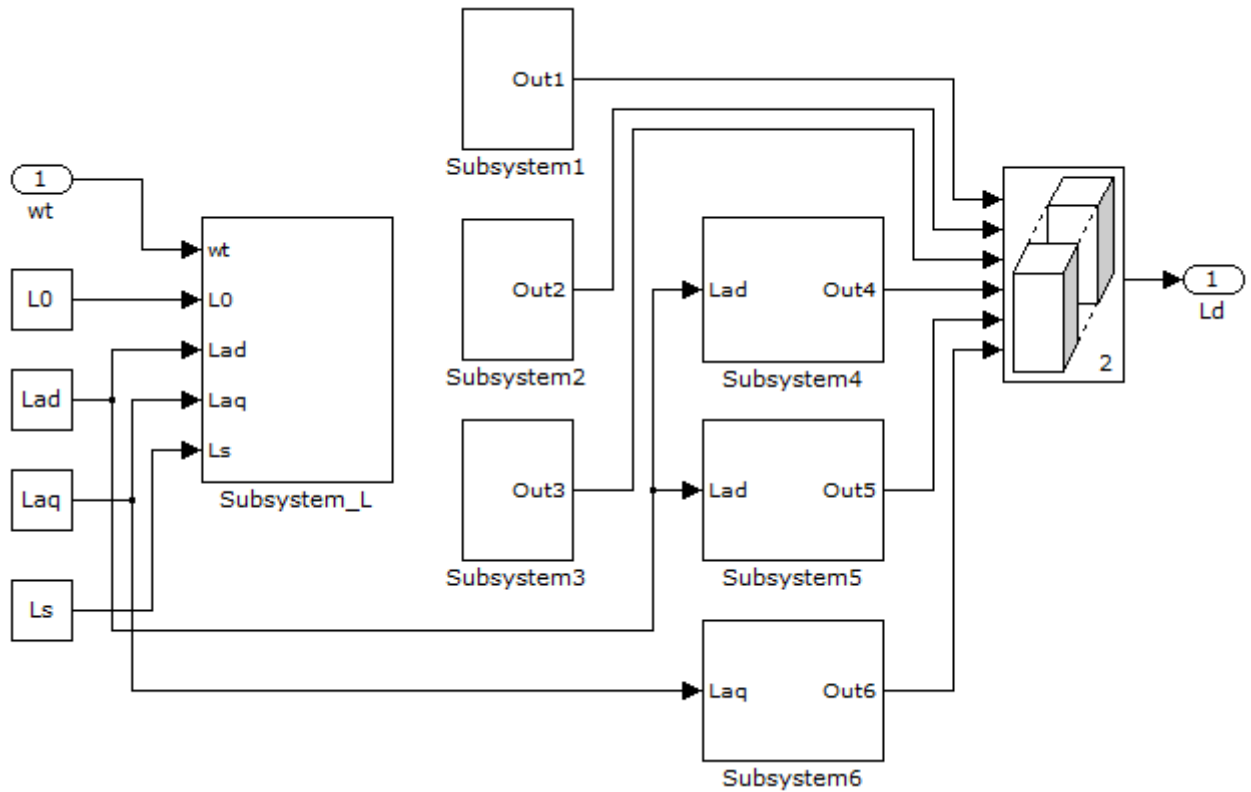


Рисунок 3.4. Подсистема «Matrix_Ld» имитационной модели основного генератора

Подсистема «Matrix_Ld» имитационной модели основного генератора содержит следующие подсистемы: «Subsystem_L», «Subsystem1», «Subsystem2», «Subsystem3», «Subsystem4», «Subsystem5», «Subsystem6».

Подсистема «Subsystem_L» подсистемы «Matrix_Ld» имитационной модели основного генератора обеспечивает определение индуктивностей и взаимных индуктивностей: $L_{\delta A_g}$, $L_{\delta B_g}$, $L_{\delta C_g}$, $M_{\delta AB_g}$, $M_{\delta BA_g}$, $M_{\delta BC_g}$, $M_{\delta CB_g}$, $M_{\delta AC_g}$, $M_{\delta CA_g}$, \hat{M}_{AF_g} , \hat{M}_{FA_g} , \hat{M}_{BF_g} , \hat{M}_{FB_g} , \hat{M}_{CF_g} , \hat{M}_{FC_g} , \hat{M}_{ARd_g} , \hat{M}_{RdA_g} , \hat{M}_{BRd_g} , \hat{M}_{RdB_g} , \hat{M}_{CRd_g} , \hat{M}_{RdC_g} , \hat{M}_{ARq_g} , \hat{M}_{RqA_g} , \hat{M}_{BRq_g} , \hat{M}_{RqB_g} , \hat{M}_{CRq_g} , \hat{M}_{RqC_g} , \hat{M}_{FRd_g} , \hat{M}_{RdF_g} .

На рисунке 3.5 показана подсистема «Subsystem_L» подсистемы «Matrix_Ld» имитационной модели основного генератора.

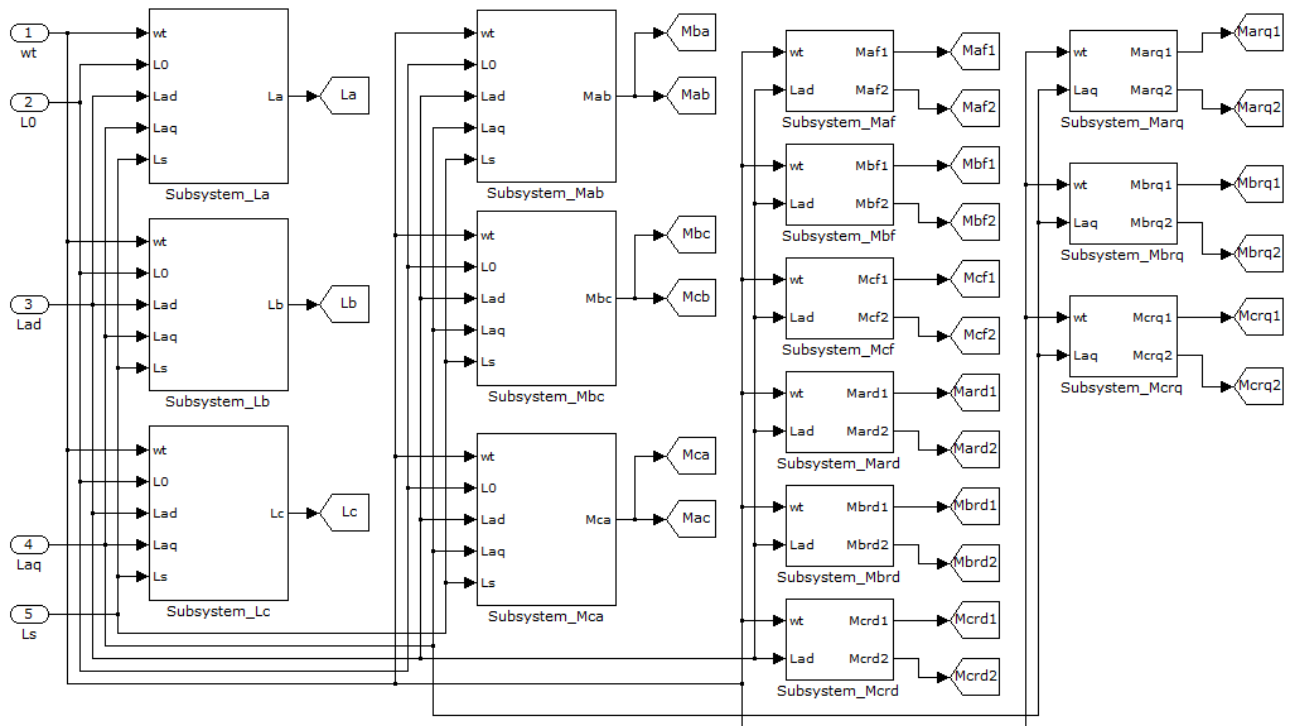


Рисунок 3.5. Подсистема «Subsystem_L» подсистемы «Matrix_Ld» имитационной модели основного генератора

Подсистема «Subsystem_L» подсистемы «Matrix_Ld» имитационной модели основного генератора содержит следующие подсистемы: «Subsystem_La», «Subsystem_Lb», «Subsystem_Lc», «Subsystem_Mab», «Subsystem_Mbc», «Subsystem_Mca», «Subsystem_Maf», «Subsystem_Mbf», «Subsystem_Mcf», «Subsystem_Mard», «Subsystem_Mbrd», «Subsystem_Mcrd», «Subsystem_Marq», «Subsystem_Mbrq», «Subsystem_Mcrq».

Подсистема «Subsystem_La» подсистемы «Subsystem_L» подсистемы «Matrix_Ld» имитационной модели основного генератора обеспечивает определение индуктивности $L_{\delta A_g}$.

Подсистема «Subsystem_Lb» подсистемы «Subsystem_L» подсистемы «Matrix_Ld» имитационной модели основного генератора обеспечивает определение индуктивности $L_{\delta B_g}$.

Подсистема «Subsystem_Lc» подсистемы «Subsystem_L» подсистемы «Matrix_Ld» имитационной модели основного генератора обеспечивает определение индуктивности $L_{\delta C_g}$.

Подсистема «Subsystem_Mab» подсистемы «Subsystem_L» подсистемы «Matrix_Ld» имитационной модели основного генератора обеспечивает определение взаимных индуктивностей $M_{\delta AB_g}$ и $M_{\delta BA_g}$.

Подсистема «Subsystem_Mbc» подсистемы «Subsystem_L» подсистемы «Matrix_Ld» имитационной модели основного генератора обеспечивает определение взаимных индуктивностей $M_{\delta BC_g}$ и $M_{\delta CB_g}$.

Подсистема «Subsystem_Mca» подсистемы «Subsystem_L» подсистемы «Matrix_Ld» имитационной модели основного генератора обеспечивает определение взаимных индуктивностей $M_{\delta CA_g}$ и $M_{\delta AC_g}$.

Подсистема «Subsystem_Maf» подсистемы «Subsystem_L» подсистемы «Matrix_Ld» имитационной модели основного генератора обеспечивает определение взаимных индуктивностей \hat{M}_{AF_g} и \hat{M}_{FA_g} .

Подсистема «Subsystem_Mbf» подсистемы «Subsystem_L» подсистемы «Matrix_Ld» имитационной модели основного генератора обеспечивает определение взаимных индуктивностей \hat{M}_{BF_g} и \hat{M}_{FB_g} .

Подсистема «Subsystem_Mcf» подсистемы «Subsystem_L» подсистемы «Matrix_Ld» имитационной модели основного генератора обеспечивает определение взаимных индуктивностей \hat{M}_{CF_g} и \hat{M}_{FC_g} .

Подсистема «Subsystem_Mard» подсистемы «Subsystem_L» подсистемы «Matrix_Ld» имитационной модели основного генератора обеспечивает определение взаимных индуктивностей \hat{M}_{ARd_g} и \hat{M}_{RdA_g} .

Подсистема «Subsystem_Mbrd» подсистемы «Subsystem_L» подсистемы «Matrix_Ld» имитационной модели основного генератора обеспечивает определение взаимных индуктивностей \hat{M}_{BRd_g} и \hat{M}_{RdB_g} .

Подсистема «Subsystem_Mcrd» подсистемы «Subsystem_L» подсистемы «Matrix_Ld» имитационной модели основного генератора обеспечивает определение взаимных индуктивностей \hat{M}_{CRd_g} и \hat{M}_{RdC_g} .

Подсистема «Subsystem_Marq» подсистемы «Subsystem_L» подсистемы «Matrix_Ld» имитационной модели основного генератора обеспечивает определение взаимных индуктивностей \hat{M}_{ARq_g} и \hat{M}_{RqA_g} .

Подсистема «Subsystem_Mbrq» подсистемы «Subsystem_L» подсистемы «Matrix_Ld» имитационной модели основного генератора обеспечивает определение взаимных индуктивностей \hat{M}_{BRq_g} и \hat{M}_{RqB_g} .

Подсистема «Subsystem_Mcrq» подсистемы «Subsystem_L» подсистемы «Matrix_Ld» имитационной модели основного генератора обеспечивает определение взаимных индуктивностей \hat{M}_{CRq_g} и \hat{M}_{RqC_g} .

На рисунке 3.6 показана подсистема «Subsystem_La» подсистемы «Subsystem_L» подсистемы «Matrix_Ld» имитационной модели основного генератора.

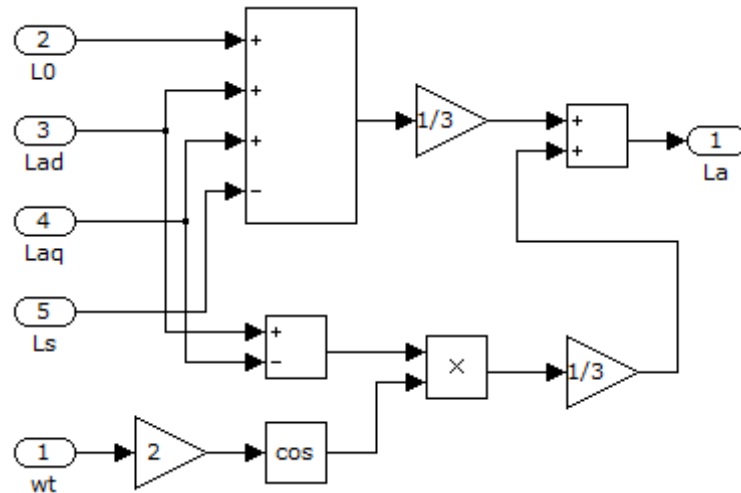


Рисунок 3.6. Подсистема «Subsystem_La» подсистемы «Subsystem_L» подсистемы «Matrix_Ld» имитационной модели основного генератора

На рисунке 3.7 показана подсистема «Subsystem_Lb» подсистемы «Subsystem_L» подсистемы «Matrix_Ld» имитационной модели основного генератора.

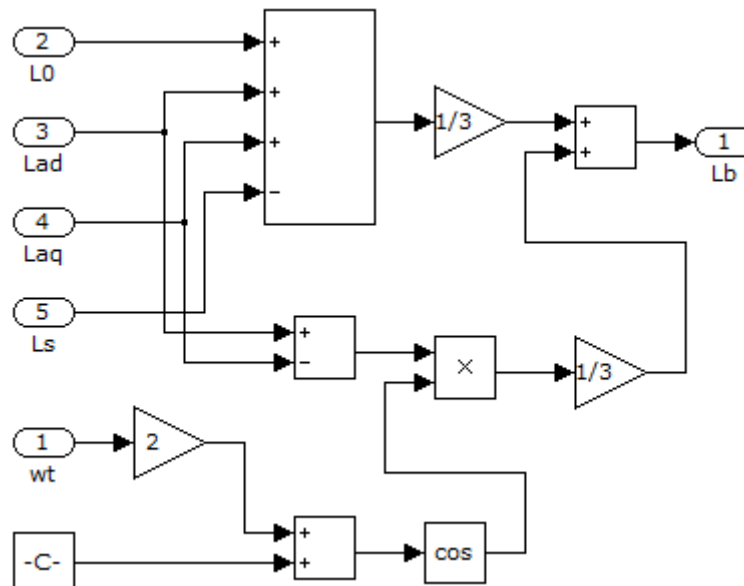


Рисунок 3.7. Подсистема «Subsystem_Lb» подсистемы «Subsystem_L» подсистемы «Matrix_Ld» имитационной модели основного генератора

На рисунке 3.8 показана подсистема «Subsystem_Lc» подсистемы «Subsystem_L» подсистемы «Matrix_Ld» имитационной модели основного генератора.

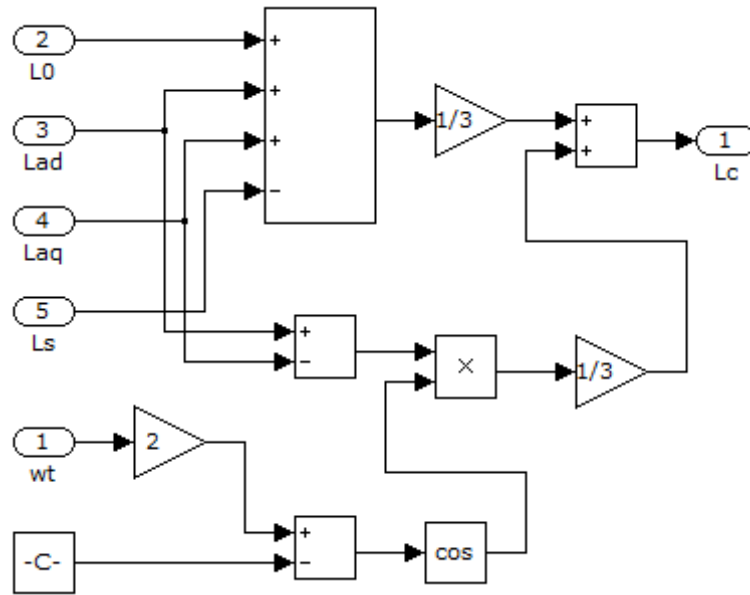


Рисунок 3.8. Имитационная модель подсистемы «Subsystem_Lc» подсистемы «Subsystem_L» подсистемы «Matrix_Ld» имитационной модели основного генератора

На рисунке 3.9 показана подсистема «Subsystem_Mab» подсистемы «Subsystem_L» подсистемы «Matrix_Ld» имитационной модели основного генератора.

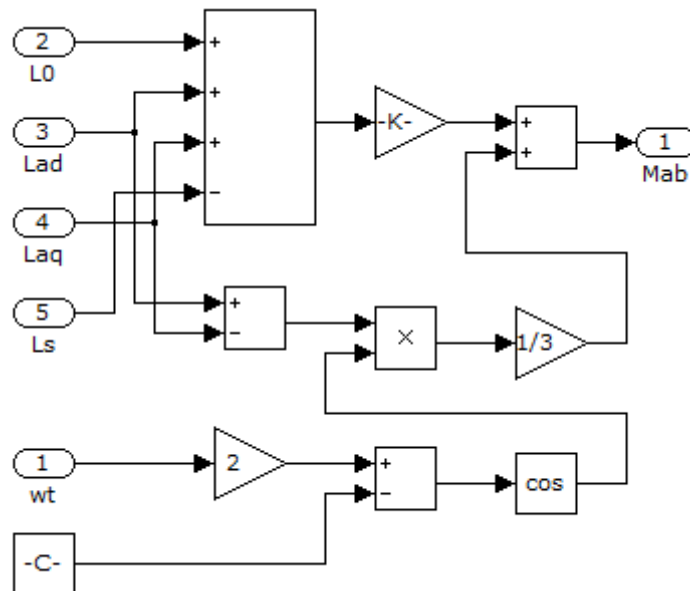


Рисунок 3.9. Подсистема «Subsystem_Mab» подсистемы «Subsystem_L» подсистемы «Matrix_Ld» имитационной модели основного генератора

На рисунке 3.10 показана подсистема «Subsystem_Mbc» подсистемы «Subsystem_L» подсистемы «Matrix_Ld» имитационной модели основного генератора.

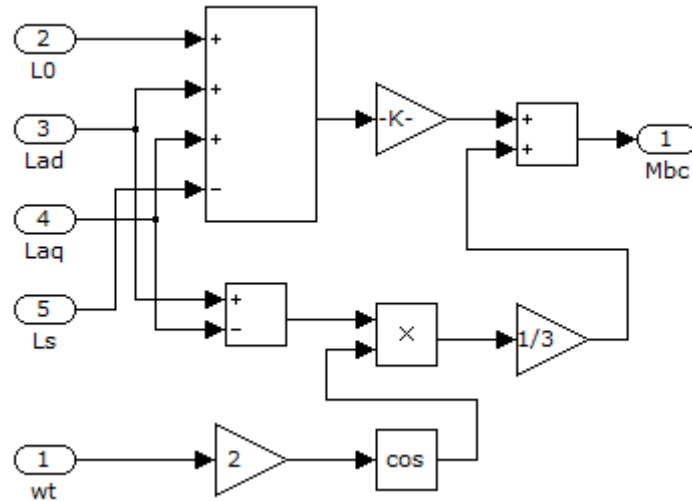


Рисунок 3.10. Подсистема «Subsystem_Mbc» подсистемы «Subsystem_L» подсистемы «Matrix_Ld» имитационной модели основного генератора

На рисунке 3.11 показана подсистема «Subsystem_Mca» подсистемы «Subsystem_L» подсистемы «Matrix_Ld» имитационной модели основного генератора.

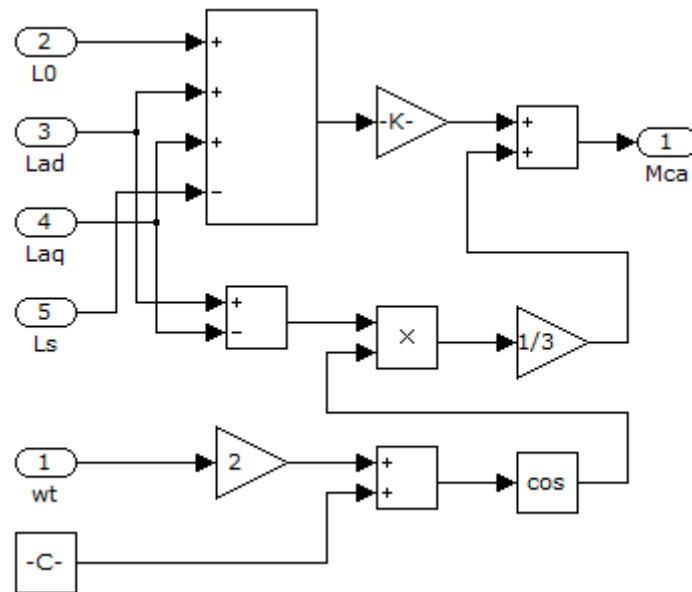


Рисунок 3.11. Имитационная модель подсистемы «Subsystem_Mca» подсистемы «Subsystem_L» подсистемы «Matrix_Ld» имитационной модели основного генератора

На рисунке 3.12 показаны подсистемы «Subsystem_Maf», «Subsystem_Mbf» и «Subsystem_Mcf» подсистемы «Subsystem_L» подсистемы «Matrix_Ld» имитационной модели основного генератора.

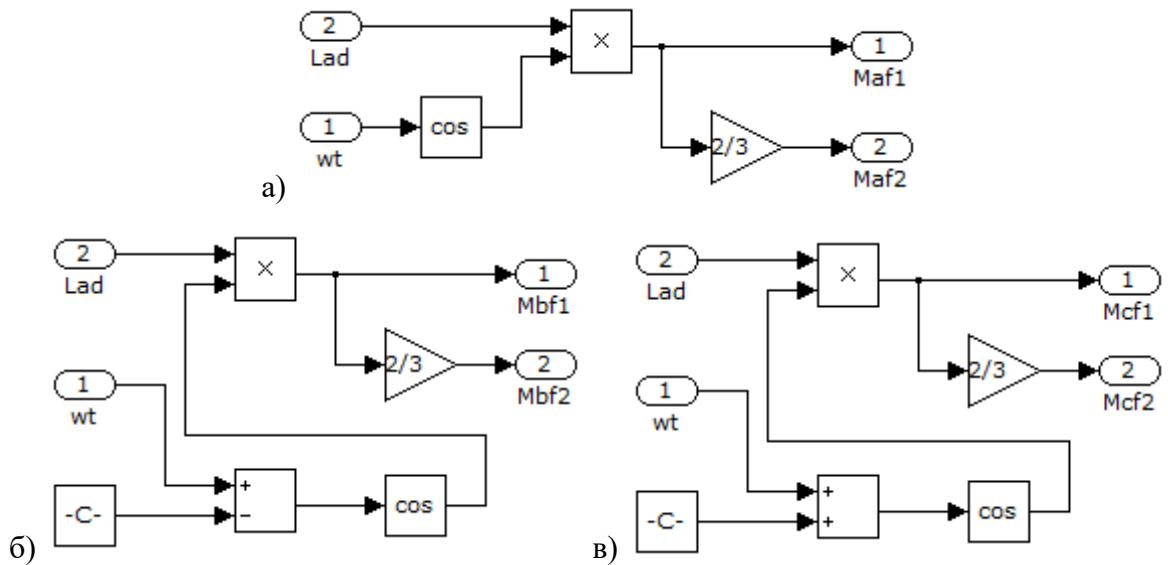


Рисунок 3.12. а) Подсистема «Subsystem_Maf» подсистемы «Subsystem_L» подсистемы «Matrix_Ld» имитационной модели основного генератора; б) Подсистема «Subsystem_Mbf» подсистемы «Subsystem_L» подсистемы «Matrix_Ld» имитационной модели основного генератора; в) Подсистема «Subsystem_Mcf» подсистемы «Subsystem_L» подсистемы «Matrix_Ld» имитационной модели основного генератора

На рисунке 3.13 показаны подсистемы «Subsystem_Mard», «Subsystem_Mbrd» и «Subsystem_Mcrd» подсистемы «Subsystem_L» подсистемы «Matrix_Ld» имитационной модели основного генератора.

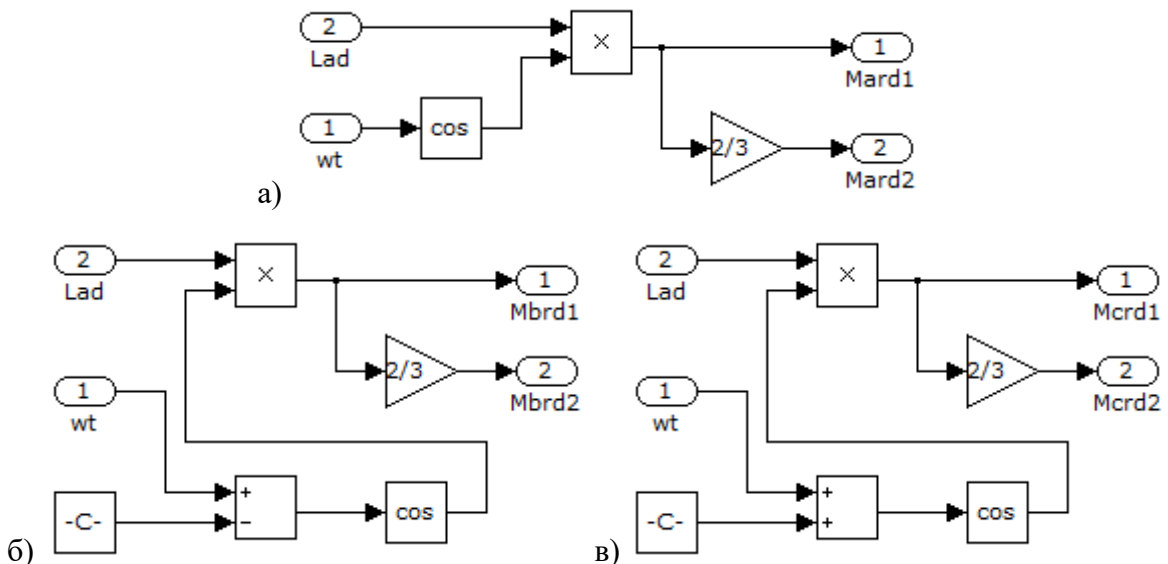


Рисунок 3.13. а) Подсистема «Subsystem_Mard» подсистемы «Subsystem_L» подсистемы «Matrix_Ld» имитационной модели основного генератора; б) Подсистема «Subsystem_Mbrd» подсистемы «Subsystem_L» подсистемы «Matrix_Ld» имитационной модели основного генератора; в) Подсистема «Subsystem_Mcrd» подсистемы «Subsystem_L» подсистемы «Matrix_Ld» имитационной модели основного генератора

На рисунке 3.14 показаны подсистемы «Subsystem_Marq», «Subsystem_Mbrq» и «Subsystem_Mcrq» подсистемы «Subsystem_L» подсистемы «Matrix_Ld» имитационной модели основного генератора.

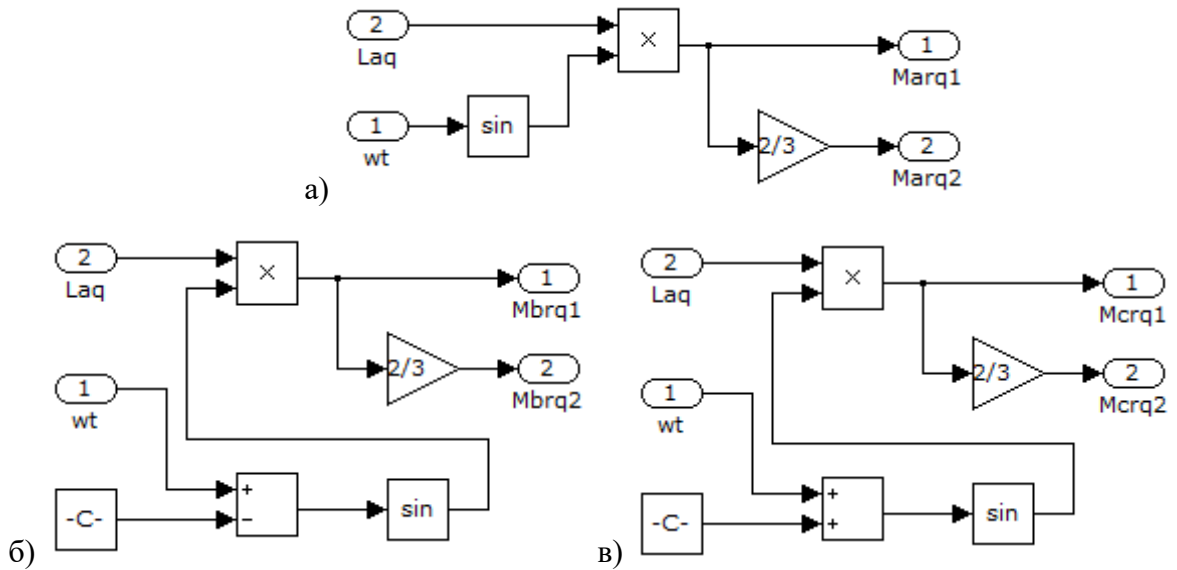


Рисунок 3.14. а) Подсистема «Subsystem_Marq» подсистемы «Subsystem_L» подсистемы «Matrix_Ld» имитационной модели основного генератора; б) Подсистема «Subsystem_Mbrq» подсистемы «Subsystem_L» подсистемы «Matrix_Ld» имитационной модели основного генератора; в) Подсистема «Subsystem_Mcrq» подсистемы «Subsystem_L» подсистемы «Matrix_Ld» имитационной модели основного генератора

На рисунке 3.15 показаны подсистемы «Subsystem1» и «Subsystem2» подсистемы «Matrix_Ld» имитационной модели основного генератора.

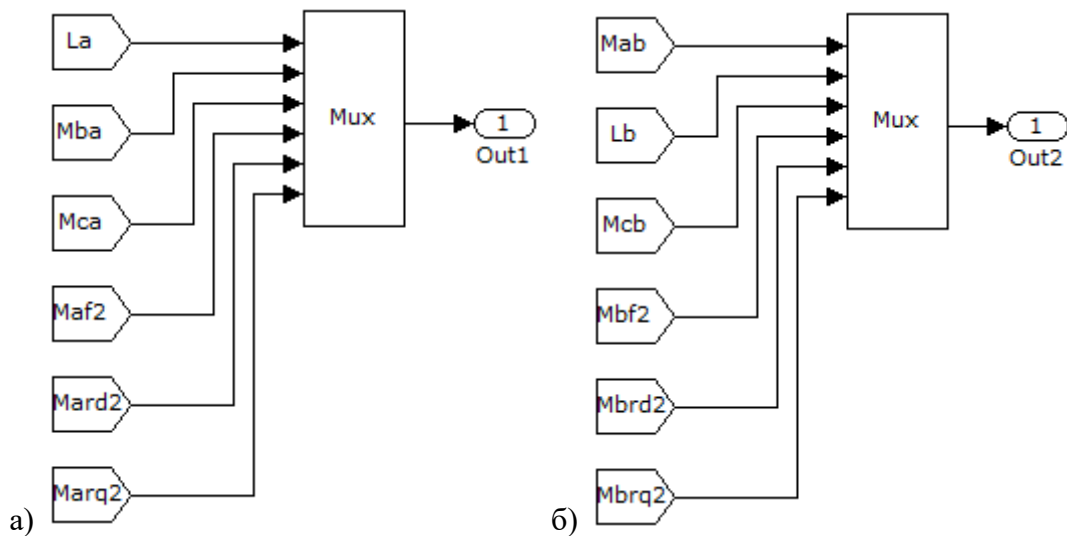


Рисунок 3.15. а) Подсистема «Subsystem1» подсистемы «Matrix_Ld» имитационной модели основного генератора; б) Подсистема «Subsystem2» подсистемы «Matrix_Ld» имитационной модели основного генератора

На рисунке 3.16 показаны подсистемы «Subsystem3», «Subsystem4», «Subsystem5» и «Subsystem6» подсистемы «Matrix_Ld» имитационной модели основного генератора.

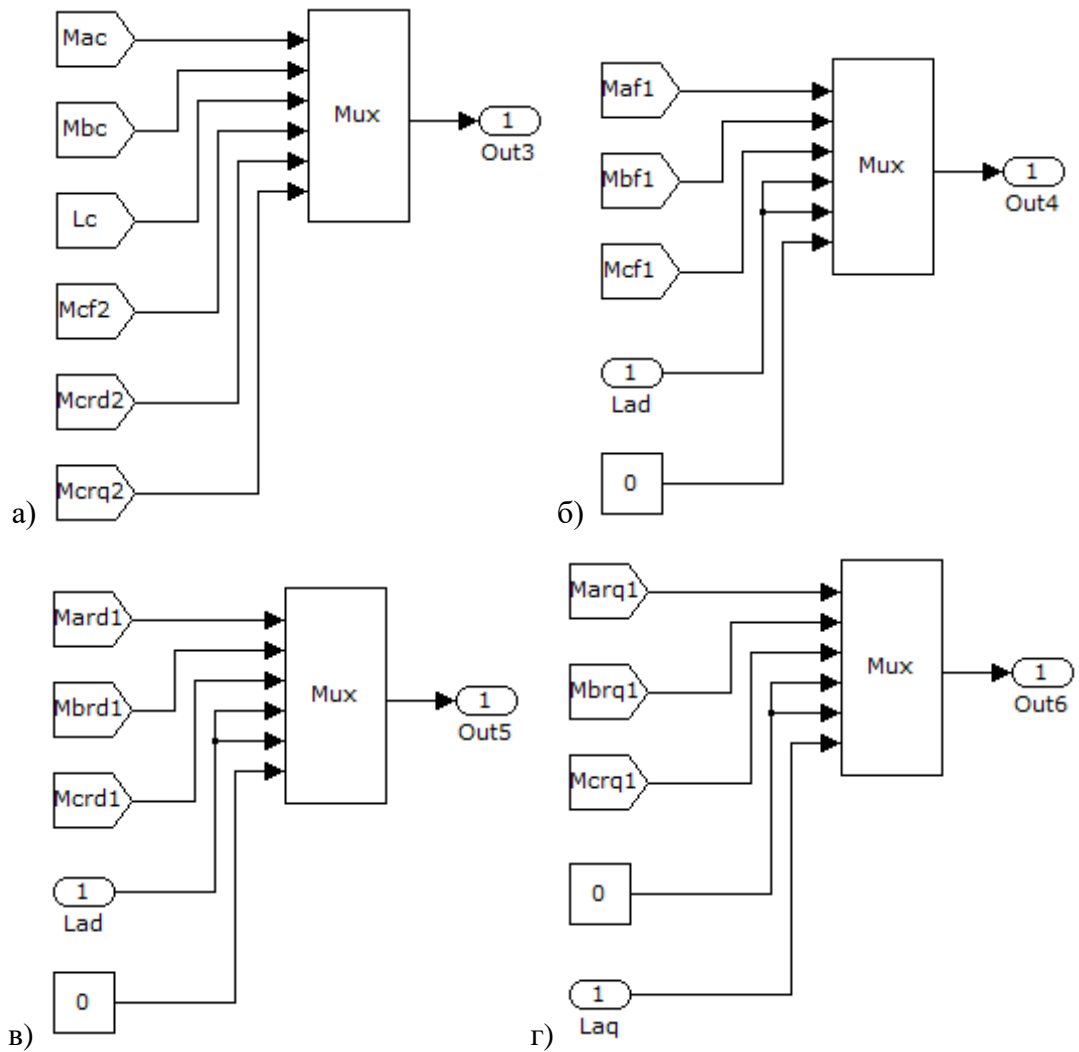


Рисунок 3.16. а) Подсистема «Subsystem3» подсистемы «Matrix_Ld» имитационной модели основного генератора; б) Подсистема «Subsystem4» подсистемы «Matrix_Ld» имитационной модели основного генератора; в) Подсистема «Subsystem5» подсистемы «Matrix_Ld» имитационной модели основного генератора; г) Подсистема «Subsystem6» подсистемы «Matrix_Ld» имитационной модели основного генератора

Подсистема «Matrix_Ld'» имитационной модели основного генератора формирует матрицу $\left[L_{\mu\delta_g} \right]$.

На рисунке 3.17 показана имитационная модель подсистемы «Matrix_Ld'» имитационной модели основного генератора.

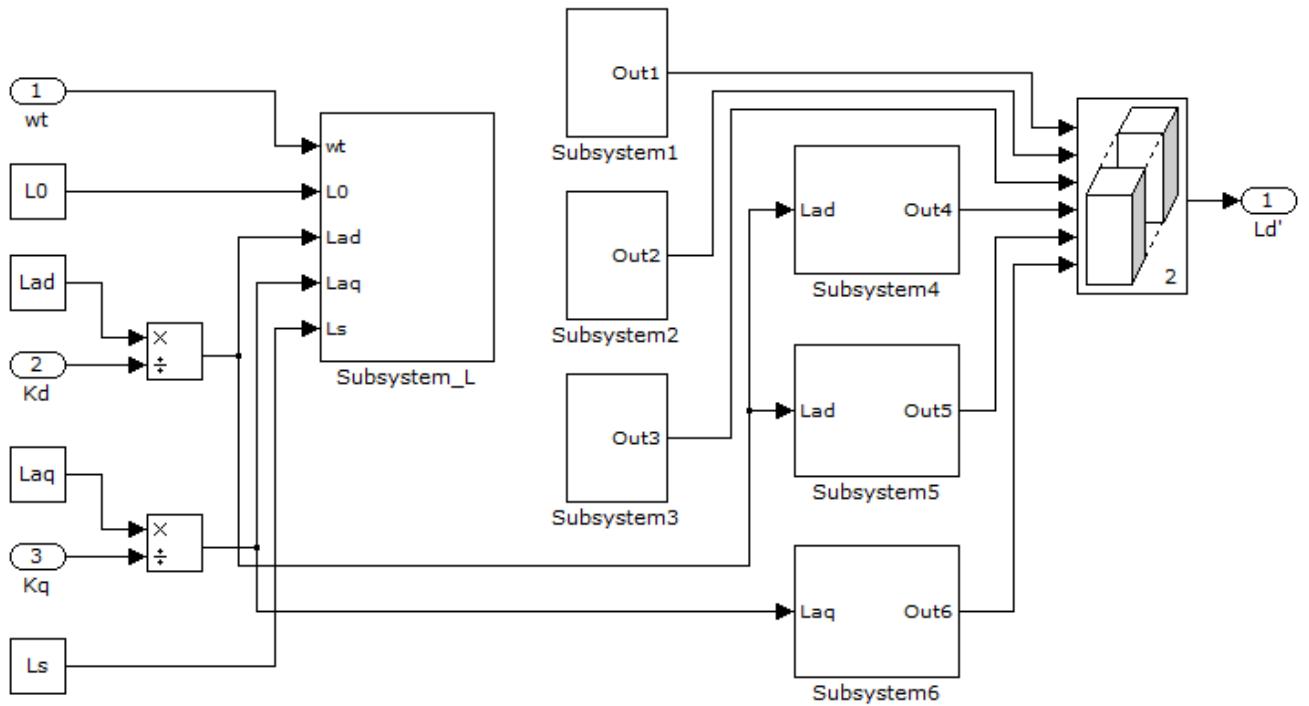


Рисунок 3.17. Подсистема «Matrix_Ld'» имитационной модели основного генератора

Подсистема «Matrix_Ld'» имитационной модели основного генератора содержит следующие подсистемы: «Subsystem_L», «Subsystem1», «Subsystem2», «Subsystem3», «Subsystem4», «Subsystem5», «Subsystem6».

Подсистема «Subsystem_L» подсистемы «Matrix_Ld'» имитационной модели основного генератора обеспечивает определение индуктивностей и взаимных индуктивностей: $L_{\mu\delta A_g}$, $L_{\mu\delta B_g}$, $L_{\mu\delta C_g}$, $M_{\mu\delta AB_g}$, $M_{\mu\delta BA_g}$, $M_{\mu\delta BC_g}$, $M_{\mu\delta CB_g}$, $M_{\mu\delta AC_g}$, $M_{\mu\delta CA_g}$, $\hat{M}_{\mu AF_g}$, $\hat{M}_{\mu FA_g}$, $\hat{M}_{\mu BF_g}$, $\hat{M}_{\mu FB_g}$, $\hat{M}_{\mu CF_g}$, $\hat{M}_{\mu FC_g}$, $\hat{M}_{\mu ARd_g}$, $\hat{M}_{\mu RdA_g}$, $\hat{M}_{\mu BRd_g}$, $\hat{M}_{\mu RdB_g}$, $\hat{M}_{\mu CRd_g}$, $\hat{M}_{\mu RdC_g}$, $\hat{M}_{\mu ARq_g}$, $\hat{M}_{\mu RqA_g}$, $\hat{M}_{\mu BRq_g}$, $\hat{M}_{\mu RqB_g}$, $\hat{M}_{\mu CRq_g}$, $\hat{M}_{\mu RqC_g}$, $\hat{M}_{\mu FRd_g}$, $\hat{M}_{\mu RdF_g}$.

На рисунке 3.18 показана подсистема «Subsystem_L» подсистемы «Matrix_Ld'» имитационной модели основного генератора.

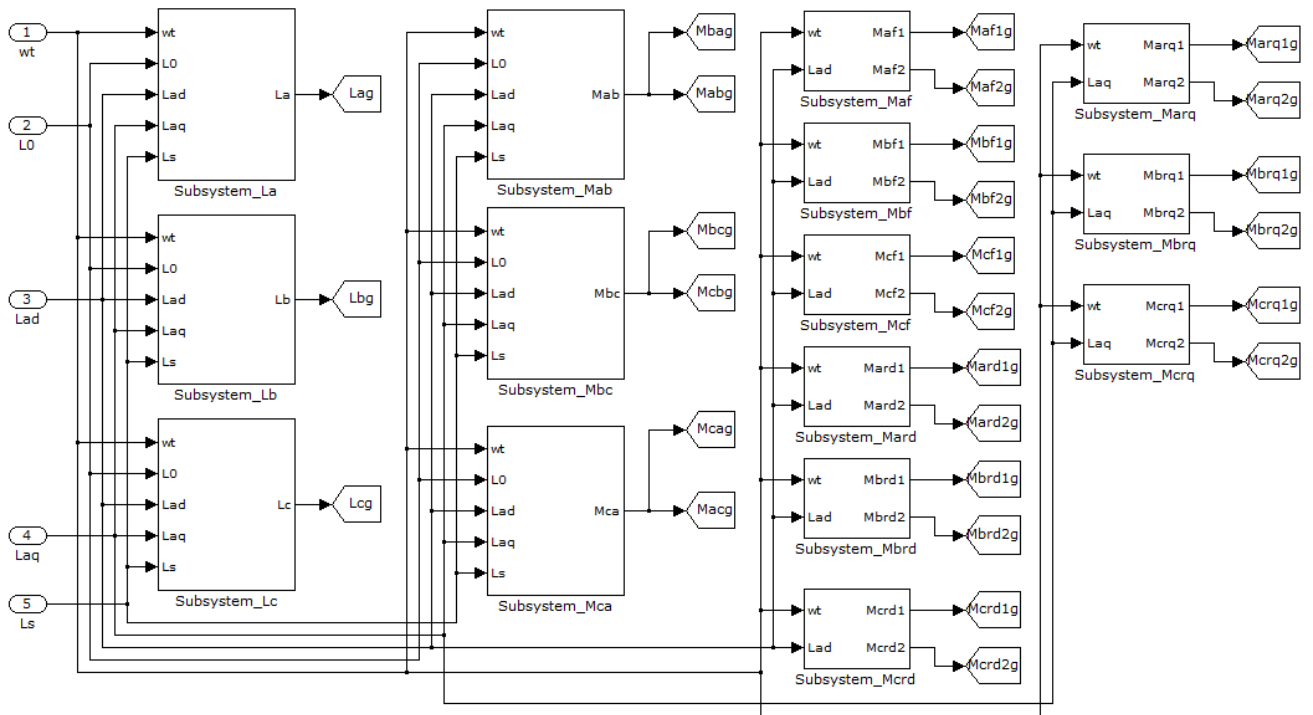


Рисунок 3.18. Подсистема «Subsystem_L» подсистемы «Matrix_Ld» имитационной модели основного генератора

Подсистема «Subsystem_L» подсистемы «Matrix_Ld» имитационной модели основного генератора содержит следующие подсистемы: «Subsystem_La», «Subsystem_Lb», «Subsystem_Lc», «Subsystem_Mab», «Subsystem_Mbc», «Subsystem_Mca», «Subsystem_Maf», «Subsystem_Mbf», «Subsystem_Mcf», «Subsystem_Mard», «Subsystem_Mbrd», «Subsystem_Mcrd», «Subsystem_Marq», «Subsystem_Mbrq», «Subsystem_Mcrq», аналогичные, рассмотренным ранее, соответствующим подсистемам подсистемы «Subsystem_L» подсистемы «Matrix_Ld» имитационной модели основного генератора.

Подсистема «Subsystem_La» подсистемы «Subsystem_L» подсистемы «Matrix_Ld» имитационной модели основного генератора обеспечивает определение индуктивности $L_{\mu\delta A_g}$.

Подсистема «Subsystem_Lb» подсистемы «Subsystem_L» подсистемы «Matrix_Ld» имитационной модели основного генератора обеспечивает определение индуктивности $L_{\mu\delta B_g}$.

Подсистема «Subsystem_Lc» подсистемы «Subsystem_L» подсистемы «Matrix_Ld» имитационной модели основного генератора обеспечивает определение индуктивности $L_{\mu\delta C_g}$.

Подсистема «Subsystem_Mab» подсистемы «Subsystem_L» подсистемы «Matrix_Ld» имитационной модели основного генератора обеспечивает определение взаимных индуктивностей $M_{\mu\delta AB_g}$ и $M_{\mu\delta BA_g}$.

Подсистема «Subsystem_Mbc» подсистемы «Subsystem_L» подсистемы «Matrix_Ld'» имитационной модели основного генератора обеспечивает определение взаимных индуктивностей $M_{\mu\delta BC_g}$ и $M_{\mu\delta CB_g}$.

Подсистема «Subsystem_Mca» подсистемы «Subsystem_L» подсистемы «Matrix_Ld'» имитационной модели основного генератора обеспечивает определение взаимных индуктивностей $M_{\mu\delta CA_g}$ и $M_{\mu\delta AC_g}$.

Подсистема «Subsystem_Maf» подсистемы «Subsystem_L» подсистемы «Matrix_Ld'» имитационной модели основного генератора обеспечивает определение взаимных индуктивностей $\hat{M}_{\mu AF_g}$ и $\hat{M}_{\mu FA_g}$.

Подсистема «Subsystem_Mbf» подсистемы «Subsystem_L» подсистемы «Matrix_Ld'» имитационной модели основного генератора обеспечивает определение взаимных индуктивностей $\hat{M}_{\mu BF_g}$ и $\hat{M}_{\mu FB_g}$.

Подсистема «Subsystem_Mcf» подсистемы «Subsystem_L» подсистемы «Matrix_Ld'» имитационной модели основного генератора обеспечивает определение взаимных индуктивностей $\hat{M}_{\mu CF_g}$ и $\hat{M}_{\mu FC_g}$.

Подсистема «Subsystem_Mard» подсистемы «Subsystem_L» подсистемы «Matrix_Ld'» имитационной модели основного генератора обеспечивает определение взаимных индуктивностей $\hat{M}_{\mu ARd_g}$ и $\hat{M}_{\mu RdA_g}$.

Подсистема «Subsystem_Mbrd» подсистемы «Subsystem_L» подсистемы «Matrix_Ld'» имитационной модели основного генератора обеспечивает определение взаимных индуктивностей $\hat{M}_{\mu BRd_g}$ и $\hat{M}_{\mu RdB_g}$.

Подсистема «Subsystem_Mcrd» подсистемы «Subsystem_L» подсистемы «Matrix_Ld'» имитационной модели основного генератора обеспечивает определение взаимных индуктивностей $\hat{M}_{\mu CRd_g}$ и $\hat{M}_{\mu RdC_g}$.

Подсистема «Subsystem_Marq» подсистемы «Subsystem_L» подсистемы «Matrix_Ld'» имитационной модели основного генератора обеспечивает определение взаимных индуктивностей $\hat{M}_{\mu ARq_g}$ и $\hat{M}_{\mu RqA_g}$.

Подсистема «Subsystem_Mbrq» подсистемы «Subsystem_L» подсистемы «Matrix_Ld'» имитационной модели основного генератора обеспечивает определение взаимных индуктивностей $\hat{M}_{\mu BRq_g}$ и $\hat{M}_{\mu RqB_g}$.

Подсистема «Subsystem_Mcrq» подсистемы «Subsystem_L» подсистемы «Matrix_Ld'» имитационной модели основного генератора обеспечивает определение взаимных индуктивностей $\hat{M}_{\mu CRq_g}$ и $\hat{M}_{\mu RqC_g}$.

На рисунке 3.19 подсистемы «Subsystem1», «Subsystem2», «Subsystem3» и «Subsystem4» подсистемы «Subsystem_L» подсистемы «Matrix_Ld'» имитационной модели основного генератора.

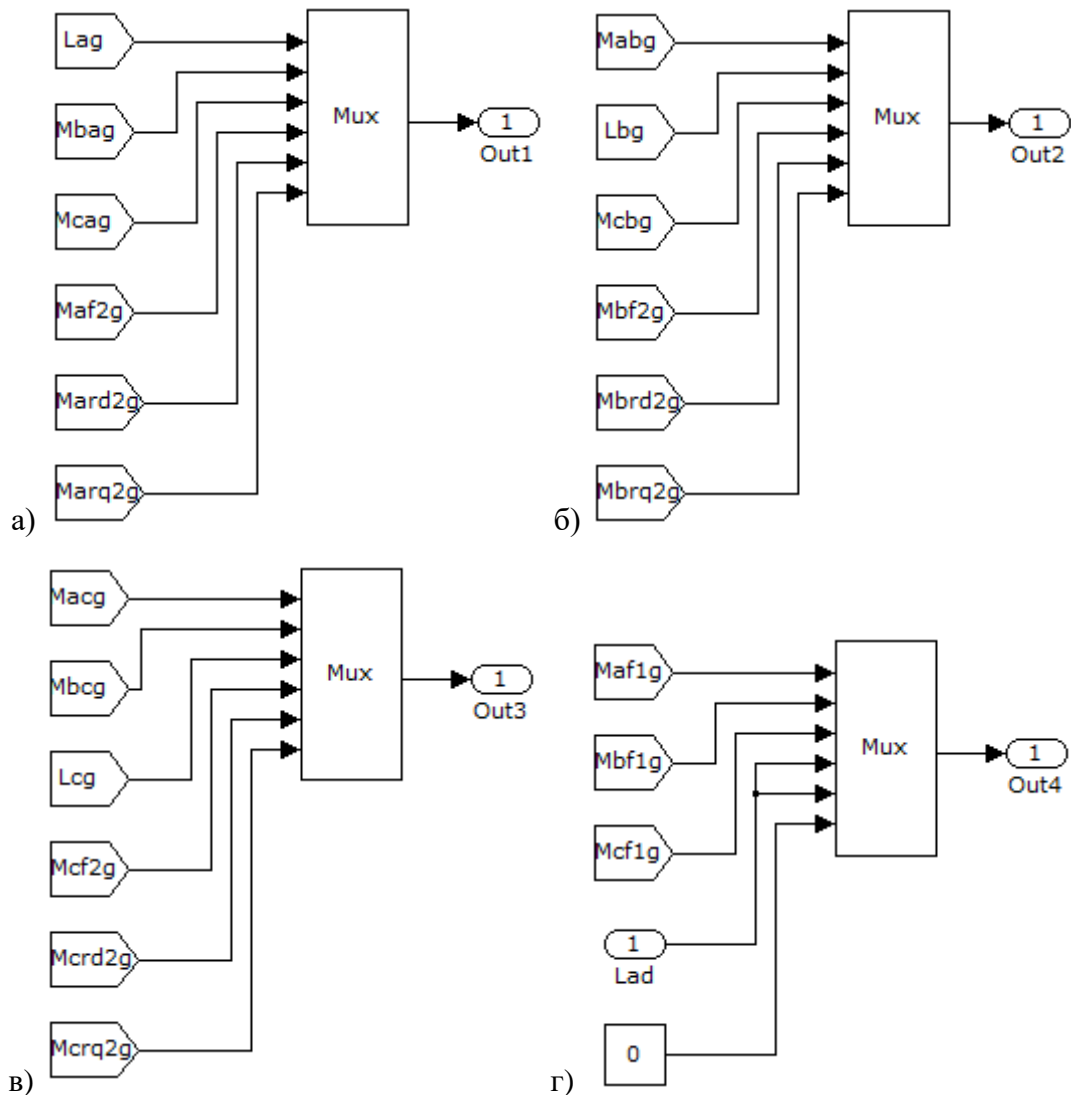


Рисунок 3.19. а) Подсистема «Subsystem1» подсистемы «Subsystem_L» подсистемы «Matrix_Ld'» имитационной модели основного генератора; б) Подсистема «Subsystem2» подсистемы «Subsystem_L» подсистемы «Matrix_Ld'» имитационной модели основного генератора; в) Подсистема «Subsystem3» подсистемы «Subsystem_L» подсистемы «Matrix_Ld'» имитационной модели основного генератора; г) Подсистема «Subsystem4» подсистемы «Subsystem_L» подсистемы «Matrix_Ld'» имитационной модели основного генератора

На рисунке 3.20 показаны подсистемы «Subsystem5» и «Subsystem6» подсистемы «Subsystem_L» подсистемы «Matrix_Ld'» имитационной модели основного генератора.

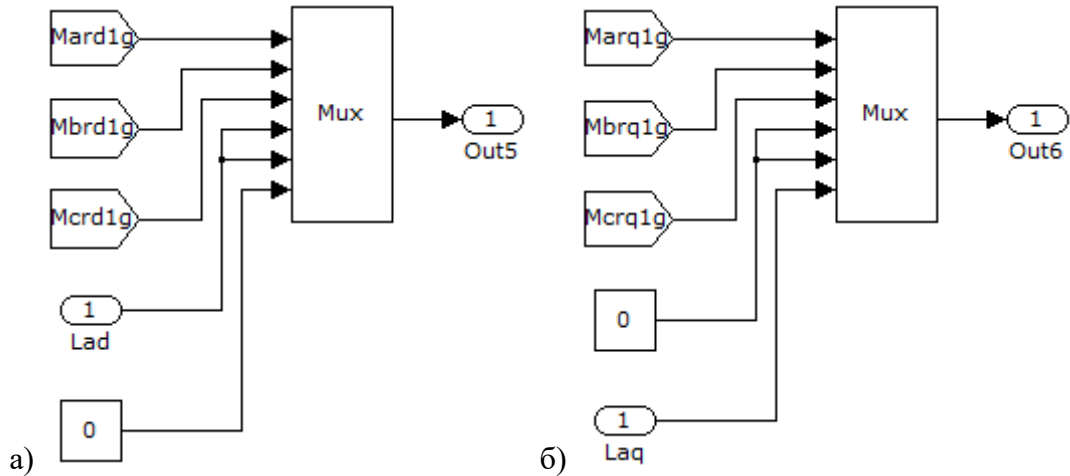


Рисунок 3.20. а) Подсистема «Subsystem5» подсистемы «Subsystem_L» подсистемы «Matrix_Ld'» имитационной модели основного генератора; б) Подсистема «Subsystem6» подсистемы «Subsystem_L» подсистемы «Matrix_Ld'» имитационной модели основного генератора

Подсистема «Модуль реализации насыщения магнитной цепи» имитационной модели основного генератора производит учёт насыщения магнитной цепи основного генератора.

На рисунке 3.21 показана подсистема «Модуль реализации насыщения магнитной цепи» имитационной модели основного генератора.

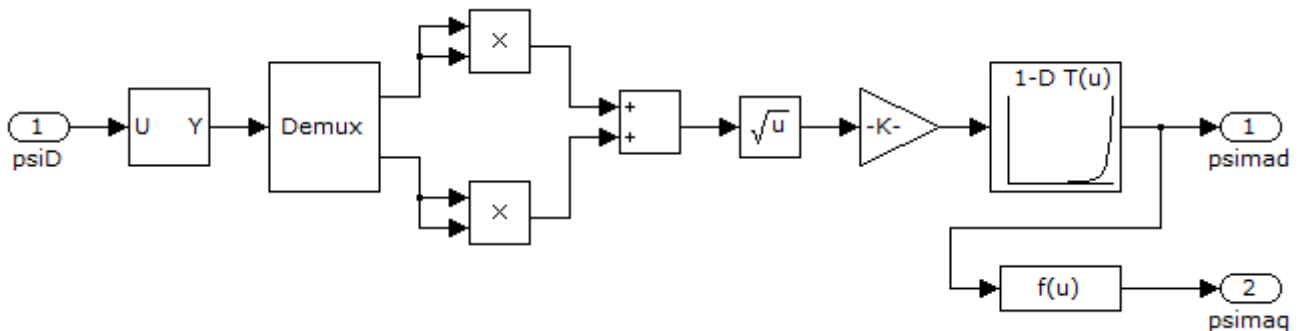


Рисунок 3.21. Подсистема «Модуль реализации насыщения магнитной цепи» имитационной модели основного генератора

Подсистема «Модуля вычисления токов и потокосцеплений» имитационной модели основного генератора обеспечивает реализацию матричных уравнений (2.91) и (2.112).

На рисунке 3.22 показана подсистема «Модуль вычисления токов и потокосцеплений» имитационной модели основного генератора.

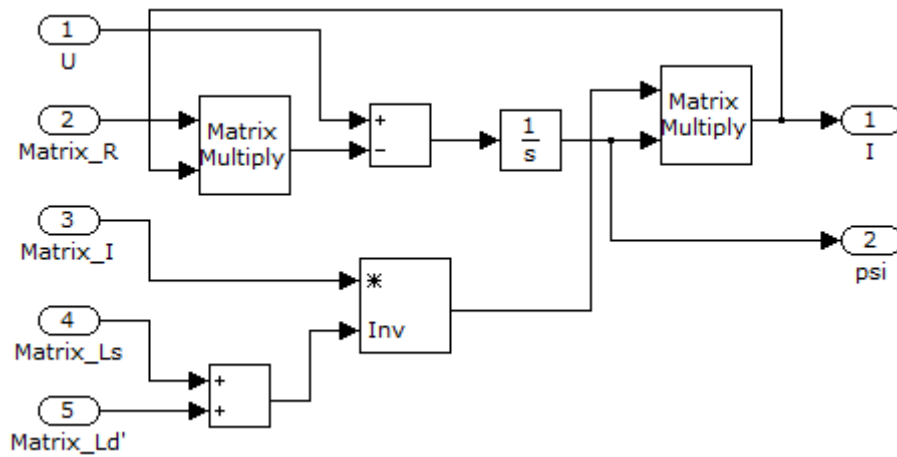


Рисунок 3.22. Подсистема «Модуль вычисления токов и потокосцеплений» имитационной модели основного генератора

Подсистема «Модуль вычисления потокосцеплений в воздушном зазоре» имитационной модели основного генератора обеспечивает реализацию матричного уравнения (2.116).

На рисунке 3.23 показана подсистема «Модуль вычисления потокосцеплений в воздушном зазоре» имитационной модели основного генератора.

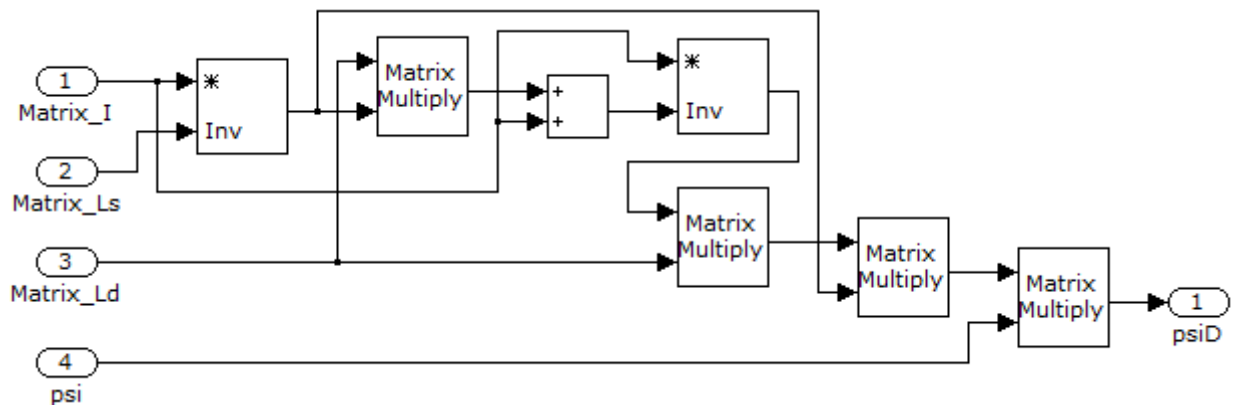


Рисунок 3.23. Подсистема «Модуль вычисления потокосцеплений в воздушном зазоре» имитационной модели основного генератора

Подсистема «Модуль силовой части» имитационной модели основного генератора обеспечивает программное сопряжение имитационных моделей основного генератора с имитационными моделями фидера генератора, регулятора напряжения, контакторов нагрузки.

На рисунке 3.24 показана подсистема «Модуль силовой части» имитационной модели основного генератора.

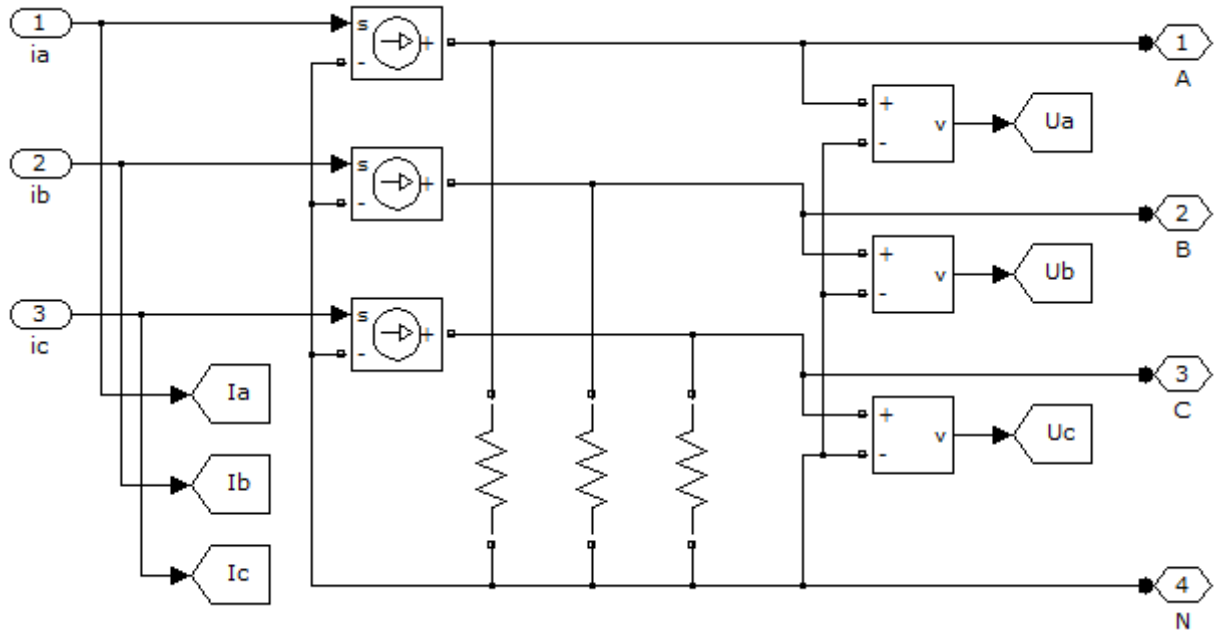


Рисунок 3.24. Подсистема «Модуль силовой части» имитационной модели основного генератора

Подсистема «Модуль вычисления электромагнитного момента» имитационной модели основного генератора обеспечивает определение электромагнитного момента основного генератора (2.147).

На рисунке 3.25 показана подсистема «Модуль вычисления электромагнитного момента» имитационной модели основного генератора.

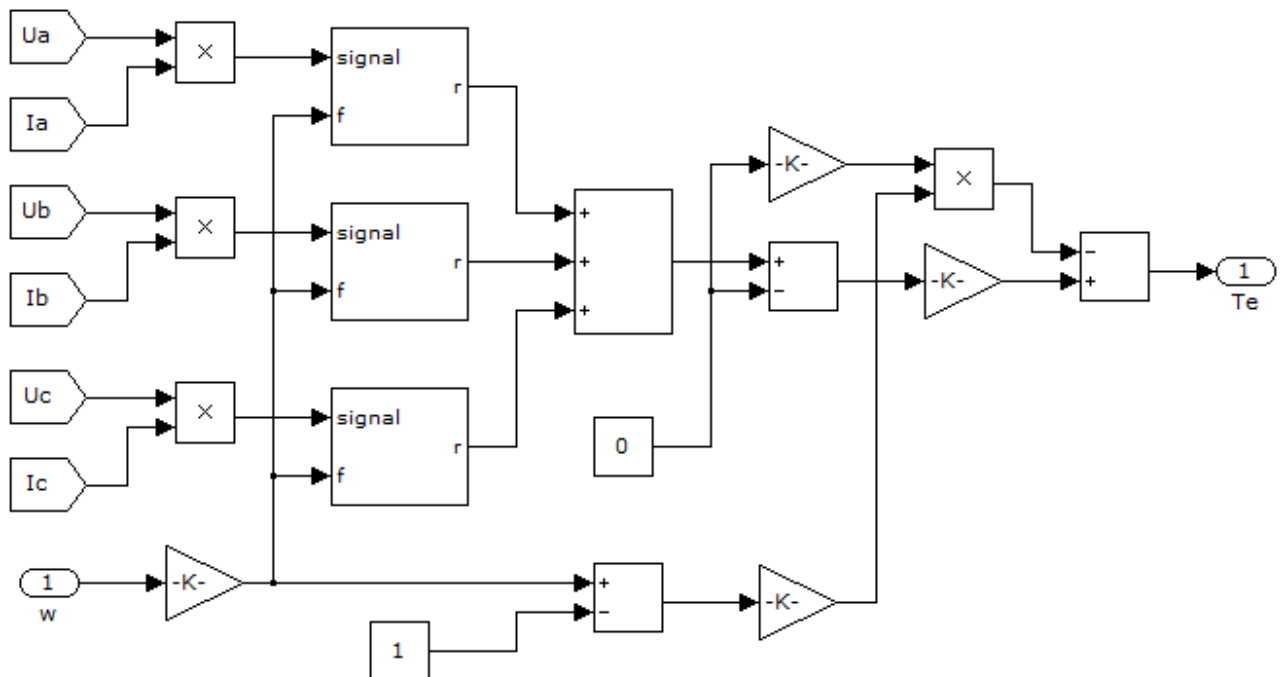


Рисунок 3.25. Подсистема «Модуль вычисления электромагнитного момента» имитационной модели основного генератора

Имитационная модель возбудителя реализует математическую модель возбудителя (2.172), (2.185). Имитационная модель возбудителя аналогична рассмотренной ранее имитационной модели основного генератора.

Имитационная модель подвозбудителя реализует математическую модель подвозбудителя (2.190), (2.195).

На рисунке 3.26 показана имитационная модель подвозбудителя.

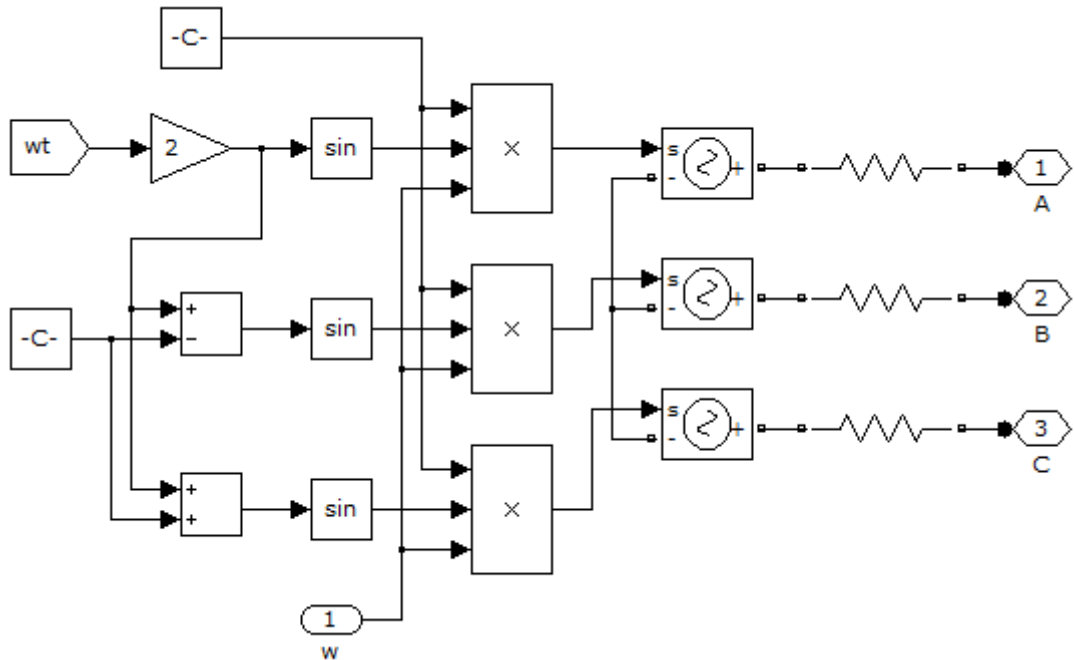


Рисунок 3.26. Имитационная модель подвозбудителя

Имитационная модель вращающегося выпрямителя реализует математическую модель вращающегося выпрямителя (2.202).

На рисунке 3.27 показана имитационная модель вращающегося выпрямителя.

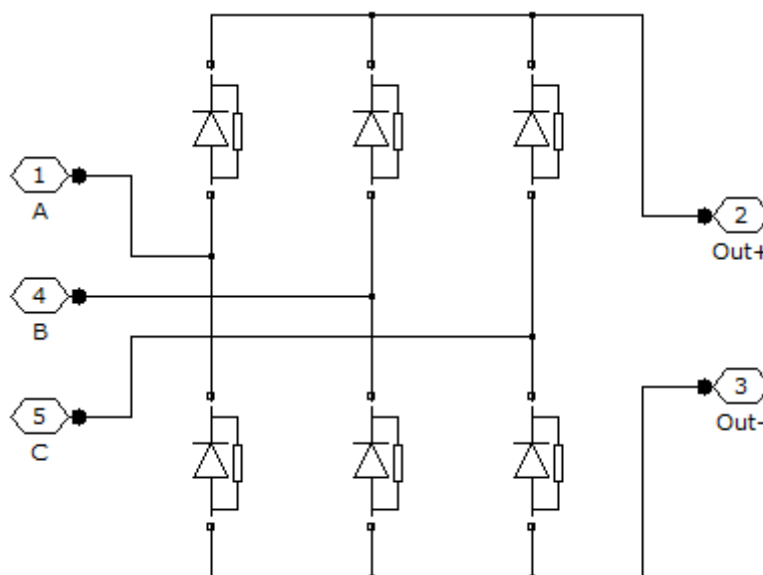


Рисунок 3.27. Имитационная модель вращающегося выпрямителя

Имитационная модель регулятора напряжения реализует математическую модель регулятора напряжения (2.203).

На рисунке 3.28 показана имитационная модель регулятора напряжения.

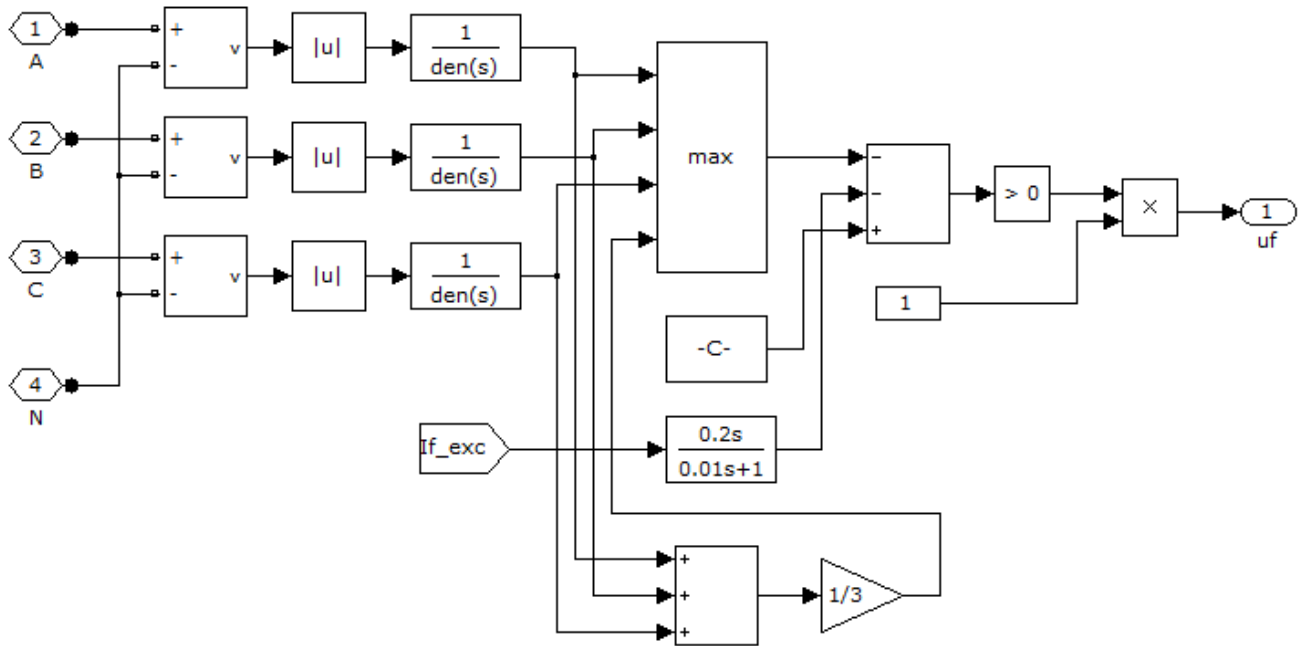


Рисунок 3.28. Имитационная модель регулятора напряжения

Имитационная модель привода постоянной частоты вращения реализует математическую модель привода постоянной частоты вращения (2.205), (2.207) и (2.208).

На рисунке 3.29 показана имитационная модель привода постоянной частоты вращения.

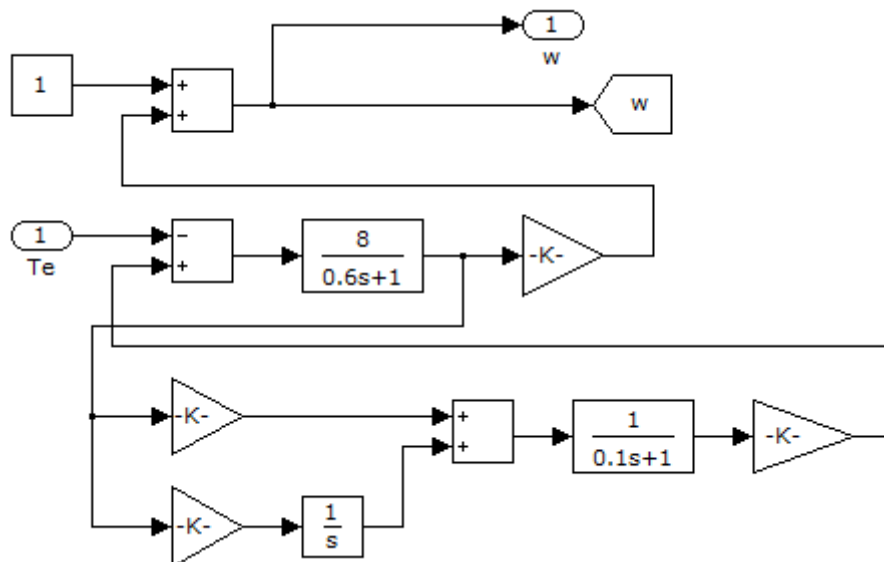


Рисунок 3.29. Имитационная модель привода постоянной частоты вращения

Имитационная модель фидера генератора реализована с помощью библиотеки блоков имитационных моделей SimPowerSystems среды MATLAB/Simulink.

На рисунке 3.30 показана имитационная модель фидера генератора.

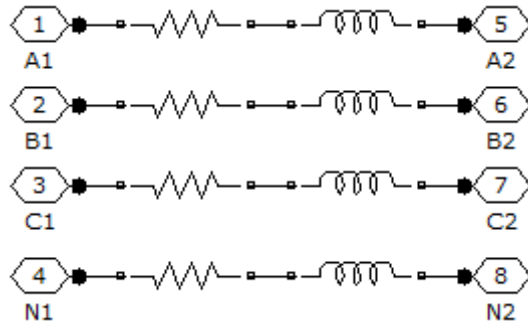


Рисунок 3.30. Имитационная модель фидера генератора

Имитационная модель центрального распределительного устройства (ЦРУ) обеспечивает сопряжение имитационных моделей бортового генератора переменного тока, фидера генератора, регулятора напряжения, контакторов трёхфазных и однофазной нагрузок.

Имитационная модель ЦРУ реализована с помощью библиотеки блоков имитационных моделей SimPowerSystems среды MATLAB/Simulink.

На рисунке 3.31 показана имитационная модель центрального распределительного устройства.

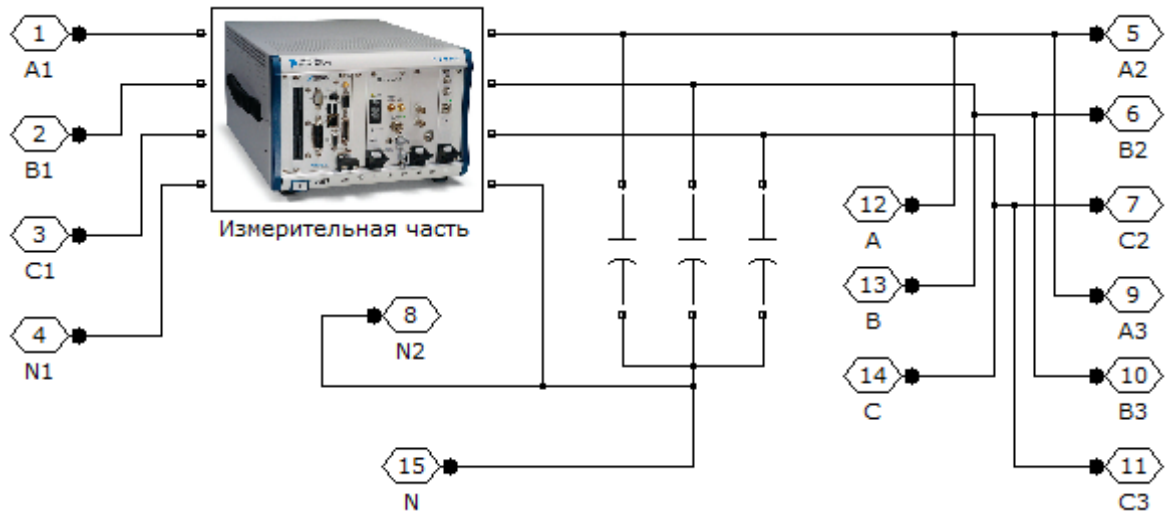


Рисунок 3.31. Имитационная модель центрального распределительного устройства

Имитационная модель центрального распределительного устройства содержит подсистему «Измерительная часть».

Подсистема «Измерительная часть» имитационной модели центрального распределительного устройства обеспечивает определение мгновенных и действующих значений фазных напряжений генератора в точке регулирования и фазных токов генератора.

На рисунке 3.32 показана подсистема «Измерительная часть» имитационной модели центрального распределительного устройства.

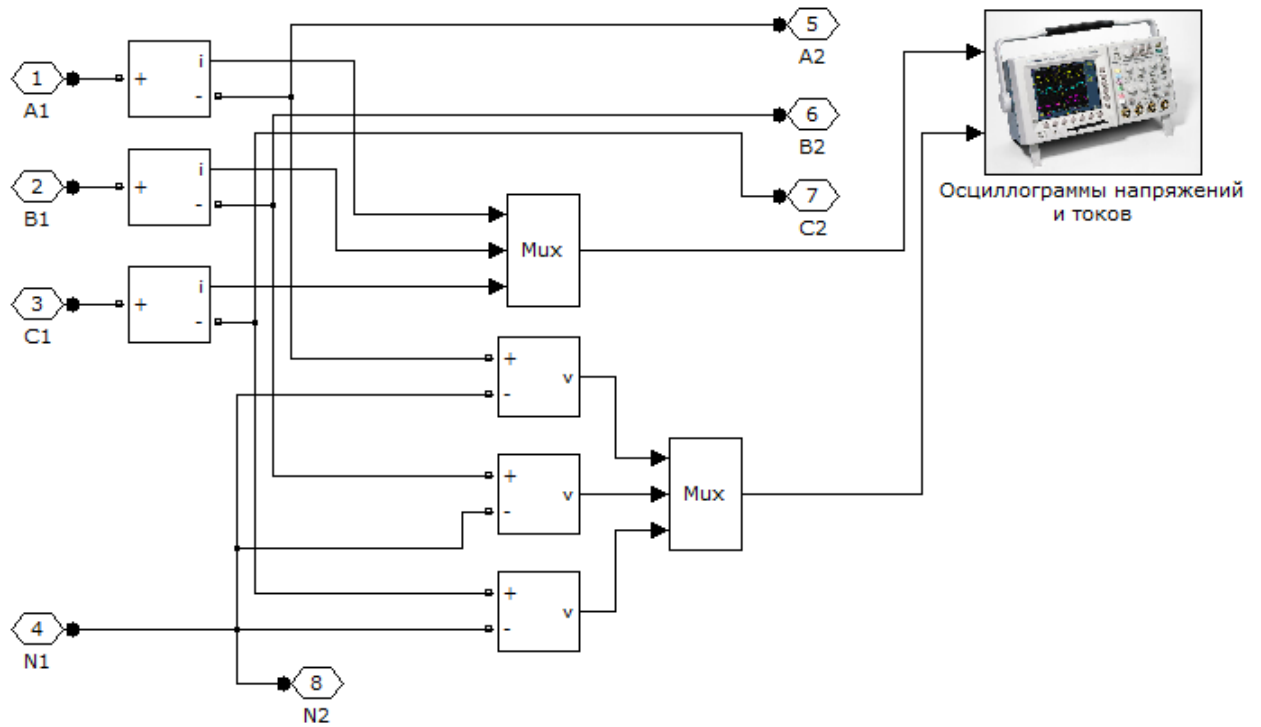


Рисунок 3.32. Подсистема «Измерительная часть» имитационной модели центрального распределительного устройства

Подсистемы «Измерительная часть» имитационной модели центрального распределительного устройства содержит имитационную модель подсистемы «Осциллограммы напряжений и токов».

На рисунке 3.33 показана подсистема «Осциллограммы напряжений и токов» подсистемы «Измерительная часть» имитационной модели центрального распределительного устройства.

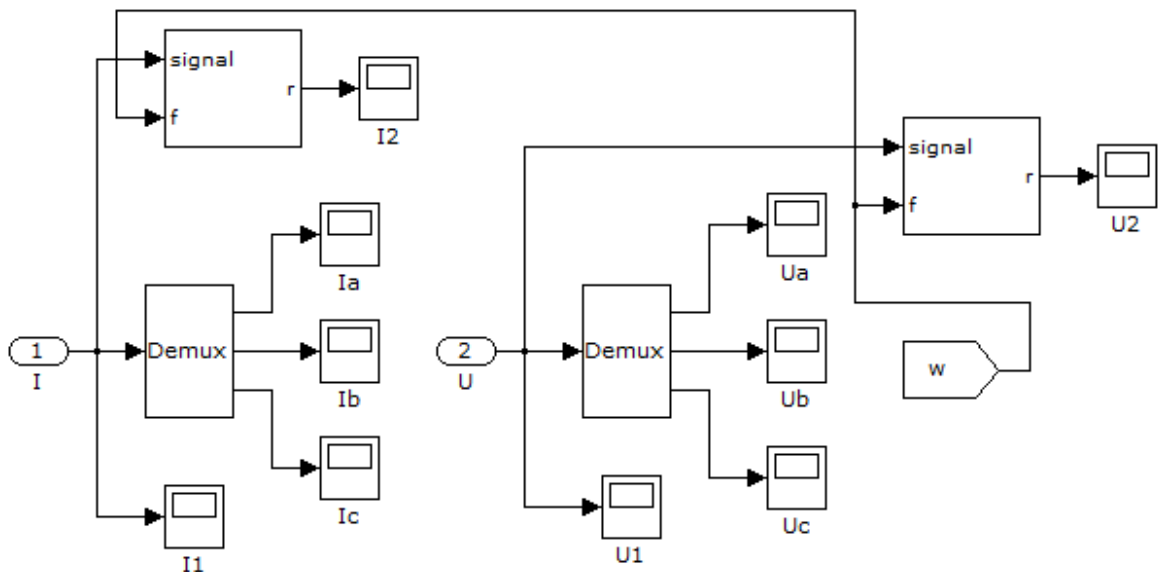


Рисунок 3.33. Подсистема «Осциллограммы напряжений и токов» подсистемы «Измерительная часть» имитационной модели центрального распределительного устройства

Имитационные модели контакторов трёхфазных и однофазной нагрузок реализуют математические модели контакторов трёхфазных и однофазной нагрузок (2.216) и (2.217).

На рисунке 3.34 показаны имитационные модели контакторов трёхфазных и однофазной нагрузок.

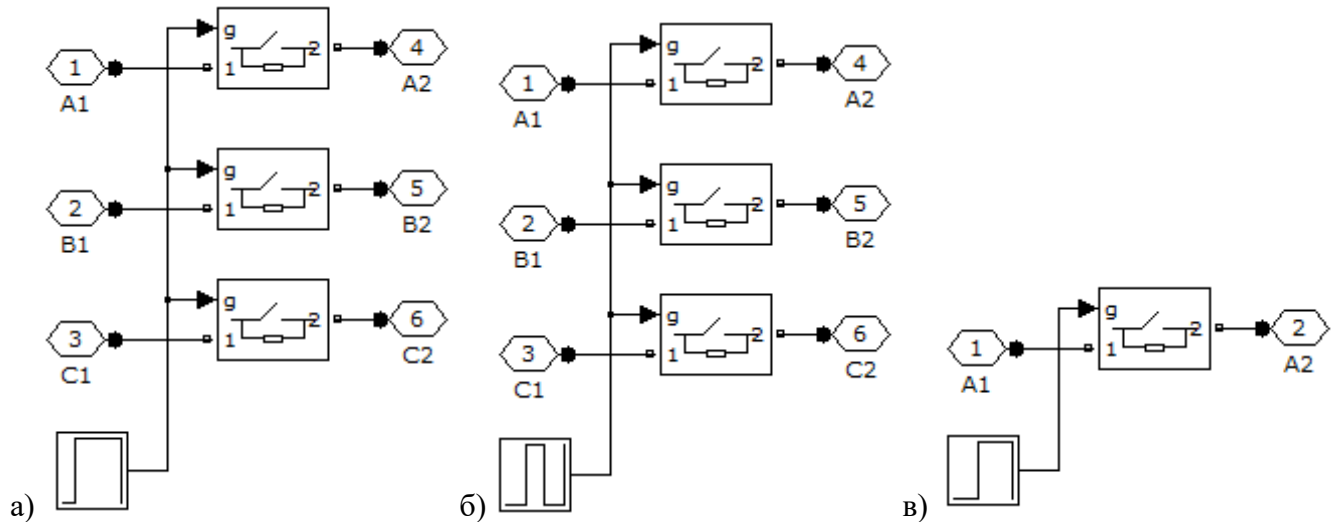


Рисунок 3.34. а) Имитационная модель контактора линейной трёхфазной нагрузки (контактор 1); б) Имитационная модель контактора нелинейной трёхфазной нагрузки (контактор 2); в) Имитационная модель контактора линейной однофазной нагрузки (контактор 3)

Имитационные модели линейных трёхфазной и однофазной статических нагрузок реализуют математические модели линейных трёхфазной и однофазной статических нагрузок (2.209) и (2.210).

На рисунке 3.35 показаны имитационные модели линейных трёхфазной и однофазной статических нагрузок.

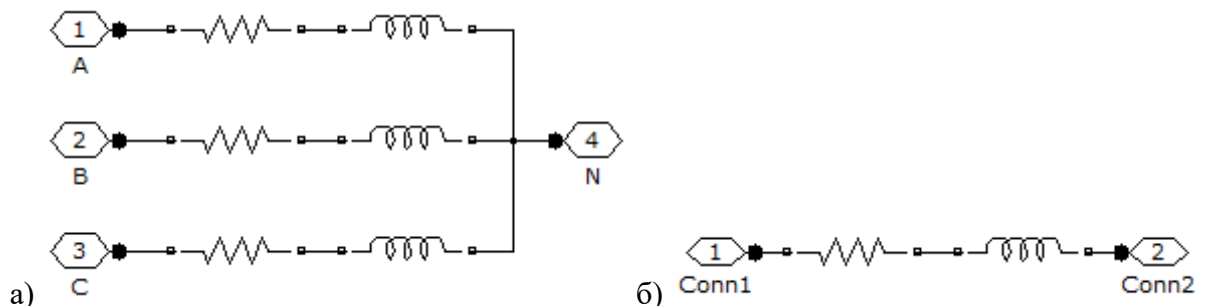


Рисунок 3.35. а) Имитационная модель линейной трёхфазной статической нагрузки; б) Имитационная модель линейной однофазной статической нагрузки

Имитационная модель нелинейной трёхфазной статической нагрузки реализует математическую модель нелинейной трёхфазной статической нагрузки (2.211).

На рисунке 3.36 показана имитационная модель нелинейной трёхфазной статической нагрузки.

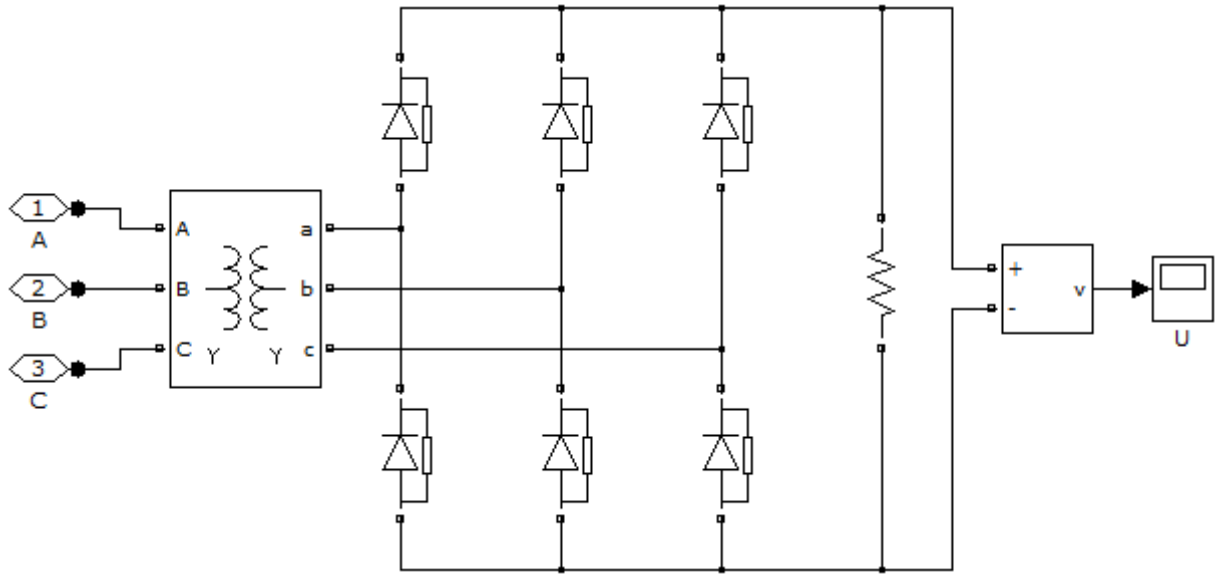


Рисунок 3.36. Имитационная модель нелинейной трёхфазной статической нагрузки

3.2 Выводы по главе 3

1. Разработана имитационная модель бортового генератора переменного тока (авиационного синхронного генератора серии ГТ) на основе его математической модели, полученной ранее. В составе общей имитационной модели авиационного синхронного генератора разработаны имитационные модели основного генератора, возбuditеля, подвозбудителя и вращающегося выпрямителя.

2. Разработана имитационная модель регулятора напряжения.

3. Разработана имитационная модель привода постоянной частоты вращения.

4. Разработаны имитационные модели линейной и нелинейной трёхфазных статических нагрузок, а также имитационная модель линейной однофазной статической нагрузки.

5. Разработаны имитационные модели контакторов трёхфазных и однофазной нагрузок.

6. Таким образом, с учётом разработанных имитационных моделей агрегатов канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты получена имитационная модель канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты. Полученная имитационная модель позволяет исследовать работу канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты в переходных и установившихся режимах при симметричных и несимметричных, линейных и нелинейных нагрузках. Также полученная имитационная модель позволяет

исследовать работу канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты позволяет вводить отказы агрегатов канала бортовой СЭС ВС и тем самым имитировать расширенное множество технических состояний канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты. Результатами расчётов имитационной модели для каждого технического состояния канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты являются переходные процессы мгновенных значений напряжений фаз генератора в точке регулирования и токов фаз генератора.

7. На основе разработанных имитационных моделях агрегатов канала и самого канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты далее необходимо получить результаты моделирования каждого отдельного технического состояния из расширенного множества технических состояний канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты, определить коэффициенты гармонических составляющих напряжений фаз «А», «В» и «С», коэффициенты искажения напряжений фаз «А», «В» и «С», действующие значения напряжений фаз «А», «В» и «С» в точке регулирования как определяющие параметры и на основе полученных результатов определить различающие функции и алгоритм диагностирования для каждого отдельного технического состояния из расширенного множества технических состояний канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты с прогнозированием значений определяющих параметров. Данная задача будет решена в следующей главе работы.

4 Моделирование технических состояний канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты

Для дальнейшего анализа результатов, полученных с помощью имитационной модели при моделировании отказов в канале бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты, определим показатели качества электроэнергии отдельно для случая каждого отказа.

Для определения показателей качества электроэнергии необходимо разложить мгновенные значения напряжений фаз «А», «В», «С» в точке регулирования в ряд Фурье на гармонические составляющие:

$$U_{A_g} = U_{A_g}(t) = U_{A_0} + \sum_{n=1}^{\infty} A_{A_n} \sin(n\omega_g t) + \sum_{n=1}^{\infty} B_{A_n} \cos(n\omega_g t), \quad (4.1)$$

где U_{A_0} – постоянная составляющая напряжения фазы «А»;

$$U_{A_0} = \frac{1}{T} \int_{\theta}^{\theta+T} U_{A_g}(t) dt, \quad (4.2)$$

A_{A_n}, B_{A_n} – амплитуды гармонических составляющих напряжения фазы «А»;

$$A_{A_n} = \frac{2}{T} \int_{\theta}^{\theta+T} U_{A_g}(t) \cdot \sin(n\omega_g t) dt, \quad (4.3)$$

$$B_{A_n} = \frac{2}{T} \int_{\theta}^{\theta+T} U_{A_g}(t) \cdot \cos(n\omega_g t) dt, \quad (4.4)$$

$$U_{B_g} = U_{B_g}(t) = U_{B_0} + \sum_{n=1}^{\infty} A_{B_n} \sin(n\omega_g t) + \sum_{n=1}^{\infty} B_{B_n} \cos(n\omega_g t), \quad (4.5)$$

где U_{B_0} – постоянная составляющая напряжения фазы «В»;

$$U_{B_0} = \frac{1}{T} \int_{\theta}^{\theta+T} U_{B_g}(t) dt, \quad (4.6)$$

A_{B_n}, B_{B_n} – амплитуды гармонических составляющих напряжения фазы «В»;

$$A_{B_n} = \frac{2}{T} \int_{\theta}^{\theta+T} U_{B_g}(t) \cdot \sin(n\omega_g t) dt, \quad (4.7)$$

$$B_{B_n} = \frac{2}{T} \int_{\theta}^{\theta+T} U_{B_g}(t) \cdot \cos(n\omega_g t) dt, \quad (4.8)$$

$$U_{C_g} = U_{C_g}(t) = U_{C_0} + \sum_{n=1}^{\infty} A_{C_n} \sin(n\omega_g t) + \sum_{n=1}^{\infty} B_{C_n} \cos(n\omega_g t), \quad (4.9)$$

где U_{C_0} – постоянная составляющая напряжения фазы «С»;

$$U_{C_0} = \frac{1}{T} \int_{\theta}^{\theta+T} U_{C_g}(t) dt, \quad (4.10)$$

A_{C_n}, B_{C_n} – амплитуды гармонических составляющих напряжения фазы «С»;

$$A_{C_n} = \frac{2}{T} \int_{\theta}^{\theta+T} U_{C_g}(t) \cdot \sin(n\omega_g t) dt, \quad (4.11)$$

$$B_{C_n} = \frac{2}{T} \int_{\theta}^{\theta+T} U_{C_g}(t) \cdot \cos(n\omega_g t) dt, \quad (4.12)$$

Мгновенные значения напряжений фаз «А», «В», «С» в точке регулирования $U_{A_g}(t)$,

$U_{B_g}(t)$, $U_{C_g}(t)$ можно также представить в виде:

$$U_{A_g}(t) = U_{A_0} + \sum_{n=1}^{\infty} C_{A_n} \sin(n\omega_g t + \varphi_{A_n}), \quad (4.13)$$

где C_{A_n} – амплитуда результирующей гармонической составляющей напряжения фазы «А»;

$$C_{A_n} = \sqrt{(A_{A_n})^2 + (B_{A_n})^2}, \quad (4.14)$$

φ_{A_n} – фаза результирующей гармонической составляющей напряжения фазы «А»;

$$\varphi_{A_n} = \arctg\left(\frac{B_{A_n}}{A_{A_n}}\right), \quad (4.15)$$

$$U_{B_g}(t) = U_{B_0} + \sum_{n=1}^{\infty} C_{B_n} \sin(n\omega_g t + \varphi_{B_n}), \quad (4.16)$$

где C_{B_n} – амплитуда результирующей гармонической составляющей напряжения фазы «В»;

$$C_{B_n} = \sqrt{(A_{B_n})^2 + (B_{B_n})^2}, \quad (4.17)$$

φ_{B_n} – фаза результирующей гармонической составляющей напряжения фазы «В»;

$$\varphi_{B_n} = \operatorname{arctg} \left(\frac{B_{B_n}}{A_{B_n}} \right), \quad (4.18)$$

$$U_{C_g}(t) = U_{C_0} + \sum_{n=1}^{\infty} C_{C_n} \sin(n\omega_g t + \varphi_{C_n}), \quad (4.19)$$

где C_{C_n} – амплитуда результирующей гармонической составляющей напряжения фазы «С»;

$$C_{C_n} = \sqrt{(A_{C_n})^2 + (B_{C_n})^2}, \quad (4.20)$$

φ_{C_n} – фаза результирующей гармонической составляющей напряжения фазы «В»;

$$\varphi_{C_n} = \operatorname{arctg} \left(\frac{B_{C_n}}{A_{C_n}} \right). \quad (4.21)$$

На основе полученного разложения в ряд Фурье мгновенных значений напряжений фаз «А», «В», «С» в точке регулирования $U_{A_g}(t)$, $U_{B_g}(t)$, $U_{C_g}(t)$ можно определить также составляющие напряжений постоянного тока U_{A_0} , U_{B_0} , U_{C_0} , коэффициенты гармонических составляющих $K_{U_{A_k}}$, $K_{U_{B_k}}$, $K_{U_{C_k}}$, и коэффициенты искажений K_{U_A} , K_{U_B} , K_{U_C} [49]:

$$K_{U_{A_k}} = \frac{U_{A_k}}{U_{A_1}} \cdot 100\%, \quad (4.22)$$

где U_{A_k} – действующее значений k -ой гармонической составляющей напряжения фазы «А»;

U_{A_1} – действующее значений 1-ой гармонической составляющей напряжения фазы «А»;

$$K_{U_{B_k}} = \frac{U_{B_k}}{U_{B_1}} \cdot 100\%, \quad (4.23)$$

где U_{B_k} – действующее значений k -ой гармонической составляющей напряжения фазы «В»;

U_{B_1} – действующее значений 1-ой гармонической составляющей напряжения фазы «В»;

$$K_{U_{C_k}} = \frac{U_{C_k}}{U_{C_1}} \cdot 100\%, \quad (4.24)$$

где U_{C_k} – действующее значений k -ой гармонической составляющей напряжения фазы «С»;

U_{C_1} – действующее значений 1-ой гармонической составляющей напряжения фазы «С»;

$$K_{U_A} = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^n U_{A_k}^2}}{\sqrt{\sum_{k=1}^n U_{A_k}^2}} \cdot 100\% , (4.25)$$

$$K_{U_B} = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^n U_{B_k}^2}}{\sqrt{\sum_{k=1}^n U_{B_k}^2}} \cdot 100\% , (4.26)$$

$$K_{U_C} = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^n U_{C_k}^2}}{\sqrt{\sum_{k=1}^n U_{C_k}^2}} \cdot 100\% . (4.27)$$

В приложении работы приведены результаты моделирования технических состояний $S_{3,1} - S_{3,30}$. Для каждого смоделированного технического состояния определены коэффициенты гармонических составляющих напряжений фаз «А», «В», «С», $K_{U_{A_k}}$, $K_{U_{B_k}}$, $K_{U_{C_k}}$, коэффициенты искажений напряжений фаз «А», «В», «С» K_{U_A} , K_{U_B} , K_{U_C} , действующие значения напряжений фаз «А», «В», «С» U_A , U_B , U_C , составляющие напряжений постоянного тока U_{A_0} , U_{B_0} , U_{C_0} напряжений фаз «А», «В», «С» в точке регулирования.

4.1 Определение различающих функций технических состояний $S_{3,1} - S_{3,30}$

С учётом полученных результатов при моделировании технических состояний канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты, далее определим различающие функции для каждого отдельного технического состояния из расширенного множества технических канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты.

Различающая функция для технического состояния $S_{3,1}$:

$$F_{3,1} \left(F_{AS_{3,1}}, F_{BS_{3,1}}, F_{CS_{3,1}} \right) = F_{AS_{3,1}} \wedge F_{BS_{3,1}} \wedge F_{CS_{3,1}}, \quad (4.28)$$

где $F_{AS_{3,1}}$ – различающая функция напряжения фазы «А» для технического состояния

$S_{3,1}$;

$$\begin{aligned} F_{AS_{3,1}} &= F_{AS_{3,1}} \left(K_{UA_2}, K_{UA_3}, K_{UA_4}, \dots, K_{UA_{40}}, K_{UA}, U_A \right) = \\ &= \left(K_{UA_{2,S_{3,1}}} - \Delta K_{UA_{2,S_{3,1}}} \leq K_{UA_2} \leq K_{UA_{2,S_{3,1}}} + \Delta K_{UA_{2,S_{3,1}}} \right) \wedge \left(K_{UA_{3,S_{3,1}}} - \Delta K_{UA_{3,S_{3,1}}} \leq \right. \\ &\leq K_{UA_3} \leq K_{UA_{3,S_{3,1}}} + \Delta K_{UA_{3,S_{3,1}}} \left. \right) \wedge \left(K_{UA_{4,S_{3,1}}} - \Delta K_{UA_{4,S_{3,1}}} \leq K_{UA_4} \leq K_{UA_{4,S_{3,1}}} + \right. \\ &\left. + \Delta K_{UA_{4,S_{3,1}}} \right) \wedge \dots \wedge \left(K_{UA_{h,S_{3,1}}} - \Delta K_{UA_{h,S_{3,1}}} \leq K_{UA_h} \leq K_{UA_{h,S_{3,1}}} + \Delta K_{UA_{h,S_{3,1}}} \right) \wedge \dots \wedge \\ &\wedge \left(K_{UA_{40,S_{3,1}}} - \Delta K_{UA_{40,S_{3,1}}} \leq K_{UA_{40}} \leq K_{UA_{40,S_{3,1}}} + \Delta K_{UA_{40,S_{3,1}}} \right) \wedge \left(K_{U_{AS_{3,1}}} - \Delta K_{U_{AS_{3,1}}} \leq \right. \\ &\left. \leq K_{U_A} \leq K_{U_{AS_{3,1}}} + \Delta K_{U_{AS_{3,1}}} \right) \wedge \left(U_{AS_{3,1}} - \Delta U_{AS_{3,1}} \leq U_A \leq U_{AS_{3,1}} + \Delta U_{AS_{3,1}} \right) \end{aligned} \quad (4.29)$$

$K_{UA_{2,S_{3,1}}}, K_{UA_{3,S_{3,1}}}, K_{UA_{4,S_{3,1}}}, \dots, K_{UA_{h,S_{3,1}}}, \dots, K_{UA_{40,S_{3,1}}}$ – значения коэффициентов соответственно для 2-ой, 3-ей, 4-ой, ..., h-той, ..., 40-ой гармонических составляющих напряжения фазы «А» для технического состояния $S_{3,1}$ (приведены в приложении).

$K_{U_{AS_{3,1}}}$ – значение коэффициента искажений напряжения фазы «А» для технического состояния $S_{3,1}$ (приведено в приложении).

$U_{AS_{3,1}}$ – действующее значение напряжения фазы «А» для технического состояния $S_{3,1}$ (приведено в приложении).

$\Delta K_{UA_{2,S_{3,1}}}, \Delta K_{UA_{3,S_{3,1}}}, \Delta K_{UA_{4,S_{3,1}}}, \dots, \Delta K_{UA_{h,S_{3,1}}}, \dots, \Delta K_{UA_{40,S_{3,1}}}$ – значения приращений относительно средних значений коэффициентов соответственно для 2-ой, 3-ей, 4-ой, ..., h-той, ..., 40-ой гармонических составляющих напряжения фазы «А» для технического состояния $S_{3,1}$ (приведены в приложении).

$\Delta K_{U_{AS_{3,1}}}$ – значение приращения относительно среднего значения коэффициента искажений напряжения фазы «А» для технического состояния $S_{3,1}$ (приведено в приложении).

$\Delta U_{AS_{3,1}}$ – значение приращения относительно среднего значения действующего напряжения фазы «А» для технического состояния $S_{3,1}$ (приведено в приложении).

$F_{BS_{3,1}}$ – различающая функция напряжения фазы «В» для технического состояния $S_{3,1}$;

$$\begin{aligned}
 F_{BS_{3,1}} &= F_{BS_{3,1}} \left(K_{UB_2}, K_{UB_3}, K_{UB_4}, \dots, K_{UB_{40}}, K_{UB}, U_B \right) = \\
 &= \left(K_{UB_{2,S_{3,1}}} - \Delta K_{UB_{2,S_{3,1}}} \leq K_{UB_2} \leq K_{UB_{2,S_{3,1}}} + \Delta K_{UB_{2,S_{3,1}}} \right) \wedge \left(K_{UB_{3,S_{3,1}}} - \Delta K_{UB_{3,S_{3,1}}} \leq \right. \\
 &\leq K_{UB_3} \leq K_{UB_{3,S_{3,1}}} + \Delta K_{UB_{3,S_{3,1}}} \left. \right) \wedge \left(K_{UB_{4,S_{3,1}}} - \Delta K_{UB_{4,S_{3,1}}} \leq K_{UB_4} \leq K_{UB_{4,S_{3,1}}} + \right. \\
 &\left. + \Delta K_{UB_{4,S_{3,1}}} \right) \wedge \dots \wedge \left(K_{UB_{h,S_{3,1}}} - \Delta K_{UB_{h,S_{3,1}}} \leq K_{UB_h} \leq K_{UB_{h,S_{3,1}}} + \Delta K_{UB_{h,S_{3,1}}} \right) \wedge \dots \wedge \\
 &\wedge \left(K_{UB_{40,S_{3,1}}} - \Delta K_{UB_{40,S_{3,1}}} \leq K_{UB_{40}} \leq K_{UB_{40,S_{3,1}}} + \Delta K_{UB_{40,S_{3,1}}} \right) \wedge \left(K_{UB_{S_{3,1}}} - \Delta K_{UB_{S_{3,1}}} \leq \right. \\
 &\left. \leq K_{UB} \leq K_{UB_{S_{3,1}}} + \Delta K_{UB_{S_{3,1}}} \right) \wedge \left(U_{BS_{3,1}} - \Delta U_{BS_{3,1}} \leq U_B \leq U_{BS_{3,1}} + \Delta U_{BS_{3,1}} \right)
 \end{aligned}$$

(4.30)

$K_{UB_{2,S_{3,1}}}, K_{UB_{3,S_{3,1}}}, K_{UB_{4,S_{3,1}}}, \dots, K_{UB_{h,S_{3,1}}}, \dots, K_{UB_{40,S_{3,1}}}$ – значения коэффициентов соответственно для 2-ой, 3-ей, 4-ой, ..., h-той, ..., 40-ой гармонических составляющих напряжения фазы «В» для технического состояния $S_{3,1}$ (приведены в приложении).

$K_{UB_{S_{3,1}}}$ – значение коэффициента искажений напряжения фазы «В» для технического состояния $S_{3,1}$ (приведено в приложении).

$U_{BS_{3,1}}$ – действующее значение напряжения фазы «В» для технического состояния $S_{3,1}$ (приведено в приложении).

$\Delta K_{UB_{2,S_{3,1}}}, \Delta K_{UB_{3,S_{3,1}}}, \Delta K_{UB_{4,S_{3,1}}}, \dots, \Delta K_{UB_{h,S_{3,1}}}, \dots, \Delta K_{UB_{40,S_{3,1}}}$ – значения приращений относительно средних значений коэффициентов соответственно для 2-ой, 3-ей, 4-ой, ..., h-той, ..., 40-ой гармонических составляющих напряжения фазы «В» для технического состояния $S_{3,1}$ (приведены в приложении).

$\Delta K_{UB_{S_{3,1}}}$ – значение приращения относительно среднего значения коэффициента искажений напряжения фазы «В» для технического состояния $S_{3,1}$ (приведено в приложении).

$\Delta U_{BS_{3,1}}$ – значение приращения относительно среднего значения действующего напряжения фазы «В» для технического состояния $S_{3,1}$ (приведено в приложении).

$F_{CS_{3,1}}$ – различающая функция напряжения фазы «С» для технического состояния $S_{3,1}$;

$$\begin{aligned}
 F_{CS_{3,1}} &= F_{CS_{3,1}}(K_{UC_2}, K_{UC_3}, K_{UC_4}, \dots, K_{UC_{40}}, K_{UC}, U_C) = \\
 &= \left(K_{UC_{2,S_{3,1}}} - \Delta K_{UC_{2,S_{3,1}}} \leq K_{UC_2} \leq K_{UC_{2,S_{3,1}}} + \Delta K_{UC_{2,S_{3,1}}} \right) \wedge \left(K_{UC_{3,S_{3,1}}} - \Delta K_{UC_{3,S_{3,1}}} \leq \right. \\
 &\leq K_{UC_3} \leq K_{UC_{3,S_{3,1}}} + \Delta K_{UC_{3,S_{3,1}}} \left. \right) \wedge \left(K_{UC_{4,S_{3,1}}} - \Delta K_{UC_{4,S_{3,1}}} \leq K_{UC_4} \leq K_{UC_{4,S_{3,1}}} + \right. \\
 &\left. + \Delta K_{UC_{4,S_{3,1}}} \right) \wedge \dots \wedge \left(K_{UC_{h,S_{3,1}}} - \Delta K_{UC_{h,S_{3,1}}} \leq K_{UC_h} \leq K_{UC_{h,S_{3,1}}} + \Delta K_{UC_{h,S_{3,1}}} \right) \wedge \dots \wedge \\
 &\wedge \left(K_{UC_{40,S_{3,1}}} - \Delta K_{UC_{40,S_{3,1}}} \leq K_{UC_{B40}} \leq K_{UC_{40,S_{3,1}}} + \Delta K_{UC_{40,S_{3,1}}} \right) \wedge \left(K_{UC_{S_{3,1}}} - \Delta K_{UC_{S_{3,1}}} \leq \right. \\
 &\left. \leq K_{UC} \leq K_{UC_{S_{3,1}}} + \Delta K_{UC_{S_{3,1}}} \right) \wedge \left(U_{CS_{3,1}} - \Delta U_{CS_{3,1}} \leq U_C \leq U_{CS_{3,1}} + \Delta U_{CS_{3,1}} \right)
 \end{aligned}
 \tag{4.31}$$

$K_{UC_{2,S_{3,1}}}, K_{UC_{3,S_{3,1}}}, K_{UC_{4,S_{3,1}}}, \dots, K_{UC_{h,S_{3,1}}}, \dots, K_{UC_{40,S_{3,1}}}$ – значения коэффициентов соответственно для 2-ой, 3-ей, 4-ой, ..., h-той, ..., 40-ой гармонических составляющих напряжения фазы «С» для технического состояния $S_{3,1}$ (приведены в приложении).

$K_{UC_{S_{3,1}}}$ – значение коэффициента искажений напряжения фазы «С» для технического состояния $S_{3,1}$ (приведено в приложении).

$U_{CS_{3,1}}$ – действующее значение напряжения фазы «С» для технического состояния $S_{3,1}$ (приведено в приложении).

$\Delta K_{UC_{2,S_{3,1}}}, \Delta K_{UC_{3,S_{3,1}}}, \Delta K_{UC_{4,S_{3,1}}}, \dots, \Delta K_{UC_{h,S_{3,1}}}, \dots, \Delta K_{UC_{40,S_{3,1}}}$ – значения приращений относительно средних значений коэффициентов соответственно для 2-ой, 3-ей, 4-ой, ..., h-той, ..., 40-ой гармонических составляющих напряжения фазы «С» для технического состояния $S_{3,1}$ (приведены в приложении).

$\Delta K_{UC_{S_{3,1}}}$ – значение приращения относительно среднего значения коэффициента искажений напряжения фазы «С» для технического состояния $S_{3,1}$ (приведено в приложении).

$\Delta U_{C_{S_{3,1}}}$ – значение приращения относительно среднего значения действующего напряжения фазы «С» для технического состояния $S_{3,1}$ (приведено в приложении).

Различающая функция для технического состояния $S_{3,2}$:

$$F_{3,2}(F_{AS_{3,2}}, F_{BS_{3,2}}, F_{CS_{3,2}}) = F_{AS_{3,2}} \wedge F_{BS_{3,2}} \wedge F_{CS_{3,2}}, \quad (4.32)$$

где $F_{AS_{3,2}}$ – различающая функция напряжения фазы «А» для технического состояния $S_{3,2}$;

$$\begin{aligned} F_{AS_{3,2}} &= F_{AS_{3,2}}(K_{U_{A_2}}, K_{U_{A_3}}, K_{U_{A_4}}, \dots, K_{U_{A_{40}}}, K_{U_A}, U_A) = \\ &= \left(K_{U_{A_2, S_{3,2}}} - \Delta K_{U_{A_2, S_{3,2}}} \leq K_{U_{A_2}} \leq K_{U_{A_2, S_{3,2}}} + \Delta K_{U_{A_2, S_{3,2}}} \right) \wedge \left(K_{U_{A_3, S_{3,2}}} - \Delta K_{U_{A_3, S_{3,2}}} \leq \right. \\ &\leq K_{U_{A_3}} \leq K_{U_{A_3, S_{3,2}}} + \Delta K_{U_{A_3, S_{3,2}}} \left. \right) \wedge \left(K_{U_{A_4, S_{3,2}}} - \Delta K_{U_{A_4, S_{3,2}}} \leq K_{U_{A_4}} \leq K_{U_{A_4, S_{3,2}}} + \right. \\ &\left. + \Delta K_{U_{A_4, S_{3,2}}} \right) \wedge \dots \wedge \left(K_{U_{A_h, S_{3,2}}} - \Delta K_{U_{A_h, S_{3,2}}} \leq K_{U_{A_h}} \leq K_{U_{A_h, S_{3,2}}} + \Delta K_{U_{A_h, S_{3,2}}} \right) \wedge \dots \wedge \\ &\wedge \left(K_{U_{A_{40}, S_{3,2}}} - \Delta K_{U_{A_{40}, S_{3,2}}} \leq K_{U_{A_{40}}} \leq K_{U_{A_{40}, S_{3,2}}} + \Delta K_{U_{A_{40}, S_{3,2}}} \right) \wedge \left(K_{U_{AS_{3,2}}} - \Delta K_{U_{AS_{3,2}}} \leq \right. \\ &\left. \leq K_{U_A} \leq K_{U_{AS_{3,2}}} + \Delta K_{U_{AS_{3,2}}} \right) \wedge \left(U_{AS_{3,2}} - \Delta U_{AS_{3,2}} \leq U_A \leq U_{AS_{3,2}} + \Delta U_{AS_{3,2}} \right) \end{aligned} \quad (4.33)$$

$K_{U_{A_2, S_{3,2}}}$, $K_{U_{A_3, S_{3,2}}}$, $K_{U_{A_4, S_{3,2}}}$, ..., $K_{U_{A_h, S_{3,2}}}$, ..., $K_{U_{A_{40}, S_{3,2}}}$ – значения коэффициентов соответственно для 2-ой, 3-ей, 4-ой, ..., h-той, ..., 40-ой гармонических составляющих напряжения фазы «А» для технического состояния $S_{3,2}$ (приведены в приложении).

$K_{U_{AS_{3,2}}}$ – значение коэффициента искажений напряжения фазы «А» для технического состояния $S_{3,2}$ (приведено в приложении).

$U_{AS_{3,2}}$ – действующее значение напряжения фазы «А» для технического состояния $S_{3,2}$ (приведено в приложении).

$\Delta K_{U_{A_2, S_{3,2}}}$, $\Delta K_{U_{A_3, S_{3,2}}}$, $\Delta K_{U_{A_4, S_{3,2}}}$, ..., $\Delta K_{U_{A_h, S_{3,2}}}$, ..., $\Delta K_{U_{A_{40}, S_{3,2}}}$ – значения приращений относительно средних значений коэффициентов соответственно для 2-ой, 3-ей, 4-

ой,..., h-той,..., 40-ой гармонических составляющих напряжения фазы «А» для технического состояния $S_{3,2}$ (приведены в приложении).

$\Delta K_{U_{AS_{3,2}}}$ – значение приращения относительно среднего значения коэффициента

искажений напряжения фазы «А» для технического состояния $S_{3,2}$ (приведено в приложении).

$\Delta U_{AS_{3,2}}$ – значение приращения относительно среднего значения действующего напряжения фазы «А» для технического состояния $S_{3,2}$ (приведено в приложении).

$F_{BS_{3,2}}$ – различающая функция напряжения фазы «В» для технического состояния $S_{3,2}$;

$$\begin{aligned}
 F_{BS_{3,2}} &= F_{BS_{3,2}} \left(K_{UB_2}, K_{UB_3}, K_{UB_4}, \dots, K_{UB_{40}}, K_{UB}, U_B \right) = \\
 &= \left(K_{UB_{2,S_{3,2}}} - \Delta K_{UB_{2,S_{3,2}}} \leq K_{UB_2} \leq K_{UB_{2,S_{3,2}}} + \Delta K_{UB_{2,S_{3,2}}} \right) \wedge \left(K_{UB_{3,S_{3,2}}} - \Delta K_{UB_{3,S_{3,2}}} \leq \right. \\
 &\leq K_{UB_3} \leq K_{UB_{3,S_{3,2}}} + \Delta K_{UB_{3,S_{3,2}}} \left. \right) \wedge \left(K_{UB_{4,S_{3,2}}} - \Delta K_{UB_{4,S_{3,2}}} \leq K_{UB_4} \leq K_{UB_{4,S_{3,2}}} + \right. \\
 &\left. + \Delta K_{UB_{4,S_{3,2}}} \right) \wedge \dots \wedge \left(K_{UB_{h,S_{3,2}}} - \Delta K_{UB_{h,S_{3,2}}} \leq K_{UB_h} \leq K_{UB_{h,S_{3,2}}} + \Delta K_{UB_{h,S_{3,2}}} \right) \wedge \dots \wedge \\
 &\wedge \left(K_{UB_{40,S_{3,2}}} - \Delta K_{UB_{40,S_{3,2}}} \leq K_{UB_{40}} \leq K_{UB_{40,S_{3,2}}} + \Delta K_{UB_{40,S_{3,2}}} \right) \wedge \left(K_{UB_{S_{3,2}}} - \Delta K_{UB_{S_{3,2}}} \leq \right. \\
 &\left. \leq K_{UB} \leq K_{UB_{S_{3,2}}} + \Delta K_{UB_{S_{3,2}}} \right) \wedge \left(U_{BS_{3,2}} - \Delta U_{BS_{3,2}} \leq U_B \leq U_{BS_{3,2}} + \Delta U_{BS_{3,2}} \right)
 \end{aligned}$$

(4.34)

$K_{UB_{2,S_{3,2}}}, K_{UB_{3,S_{3,2}}}, K_{UB_{4,S_{3,2}}}, \dots, K_{UB_{h,S_{3,2}}}, \dots, K_{UB_{40,S_{3,2}}}$ – значения коэффициентов

соответственно для 2-ой, 3-ей, 4-ой,..., h-той,..., 40-ой гармонических составляющих напряжения фазы «В» для технического состояния $S_{3,2}$ (приведены в приложении).

$K_{UB_{S_{3,2}}}$ – значение коэффициента искажений напряжения фазы «В» для технического состояния $S_{3,2}$ (приведено в приложении).

$U_{BS_{3,2}}$ – действующее значение напряжения фазы «В» для технического состояния $S_{3,2}$ (приведено в приложении).

$\Delta K_{UB_{2,S_{3,2}}}, \Delta K_{UB_{3,S_{3,2}}}, \Delta K_{UB_{4,S_{3,2}}}, \dots, \Delta K_{UB_{h,S_{3,2}}}, \dots, \Delta K_{UB_{40,S_{3,2}}}$ – значения

приращений относительно средних значений коэффициентов соответственно для 2-ой, 3-ей, 4-ой,..., h-той,..., 40-ой гармонических составляющих напряжения фазы «В» для технического состояния $S_{3,2}$ (приведены в приложении).

$\Delta K_{U_{BS_{3,2}}}$ – значение приращения относительно среднего значения коэффициента искажений напряжения фазы «В» для технического состояния $S_{3,2}$ (приведено в приложении).

$\Delta U_{BS_{3,2}}$ – значение приращения относительно среднего значения действующего напряжения фазы «В» для технического состояния $S_{3,2}$ (приведено в приложении).

$F_{CS_{3,2}}$ – различающая функция напряжения фазы «С» для технического состояния $S_{3,2}$;

$$\begin{aligned}
 F_{CS_{3,2}} &= F_{CS_{3,2}}(K_{UC_2}, K_{UC_3}, K_{UC_4}, \dots, K_{UC_{40}}, K_{UC}, U_C) = \\
 &= \left(K_{UC_{2,S_{3,2}}} - \Delta K_{UC_{2,S_{3,2}}} \leq K_{UC_2} \leq K_{UC_{2,S_{3,2}}} + \Delta K_{UC_{2,S_{3,2}}} \right) \wedge \left(K_{UC_{3,S_{3,2}}} - \Delta K_{UC_{3,S_{3,2}}} \leq \right. \\
 &\leq K_{UC_3} \leq K_{UC_{3,S_{3,2}}} + \Delta K_{UC_{3,S_{3,2}}} \left. \right) \wedge \left(K_{UC_{4,S_{3,2}}} - \Delta K_{UC_{4,S_{3,2}}} \leq K_{UC_4} \leq K_{UC_{4,S_{3,2}}} + \right. \\
 &\left. + \Delta K_{UC_{4,S_{3,2}}} \right) \wedge \dots \wedge \left(K_{UC_{h,S_{3,2}}} - \Delta K_{UC_{h,S_{3,2}}} \leq K_{UC_h} \leq K_{UC_{h,S_{3,2}}} + \Delta K_{UC_{h,S_{3,2}}} \right) \wedge \dots \wedge \\
 &\wedge \left(K_{UC_{40,S_{3,2}}} - \Delta K_{UC_{40,S_{3,2}}} \leq K_{UC_{40}} \leq K_{UC_{40,S_{3,2}}} + \Delta K_{UC_{40,S_{3,2}}} \right) \wedge \left(K_{UC_{S_{3,2}}} - \Delta K_{UC_{S_{3,2}}} \leq \right. \\
 &\left. \leq K_{UC} \leq K_{UC_{S_{3,2}}} + \Delta K_{UC_{S_{3,2}}} \right) \wedge \left(U_{CS_{3,2}} - \Delta U_{CS_{3,2}} \leq U_C \leq U_{CS_{3,2}} + \Delta U_{CS_{3,2}} \right)
 \end{aligned}
 \tag{4.35}$$

$K_{UC_{2,S_{3,2}}}, K_{UC_{3,S_{3,2}}}, K_{UC_{4,S_{3,2}}}, \dots, K_{UC_{h,S_{3,2}}}, \dots, K_{UC_{40,S_{3,2}}}$ – значения коэффициентов соответственно для 2-ой, 3-ей, 4-ой, ..., h-той, ..., 40-ой гармонических составляющих напряжения фазы «С» для технического состояния $S_{3,2}$ (приведены в приложении).

$K_{UC_{S_{3,2}}}$ – значение коэффициента искажений напряжения фазы «С» для технического состояния $S_{3,2}$ (приведено в приложении).

$U_{CS_{3,2}}$ – действующее значение напряжения фазы «С» для технического состояния $S_{3,2}$ (приведено в приложении).

$\Delta K_{UC_{2,S_{3,2}}}, \Delta K_{UC_{3,S_{3,2}}}, \Delta K_{UC_{4,S_{3,2}}}, \dots, \Delta K_{UC_{h,S_{3,2}}}, \dots, \Delta K_{UC_{40,S_{3,2}}}$ – значения приращений относительно средних значений коэффициентов соответственно для 2-ой, 3-ей, 4-ой, ..., h-той, ..., 40-ой гармонических составляющих напряжения фазы «С» для технического состояния $S_{3,2}$ (приведены в приложении).

$\Delta K_{UCS_{3,2}}$ – значение приращения относительно среднего значения коэффициента искажений напряжения фазы «С» для технического состояния $S_{3,2}$ (приведено в приложении).

$\Delta U_{CS_{3,2}}$ – значение приращения относительно среднего значения действующего напряжения фазы «С» для технического состояния $S_{3,2}$ (приведено в приложении).

Различающая функция для технического состояния $S_{3,3}$:

$$F_{3,3}(F_{AS_{3,3}}, F_{BS_{3,3}}, F_{CS_{3,3}}) = F_{AS_{3,3}} \wedge F_{BS_{3,3}} \wedge F_{CS_{3,3}}, \quad (4.36)$$

где $F_{AS_{3,3}}$ – различающая функция напряжения фазы «А» для технического состояния $S_{3,3}$;

$$\begin{aligned} F_{AS_{3,3}} &= F_{AS_{3,3}}(K_{UA_2}, K_{UA_3}, K_{UA_4}, \dots, K_{UA_{40}}, K_{UA}, U_A) = \\ &= \left(K_{UA_{2,S_{3,3}}} - \Delta K_{UA_{2,S_{3,3}}} \leq K_{UA_2} \leq K_{UA_{2,S_{3,3}}} + \Delta K_{UA_{2,S_{3,3}}} \right) \wedge \left(K_{UA_{3,S_{3,3}}} - \Delta K_{UA_{3,S_{3,3}}} \leq \right. \\ &\leq K_{UA_3} \leq K_{UA_{3,S_{3,3}}} + \Delta K_{UA_{3,S_{3,3}}} \left. \right) \wedge \left(K_{UA_{4,S_{3,3}}} - \Delta K_{UA_{4,S_{3,3}}} \leq K_{UA_4} \leq K_{UA_{4,S_{3,3}}} + \right. \\ &\left. + \Delta K_{UA_{4,S_{3,3}}} \right) \wedge \dots \wedge \left(K_{UA_{h,S_{3,3}}} - \Delta K_{UA_{h,S_{3,3}}} \leq K_{UA_h} \leq K_{UA_{h,S_{3,3}}} + \Delta K_{UA_{h,S_{3,3}}} \right) \wedge \dots \wedge \\ &\wedge \left(K_{UA_{40,S_{3,3}}} - \Delta K_{UA_{40,S_{3,3}}} \leq K_{UA_{40}} \leq K_{UA_{40,S_{3,3}}} + \Delta K_{UA_{40,S_{3,3}}} \right) \wedge \left(K_{U_{AS_{3,3}}} - \Delta K_{U_{AS_{3,3}}} \leq \right. \\ &\left. \leq K_{U_A} \leq K_{U_{AS_{3,3}}} + \Delta K_{U_{AS_{3,3}}} \right) \wedge \left(U_{AS_{3,3}} - \Delta U_{AS_{3,3}} \leq U_A \leq U_{AS_{3,3}} + \Delta U_{AS_{3,3}} \right) \end{aligned} \quad (4.37)$$

$K_{UA_{2,S_{3,3}}}, K_{UA_{3,S_{3,3}}}, K_{UA_{4,S_{3,3}}}, \dots, K_{UA_{h,S_{3,3}}}, \dots, K_{UA_{40,S_{3,3}}}$ – значения коэффициентов соответственно для 2-ой, 3-ей, 4-ой, ..., h-той, ..., 40-ой гармонических составляющих напряжения фазы «А» для технического состояния $S_{3,3}$ (приведены в приложении).

$K_{U_{AS_{3,3}}}$ – значение коэффициента искажений напряжения фазы «А» для технического состояния $S_{3,3}$ (приведено в приложении).

$U_{AS_{3,3}}$ – действующее значение напряжения фазы «А» для технического состояния $S_{3,3}$ (приведено в приложении).

$\Delta K_{U_{A2,S_{3,3}}}$, $\Delta K_{U_{A3,S_{3,3}}}$, $\Delta K_{U_{A4,S_{3,3}}}$, ..., $\Delta K_{U_{Ah,S_{3,3}}}$, ..., $\Delta K_{U_{A40,S_{3,3}}}$ – значения приращений относительно средних значений коэффициентов соответственно для 2-ой, 3-ей, 4-ой, ..., h-той, ..., 40-ой гармонических составляющих напряжения фазы «А» для технического состояния $S_{3,3}$ (приведены в приложении).

$\Delta K_{U_{AS_{3,3}}}$ – значение приращения относительно среднего значения коэффициента искажений напряжения фазы «А» для технического состояния $S_{3,3}$ (приведено в приложении).

$\Delta U_{AS_{3,3}}$ – значение приращения относительно среднего значения действующего напряжения фазы «А» для технического состояния $S_{3,3}$ (приведено в приложении).

$F_{BS_{3,3}}$ – различающая функция напряжения фазы «В» для технического состояния $S_{3,3}$;

$$\begin{aligned}
 F_{BS_{3,3}} &= F_{BS_{3,3}} \left(K_{UB_2}, K_{UB_3}, K_{UB_4}, \dots, K_{UB_{40}}, K_{UB}, U_B \right) = \\
 &= \left(K_{UB_{2,S_{3,3}}} - \Delta K_{UB_{2,S_{3,3}}} \leq K_{UB_2} \leq K_{UB_{2,S_{3,3}}} + \Delta K_{UB_{2,S_{3,3}}} \right) \wedge \left(K_{UB_{3,S_{3,3}}} - \Delta K_{UB_{3,S_{3,3}}} \leq \right. \\
 &\leq K_{UB_3} \leq K_{UB_{3,S_{3,3}}} + \Delta K_{UB_{3,S_{3,3}}} \left. \right) \wedge \left(K_{UB_{4,S_{3,3}}} - \Delta K_{UB_{4,S_{3,3}}} \leq K_{UB_4} \leq K_{UB_{4,S_{3,3}}} + \right. \\
 &\left. + \Delta K_{UB_{4,S_{3,3}}} \right) \wedge \dots \wedge \left(K_{UB_{h,S_{3,3}}} - \Delta K_{UB_{h,S_{3,3}}} \leq K_{UB_h} \leq K_{UB_{h,S_{3,3}}} + \Delta K_{UB_{h,S_{3,3}}} \right) \wedge \dots \wedge \\
 &\wedge \left(K_{UB_{40,S_{3,3}}} - \Delta K_{UB_{40,S_{3,3}}} \leq K_{UB_{40}} \leq K_{UB_{40,S_{3,3}}} + \Delta K_{UB_{40,S_{3,3}}} \right) \wedge \left(K_{UB_{S_{3,3}}} - \Delta K_{UB_{S_{3,3}}} \leq \right. \\
 &\left. \leq K_{UB} \leq K_{UB_{S_{3,3}}} + \Delta K_{UB_{S_{3,3}}} \right) \wedge \left(U_{BS_{3,3}} - \Delta U_{BS_{3,3}} \leq U_B \leq U_{BS_{3,3}} + \Delta U_{BS_{3,3}} \right)
 \end{aligned}$$

(4.38)

$K_{UB_{2,S_{3,3}}}$, $K_{UB_{3,S_{3,3}}}$, $K_{UB_{4,S_{3,3}}}$, ..., $K_{UB_{h,S_{3,3}}}$, ..., $K_{UB_{40,S_{3,3}}}$ – значения коэффициентов соответственно для 2-ой, 3-ей, 4-ой, ..., h-той, ..., 40-ой гармонических составляющих напряжения фазы «В» для технического состояния $S_{3,3}$ (приведены в приложении).

$K_{UB_{S_{3,3}}}$ – значение коэффициента искажений напряжения фазы «В» для технического состояния $S_{3,3}$ (приведено в приложении).

$U_{BS_{3,3}}$ – действующее значение напряжения фазы «В» для технического состояния $S_{3,3}$ (приведено в приложении).

$\Delta K_{UB_{2,S_{3,3}}}$, $\Delta K_{UB_{3,S_{3,3}}}$, $\Delta K_{UB_{4,S_{3,3}}}$, ..., $\Delta K_{UB_{h,S_{3,3}}}$, ..., $\Delta K_{UB_{40,S_{3,3}}}$ – значения

приращений относительно средних значений коэффициентов соответственно для 2-ой, 3-ей, 4-ой, ..., h-той, ..., 40-ой гармонических составляющих напряжения фазы «В» для технического состояния $S_{3,3}$ (приведены в приложении).

$\Delta K_{UB_{S_{3,3}}}$ – значение приращения относительно среднего значения коэффициента искажений напряжения фазы «В» для технического состояния $S_{3,3}$ (приведено в приложении).

$\Delta U_{BS_{3,3}}$ – значение приращения относительно среднего значения действующего напряжения фазы «В» для технического состояния $S_{3,3}$ (приведено в приложении).

$F_{CS_{3,3}}$ – различающая функция напряжения фазы «С» для технического состояния $S_{3,3}$;

$$\begin{aligned}
 F_{CS_{3,3}} &= F_{CS_{3,3}} \left(K_{UC_2}, K_{UC_3}, K_{UC_4}, \dots, K_{UC_{40}}, K_{UC}, U_C \right) = \\
 &= \left(K_{UC_{2,S_{3,3}}} - \Delta K_{UC_{2,S_{3,3}}} \leq K_{UC_2} \leq K_{UC_{2,S_{3,3}}} + \Delta K_{UC_{2,S_{3,3}}} \right) \wedge \left(K_{UC_{3,S_{3,3}}} - \Delta K_{UC_{3,S_{3,3}}} \leq \right. \\
 &\leq K_{UC_3} \leq K_{UC_{3,S_{3,3}}} + \Delta K_{UC_{3,S_{3,3}}} \left. \right) \wedge \left(K_{UC_{4,S_{3,3}}} - \Delta K_{UC_{4,S_{3,3}}} \leq K_{UC_4} \leq K_{UC_{4,S_{3,3}}} + \right. \\
 &\left. + \Delta K_{UC_{4,S_{3,3}}} \right) \wedge \dots \wedge \left(K_{UC_{h,S_{3,3}}} - \Delta K_{UC_{h,S_{3,3}}} \leq K_{UC_h} \leq K_{UC_{h,S_{3,3}}} + \Delta K_{UC_{h,S_{3,3}}} \right) \wedge \dots \wedge \\
 &\wedge \left(K_{UC_{40,S_{3,3}}} - \Delta K_{UC_{40,S_{3,3}}} \leq K_{UC_{40}} \leq K_{UC_{40,S_{3,3}}} + \Delta K_{UC_{40,S_{3,3}}} \right) \wedge \left(K_{UC_{S_{3,3}}} - \Delta K_{UC_{S_{3,3}}} \leq \right. \\
 &\left. \leq K_{UC} \leq K_{UC_{S_{3,3}}} + \Delta K_{UC_{S_{3,3}}} \right) \wedge \left(U_{CS_{3,3}} - \Delta U_{CS_{3,3}} \leq U_C \leq U_{CS_{3,3}} + \Delta U_{CS_{3,3}} \right)
 \end{aligned}$$

(4.39)

$K_{UC_{2,S_{3,3}}}$, $K_{UC_{3,S_{3,3}}}$, $K_{UC_{4,S_{3,3}}}$, ..., $K_{UC_{h,S_{3,3}}}$, ..., $K_{UC_{40,S_{3,3}}}$ – значения коэффициентов соответственно для 2-ой, 3-ей, 4-ой, ..., h-той, ..., 40-ой гармонических составляющих напряжения фазы «С» для технического состояния $S_{3,3}$ (приведены в приложении).

$K_{UC_{S_{3,3}}}$ – значение коэффициента искажений напряжения фазы «С» для технического состояния $S_{3,3}$ (приведено в приложении).

$U_{CS_{3,3}}$ – действующее значение напряжения фазы «С» для технического состояния $S_{3,3}$ (приведено в приложении).

$\Delta K_{UC_{2,S_{3,3}}}$, $\Delta K_{UC_{3,S_{3,3}}}$, $\Delta K_{UC_{4,S_{3,3}}}$, ..., $\Delta K_{UC_{h,S_{3,3}}}$, ..., $\Delta K_{UC_{40,S_{3,3}}}$ – значения

приращений относительно средних значений коэффициентов соответственно для 2-ой, 3-ей, 4-ой, ..., h-той, ..., 40-ой гармонических составляющих напряжения фазы «С» для технического состояния $S_{3,3}$ (приведены в приложении).

$\Delta K_{UC_{S_{3,3}}}$ – значение приращения относительно среднего значения коэффициента искажений напряжения фазы «С» для технического состояния $S_{3,3}$ (приведено в приложении).

$\Delta U_{CS_{3,3}}$ – значение приращения относительно среднего значения действующего напряжения фазы «С» для технического состояния $S_{3,3}$ (приведено в приложении).

Различающая функция для технического состояния $S_{3,k}$:

$$F_{3,k} \left(F_{AS_{3,k}}, F_{BS_{3,k}}, F_{CS_{3,k}} \right) = F_{AS_{3,k}} \wedge F_{BS_{3,k}} \wedge F_{CS_{3,k}}, \quad (4.40)$$

где $F_{AS_{3,k}}$ – различающая функция напряжения фазы «А» для технического состояния

$S_{3,k}$:

$$\begin{aligned} F_{AS_{3,k}} &= F_{AS_{3,k}} \left(K_{UA_2}, K_{UA_3}, K_{UA_4}, \dots, K_{UA_{40}}, K_{UA}, U_A \right) = \\ &= \left(K_{UA_{2,S_{3,k}}} - \Delta K_{UA_{2,S_{3,k}}} \leq K_{UA_2} \leq K_{UA_{2,S_{3,k}}} + \Delta K_{UA_{2,S_{3,k}}} \right) \wedge \left(K_{UA_{3,S_{3,k}}} - \Delta K_{UA_{3,S_{3,k}}} \leq \right. \\ &\leq K_{UA_3} \leq K_{UA_{3,S_{3,k}}} + \Delta K_{UA_{3,S_{3,k}}} \left. \right) \wedge \left(K_{UA_{4,S_{3,k}}} - \Delta K_{UA_{4,S_{3,k}}} \leq K_{UA_4} \leq K_{UA_{4,S_{3,k}}} + \right. \\ &+ \Delta K_{UA_{4,S_{3,k}}} \left. \right) \wedge \dots \wedge \left(K_{UA_{h,S_{3,k}}} - \Delta K_{UA_{h,S_{3,k}}} \leq K_{UA_h} \leq K_{UA_{h,S_{3,k}}} + \Delta K_{UA_{h,S_{3,k}}} \right) \wedge \dots \wedge \\ &\wedge \left(K_{UA_{40,S_{3,k}}} - \Delta K_{UA_{40,S_{3,k}}} \leq K_{UA_{40}} \leq K_{UA_{40,S_{3,k}}} + \Delta K_{UA_{40,S_{3,k}}} \right) \wedge \left(K_{UA_{S_{3,k}}} - \Delta K_{UA_{S_{3,k}}} \leq \right. \\ &\left. \leq K_{UA} \leq K_{UA_{S_{3,k}}} + \Delta K_{UA_{S_{3,k}}} \right) \wedge \left(U_{AS_{3,k}} - \Delta U_{AS_{3,k}} \leq U_A \leq U_{AS_{3,k}} + \Delta U_{AS_{3,k}} \right) \end{aligned}$$

(4.41)

$K_{UA_{2,S_{3,k}}}$, $K_{UA_{3,S_{3,k}}}$, $K_{UA_{4,S_{3,k}}}$, ..., $K_{UA_{h,S_{3,k}}}$, ..., $K_{UA_{40,S_{3,k}}}$ – значения коэффициентов

соответственно для 2-ой, 3-ей, 4-ой, ..., h-той, ..., 40-ой гармонических составляющих напряжения фазы «А» для технического состояния $S_{3,k}$ (приведены в приложении).

$K_{U_{AS_{3,k}}}$ – значение коэффициента искажений напряжения фазы «А» для технического состояния $S_{3,k}$ (приведено в приложении).

$U_{AS_{3,k}}$ – действующее значение напряжения фазы «А» для технического состояния $S_{3,k}$ (приведено в приложении).

$\Delta K_{U_{A2,S_{3,k}}}$, $\Delta K_{U_{A3,S_{3,k}}}$, $\Delta K_{U_{A4,S_{3,k}}}$, ..., $\Delta K_{U_{Ah,S_{3,k}}}$, ..., $\Delta K_{U_{A40,S_{3,k}}}$ – значения приращений относительно средних значений коэффициентов соответственно для 2-ой, 3-ей, 4-ой, ..., h-той, ..., 40-ой гармонических составляющих напряжения фазы «А» для технического состояния $S_{3,k}$ (приведены в приложении).

$\Delta K_{U_{AS_{3,k}}}$ – значение приращения относительно среднего значения коэффициента искажений напряжения фазы «А» для технического состояния $S_{3,k}$ (приведено в приложении).

$\Delta U_{AS_{3,k}}$ – значение приращения относительно среднего значения действующего напряжения фазы «А» для технического состояния $S_{3,k}$ (приведено в приложении).

$F_{BS_{3,k}}$ – различающая функция напряжения фазы «В» для технического состояния $S_{3,k}$;

$$\begin{aligned}
 F_{BS_{3,k}} &= F_{BS_{3,k}} \left(K_{UB_2}, K_{UB_3}, K_{UB_4}, \dots, K_{UB_{40}}, K_{UB}, U_B \right) = \\
 &= \left(K_{UB_{2,S_{3,k}}} - \Delta K_{UB_{2,S_{3,k}}} \leq K_{UB_2} \leq K_{UB_{2,S_{3,k}}} + \Delta K_{UB_{2,S_{3,k}}} \right) \wedge \left(K_{UB_{3,S_{3,k}}} - \Delta K_{UB_{3,S_{3,k}}} \leq \right. \\
 &\leq K_{UB_3} \leq K_{UB_{3,S_{3,k}}} + \Delta K_{UB_{3,S_{3,k}}} \left. \right) \wedge \left(K_{UB_{4,S_{3,k}}} - \Delta K_{UB_{4,S_{3,k}}} \leq K_{UB_4} \leq K_{UB_{4,S_{3,k}}} + \right. \\
 &\left. + \Delta K_{UB_{4,S_{3,k}}} \right) \wedge \dots \wedge \left(K_{UB_{h,S_{3,k}}} - \Delta K_{UB_{h,S_{3,k}}} \leq K_{UB_h} \leq K_{UB_{h,S_{3,k}}} + \Delta K_{UB_{h,S_{3,k}}} \right) \wedge \dots \wedge \\
 &\wedge \left(K_{UB_{40,S_{3,k}}} - \Delta K_{UB_{40,S_{3,k}}} \leq K_{UB_{40}} \leq K_{UB_{40,S_{3,k}}} + \Delta K_{UB_{40,S_{3,k}}} \right) \wedge \left(K_{UB_{S_{3,k}}} - \Delta K_{UB_{S_{3,k}}} \leq \right. \\
 &\left. \leq K_{UB} \leq K_{UB_{S_{3,k}}} + \Delta K_{UB_{S_{3,k}}} \right) \wedge \left(U_{BS_{3,k}} - \Delta U_{BS_{3,k}} \leq U_B \leq U_{BS_{3,k}} + \Delta U_{BS_{3,k}} \right)
 \end{aligned}
 \tag{4.42}$$

$K_{UB_{2,S_{3,k}}}$, $K_{UB_{3,S_{3,k}}}$, $K_{UB_{4,S_{3,k}}}$, ..., $K_{UB_{h,S_{3,k}}}$, ..., $K_{UB_{40,S_{3,k}}}$ – значения коэффициентов соответственно для 2-ой, 3-ей, 4-ой, ..., h-той, ..., 40-ой гармонических составляющих напряжения фазы «В» для технического состояния $S_{3,k}$ (приведены в приложении).

$K_{UB_{S_{3,k}}}$ – значение коэффициента искажений напряжения фазы «В» для технического состояния $S_{3,k}$ (приведено в приложении).

$U_{B_{S_{3,k}}}$ – действующее значение напряжения фазы «В» для технического состояния $S_{3,k}$ (приведено в приложении).

$\Delta K_{UB_{2,S_{3,k}}}$, $\Delta K_{UB_{3,S_{3,k}}}$, $\Delta K_{UB_{4,S_{3,k}}}$, ..., $\Delta K_{UB_{h,S_{3,k}}}$, ..., $\Delta K_{UB_{40,S_{3,k}}}$ – значения приращений относительно средних значений коэффициентов соответственно для 2-ой, 3-ей, 4-ой, ..., h-той, ..., 40-ой гармонических составляющих напряжения фазы «В» для технического состояния $S_{3,k}$ (приведены в приложении).

$\Delta K_{UB_{S_{3,k}}}$ – значение приращения относительно среднего значения коэффициента искажений напряжения фазы «В» для технического состояния $S_{3,k}$ (приведено в приложении).

$\Delta U_{B_{S_{3,k}}}$ – значение приращения относительно среднего значения действующего напряжения фазы «В» для технического состояния $S_{3,k}$ (приведено в приложении).

$F_{CS_{3,k}}$ – различающая функция напряжения фазы «С» для технического состояния $S_{3,k}$;

$$\begin{aligned}
 F_{CS_{3,k}} &= F_{CS_{3,k}}(K_{UC_2}, K_{UC_3}, K_{UC_4}, \dots, K_{UC_{40}}, K_{UC}, U_C) = \\
 &= \left(K_{UC_{2,S_{3,k}}} - \Delta K_{UC_{2,S_{3,k}}} \leq K_{UC_2} \leq K_{UC_{2,S_{3,k}}} + \Delta K_{UC_{2,S_{3,k}}} \right) \wedge \left(K_{UC_{3,S_{3,k}}} - \Delta K_{UC_{3,S_{3,k}}} \leq \right. \\
 &\leq K_{UC_3} \leq K_{UC_{3,S_{3,k}}} + \Delta K_{UC_{3,S_{3,k}}} \left. \right) \wedge \left(K_{UC_{4,S_{3,k}}} - \Delta K_{UC_{4,S_{3,k}}} \leq K_{UC_4} \leq K_{UC_{4,S_{3,k}}} + \right. \\
 &\left. + \Delta K_{UC_{4,S_{3,k}}} \right) \wedge \dots \wedge \left(K_{UC_{h,S_{3,k}}} - \Delta K_{UC_{h,S_{3,k}}} \leq K_{UC_h} \leq K_{UC_{h,S_{3,k}}} + \Delta K_{UC_{h,S_{3,k}}} \right) \wedge \dots \wedge \\
 &\wedge \left(K_{UC_{40,S_{3,k}}} - \Delta K_{UC_{40,S_{3,k}}} \leq K_{UC_{40}} \leq K_{UC_{40,S_{3,k}}} + \Delta K_{UC_{40,S_{3,k}}} \right) \wedge \left(K_{UC_{S_{3,k}}} - \Delta K_{UC_{S_{3,k}}} \leq \right. \\
 &\left. \leq K_{UC} \leq K_{UC_{S_{3,k}}} + \Delta K_{UC_{S_{3,k}}} \right) \wedge \left(U_{CS_{3,k}} - \Delta U_{CS_{3,k}} \leq U_C \leq U_{CS_{3,k}} + \Delta U_{CS_{3,k}} \right)
 \end{aligned}$$

(4.43)

$K_{UC_{2,S_{3,k}}}$, $K_{UC_{3,S_{3,k}}}$, $K_{UC_{4,S_{3,k}}}$, ..., $K_{UC_{h,S_{3,k}}}$, ..., $K_{UC_{40,S_{3,k}}}$ – значения коэффициентов соответственно для 2-ой, 3-ей, 4-ой, ..., h-той, ..., 40-ой гармонических составляющих напряжения фазы «С» для технического состояния $S_{3,k}$ (приведены в приложении).

$K_{UC_{S_{3,k}}}$ – значение коэффициента искажений напряжения фазы «С» для технического состояния $S_{3,k}$ (приведено в приложении).

$U_{CS_{3,k}}$ – действующее значение напряжения фазы «С» для технического состояния $S_{3,k}$ (приведено в приложении).

$\Delta K_{UC_{2,S_{3,k}}}$, $\Delta K_{UC_{3,S_{3,k}}}$, $\Delta K_{UC_{4,S_{3,k}}}$, ..., $\Delta K_{UC_{h,S_{3,k}}}$, ..., $\Delta K_{UC_{40,S_{3,k}}}$ – значения приращений относительно средних значений коэффициентов соответственно для 2-ой, 3-ей, 4-ой, ..., h-той, ..., 40-ой гармонических составляющих напряжения фазы «С» для технического состояния $S_{3,k}$ (приведены в приложении).

$\Delta K_{UC_{S_{3,k}}}$ – значение приращения относительно среднего значения коэффициента искажений напряжения фазы «С» для технического состояния $S_{3,k}$ (приведено в приложении).

$\Delta U_{CS_{3,k}}$ – значение приращения относительно среднего значения действующего напряжения фазы «С» для технического состояния $S_{3,k}$ (приведено в приложении).

Различающая функция для технического состояния $S_{3,30}$:

$$F_{3,30} \left(F_{AS_{3,30}}, F_{BS_{3,30}}, F_{CS_{3,30}} \right) = F_{AS_{3,30}} \wedge F_{BS_{3,30}} \wedge F_{CS_{3,30}}, \quad (4.44)$$

где $F_{AS_{3,30}}$ – различающая функция напряжения фазы «А» для технического состояния $S_{3,30}$:

$$\begin{aligned} F_{AS_{3,30}} &= F_{AS_{3,30}} \left(K_{UA_2}, K_{UA_3}, K_{UA_4}, \dots, K_{UA_{40}}, K_{UA}, U_A \right) = \\ &= \left(K_{UA_{2,S_{3,30}}} - \Delta K_{UA_{2,S_{3,30}}} \leq K_{UA_2} \leq K_{UA_{2,S_{3,30}}} + \Delta K_{UA_{2,S_{3,30}}} \right) \wedge \left(K_{UA_{3,S_{3,30}}} - \right. \\ &\left. - \Delta K_{UA_{3,S_{3,30}}} \leq K_{UA_3} \leq K_{UA_{3,S_{3,30}}} + \Delta K_{UA_{3,S_{3,30}}} \right) \wedge \left(K_{UA_{4,S_{3,30}}} - \Delta K_{UA_{4,S_{3,30}}} \leq K_{UA_4} \leq \right. \\ &\left. \leq K_{UA_{4,S_{3,30}}} + \Delta K_{UA_{4,S_{3,30}}} \right) \wedge \dots \wedge \left(K_{UA_{h,S_{3,30}}} - \Delta K_{UA_{h,S_{3,30}}} \leq K_{UA_h} \leq K_{UA_{h,S_{3,30}}} + \right. \\ &\left. + \Delta K_{UA_{h,S_{3,30}}} \right) \wedge \dots \wedge \left(K_{UA_{40,S_{3,30}}} - \Delta K_{UA_{40,S_{3,30}}} \leq K_{UA_{40}} \leq K_{UA_{40,S_{3,30}}} + \Delta K_{UA_{40,S_{3,30}}} \right) \wedge \\ &\wedge \left(K_{UA_{S_{3,30}}} - \Delta K_{UA_{S_{3,30}}} \leq K_{UA} \leq K_{UA_{S_{3,30}}} + \Delta K_{UA_{S_{3,30}}} \right) \wedge \left(U_{AS_{3,30}} - \Delta U_{AS_{3,30}} \leq U_A \leq \right. \\ &\left. \leq U_{AS_{3,30}} + \Delta U_{AS_{3,30}} \right) \end{aligned}$$

(4.45)

$K_{U_{A_2, S_{3,30}}}$, $K_{U_{A_3, S_{3,30}}}$, $K_{U_{A_4, S_{3,30}}}$, ..., $K_{U_{A_h, S_{3,30}}}$, ..., $K_{U_{A_{40}, S_{3,30}}}$ – значения коэффициентов соответственно для 2-ой, 3-ей, 4-ой, ..., h-той, ..., 40-ой гармонических составляющих напряжения фазы «А» для технического состояния $S_{3,30}$ (приведены в приложении).

$K_{U_{AS_{3,30}}}$ – значение коэффициента искажений напряжения фазы «А» для технического состояния $S_{3,30}$ (приведено в приложении).

$U_{AS_{3,30}}$ – действующее значение напряжения фазы «А» для технического состояния $S_{3,30}$ (приведено в приложении).

$\Delta K_{U_{A_2, S_{3,30}}}$, $\Delta K_{U_{A_3, S_{3,30}}}$, $\Delta K_{U_{A_4, S_{3,30}}}$, ..., $\Delta K_{U_{A_h, S_{3,30}}}$, ..., $\Delta K_{U_{A_{40}, S_{3,30}}}$ – значения приращений относительно средних значений коэффициентов соответственно для 2-ой, 3-ей, 4-ой, ..., h-той, ..., 40-ой гармонических составляющих напряжения фазы «А» для технического состояния $S_{3,30}$ (приведены в приложении).

$\Delta K_{U_{AS_{3,30}}}$ – значение приращения относительно среднего значения коэффициента искажений напряжения фазы «А» для технического состояния $S_{3,30}$ (приведено в приложении).

$\Delta U_{AS_{3,30}}$ – значение приращения относительно среднего значения действующего напряжения фазы «А» для технического состояния $S_{3,30}$ (приведено в приложении).

$F_{BS_{3,30}}$ – различающая функция напряжения фазы «В» для технического состояния $S_{3,30}$;

$$\begin{aligned}
 F_{BS_{3,30}} &= F_{BS_{3,30}} \left(K_{UB_2}, K_{UB_3}, K_{UB_4}, \dots, K_{UB_{40}}, K_{UB}, U_B \right) = \\
 &= \left(K_{UB_2, S_{3,30}} - \Delta K_{UB_2, S_{3,30}} \leq K_{UB_2} \leq K_{UB_2, S_{3,30}} + \Delta K_{UB_2, S_{3,30}} \right) \wedge \left(K_{UB_3, S_{3,30}} - \right. \\
 &\left. - \Delta K_{UB_3, S_{3,30}} \leq K_{UB_3} \leq K_{UB_3, S_{3,30}} + \Delta K_{UB_3, S_{3,30}} \right) \wedge \left(K_{UB_4, S_{3,30}} - \Delta K_{UB_4, S_{3,30}} \leq K_{UB_4} \leq \right. \\
 &\left. \leq K_{UB_4, S_{3,30}} + \Delta K_{UB_4, S_{3,30}} \right) \wedge \dots \wedge \left(K_{UB_h, S_{3,30}} - \Delta K_{UB_h, S_{3,30}} \leq K_{UB_h} \leq K_{UB_h, S_{3,30}} + \right. \\
 &\left. + \Delta K_{UB_h, S_{3,30}} \right) \wedge \dots \wedge \left(K_{UB_{40}, S_{3,30}} - \Delta K_{UB_{40}, S_{3,30}} \leq K_{UB_{40}} \leq K_{UB_{40}, S_{3,30}} + \Delta K_{UB_{40}, S_{3,30}} \right) \wedge
 \end{aligned}$$

$$\wedge \left(K_{UB_{S_{3,30}}} - \Delta K_{UB_{S_{3,30}}} \leq K_{UB} \leq K_{UB_{S_{3,30}}} + \Delta K_{UB_{S_{3,30}}} \right) \wedge \left(U_{B_{S_{3,30}}} - \Delta U_{B_{S_{3,30}}} \leq U_B \leq U_{B_{S_{3,30}}} + \Delta U_{B_{S_{3,30}}} \right),$$

(4.46)

$K_{UB_{2,S_{3,30}}}$, $K_{UB_{3,S_{3,30}}}$, $K_{UB_{4,S_{3,30}}}$, ..., $K_{UB_{h,S_{3,30}}}$, ..., $K_{UB_{40,S_{3,30}}}$ – значения

коэффициентов соответственно для 2-ой, 3-ей, 4-ой, ..., h-той, ..., 40-ой гармонических составляющих напряжения фазы «В» для технического состояния $S_{3,30}$ (приведены в приложении).

$K_{UB_{S_{3,30}}}$ – значение коэффициента искажений напряжения фазы «В» для технического состояния $S_{3,30}$ (приведено в приложении).

$U_{B_{S_{3,30}}}$ – действующее значение напряжения фазы «В» для технического состояния $S_{3,30}$ (приведено в приложении).

$\Delta K_{UB_{2,S_{3,30}}}$, $\Delta K_{UB_{3,S_{3,30}}}$, $\Delta K_{UB_{4,S_{3,30}}}$, ..., $\Delta K_{UB_{h,S_{3,30}}}$, ..., $\Delta K_{UB_{40,S_{3,30}}}$ – значения приращений относительно средних значений коэффициентов соответственно для 2-ой, 3-ей, 4-ой, ..., h-той, ..., 40-ой гармонических составляющих напряжения фазы «В» для технического состояния $S_{3,30}$ (приведены в приложении).

$\Delta K_{UB_{S_{3,30}}}$ – значение приращения относительно среднего значения коэффициента искажений напряжения фазы «В» для технического состояния $S_{3,30}$ (приведено в приложении).

$\Delta U_{B_{S_{3,30}}}$ – значение приращения относительно среднего значения действующего напряжения фазы «В» для технического состояния $S_{3,30}$ (приведено в приложении).

$F_{CS_{3,30}}$ – различающая функция напряжения фазы «С» для технического состояния $S_{3,30}$;

$$F_{CS_{3,30}} = F_{CS_{3,30}} \left(K_{UC_2}, K_{UC_3}, K_{UC_4}, \dots, K_{UC_{40}}, K_{UC}, U_C \right) = \\ = \left(K_{UC_{2,S_{3,30}}} - \Delta K_{UC_{2,S_{3,30}}} \leq K_{UC_2} \leq K_{UC_{2,S_{3,30}}} + \Delta K_{UC_{2,S_{3,30}}} \right) \wedge \left(K_{UC_{3,S_{3,30}}} - \right. \\ \left. - \Delta K_{UC_{3,S_{3,30}}} \leq K_{UC_3} \leq K_{UC_{3,S_{3,30}}} + \Delta K_{UC_{3,S_{3,30}}} \right) \wedge \left(K_{UC_{4,S_{3,30}}} - \Delta K_{UC_{4,S_{3,30}}} \leq K_{UC_4} \leq \right.$$

$$\begin{aligned}
& \leq K_{UC_{4,S_{3,30}}} + \Delta K_{UC_{4,S_{3,30}}} \Big) \wedge \dots \wedge \left(K_{UC_{h,S_{3,30}}} - \Delta K_{UC_{h,S_{3,30}}} \leq K_{UC_h} \leq K_{UC_{h,S_{3,30}}} + \right. \\
& \left. + \Delta K_{UC_{h,S_{3,30}}} \right) \wedge \dots \wedge \left(K_{UC_{40,S_{3,30}}} - \Delta K_{UC_{40,S_{3,30}}} \leq K_{UC_{40}} \leq K_{UC_{40,S_{3,30}}} + \Delta K_{UC_{40,S_{3,30}}} \right) \wedge \\
& \wedge \left(K_{UC_{S_{3,30}}} - \Delta K_{UC_{S_{3,30}}} \leq K_{UC} \leq K_{UC_{S_{3,30}}} + \Delta K_{UC_{S_{3,30}}} \right) \wedge \left(U_{CS_{3,30}} - \Delta U_{CS_{3,30}} \leq U_C \leq \right. \\
& \left. \leq U_{CS_{3,30}} + \Delta U_{CS_{3,30}} \right)
\end{aligned}
\tag{4.47}$$

$K_{UC_{2,S_{3,30}}}$, $K_{UC_{3,S_{3,30}}}$, $K_{UC_{4,S_{3,30}}}$, ..., $K_{UC_{h,S_{3,30}}}$, ..., $K_{UC_{40,S_{3,30}}}$ – значения коэффициентов соответственно для 2-ой, 3-ей, 4-ой, ..., h-той, ..., 40-ой гармонических составляющих напряжения фазы «С» для технического состояния $S_{3,30}$ (приведены в приложении).

$K_{UC_{S_{3,30}}}$ – значение коэффициента искажений напряжения фазы «С» для технического состояния $S_{3,30}$ (приведено в приложении).

$U_{CS_{3,30}}$ – действующее значение напряжения фазы «С» для технического состояния $S_{3,30}$ (приведено в приложении).

$\Delta K_{UC_{2,S_{3,30}}}$, $\Delta K_{UC_{3,S_{3,30}}}$, $\Delta K_{UC_{4,S_{3,30}}}$, ..., $\Delta K_{UC_{h,S_{3,30}}}$, ..., $\Delta K_{UC_{40,S_{3,30}}}$ – значения приращений относительно средних значений коэффициентов соответственно для 2-ой, 3-ей, 4-ой, ..., h-той, ..., 40-ой гармонических составляющих напряжения фазы «С» для технического состояния $S_{3,30}$ (приведены в приложении).

$\Delta K_{UC_{S_{3,30}}}$ – значение приращения относительно среднего значения коэффициента искажений напряжения фазы «С» для технического состояния $S_{3,30}$ (приведено в приложении).

$\Delta U_{CS_{3,30}}$ – значение приращения относительно среднего значения действующего напряжения фазы «С» для технического состояния $S_{3,30}$ (приведено в приложении).

4.2 Прогнозирование технического состояния бортовой СЭС ВС

Задачу прогнозирования технического состояния бортовой СЭС ВС решим как задачу прогнозирования значений определяющих параметров. В качестве определяющих параметров будем рассматривать: $K_{U_{A_2}}, K_{U_{A_3}}, K_{U_{A_4}}, \dots, K_{U_{A_h}}, \dots, K_{U_{A_{40}}}, K_{U_A}, U_A$; $K_{U_{B_2}}, K_{U_{B_3}}, K_{U_{B_4}}, \dots, K_{U_{B_h}}, \dots, K_{U_{B_{40}}}, K_{U_B}, U_B$; $K_{U_{C_2}}, K_{U_{C_3}}, K_{U_{C_4}}, \dots, K_{U_{C_h}}, \dots, K_{U_{C_{40}}}, K_{U_C}, U_C$.

Пусть имеется контролируемый параметр $x(t)$, по значению которого можно судить о состоянии объекта технической эксплуатации. Требуется получить математическое представление для $x(t)$.

Пусть в моменты времени $t_0, t_1, t_2, \dots, t_n$ $x(t)$ принял соответственно значения $x(t_0), x(t_1), x(t_2), \dots, x(t_n)$.

Тогда математическое представление для $x(t)$ можно определить как интерполяционный полином Лагранжа:

$$\begin{aligned}
 x(t) = & \frac{(t-t_1) \cdot (t-t_2) \cdot (t-t_3) \cdot \dots \cdot (t-t_n)}{(t_0-t_1) \cdot (t_0-t_2) \cdot (t_0-t_3) \cdot \dots \cdot (t_0-t_n)} \cdot x(t_0) + \\
 & + \frac{(t-t_0) \cdot (t-t_2) \cdot (t-t_3) \cdot \dots \cdot (t-t_n)}{(t_1-t_0) \cdot (t_1-t_2) \cdot (t_1-t_3) \cdot \dots \cdot (t_1-t_n)} \cdot x(t_1) + \frac{(t-t_0) \cdot (t-t_1) \cdot (t-t_3) \cdot \dots \cdot (t-t_n)}{(t_2-t_0) \cdot (t_2-t_1) \cdot (t_2-t_3) \cdot \dots \cdot (t_2-t_n)} \cdot \\
 & \cdot x(t_2) + \dots + \frac{(t-t_0) \cdot (t-t_1) \cdot (t-t_2) \cdot \dots \cdot (t-t_{k-1}) \cdot (t-t_{k+1}) \cdot \dots \cdot (t-t_n)}{(t_k-t_0) \cdot (t_k-t_1) \cdot (t_k-t_2) \cdot \dots \cdot (t_k-t_{k-1}) \cdot (t_k-t_{k+1}) \cdot \dots \cdot (t_k-t_n)} \cdot x(t_k) + \dots + \\
 & + \frac{(t-t_0) \cdot (t-t_1) \cdot (t-t_3) \cdot \dots \cdot (t-t_{n-1})}{(t_n-t_0) \cdot (t_n-t_1) \cdot (t_n-t_3) \cdot \dots \cdot (t_n-t_{n-1})} \cdot x(t_n)
 \end{aligned}$$

(4.48)

Тогда значение $x(t)$ в последующий момент времени t_{n+1} определится как:

$$x(t) = \sum_{i=0}^n \left(\left(\prod_{k=0, k \neq i}^n \left(\frac{t-t_k}{t_i-t_k} \right) \right) \cdot x(t_k) \right) = \sum_{i=0}^n \left(\left(\prod_{k=0, k \neq i}^n \left(\frac{t - \sum_{j=0}^k \Delta t_j}{\sum_{j=0}^i \Delta t_j - \sum_{j=0}^k \Delta t_j} \right) \right) \cdot x \left(\sum_{j=0}^k \Delta t_j \right) \right),$$

(4.49)

где $t_k = \sum_{j=0}^k \Delta t_j$; $t_i = \sum_{j=0}^i \Delta t_j$.

Тогда для определяющих параметров $K_{U_{A_2}}, K_{U_{A_3}}, K_{U_{A_4}}, \dots, K_{U_{A_h}}, \dots, K_{U_{A_{40}}}, K_{U_A}$,

U_A , получим:

$$\left\{ \begin{array}{l}
 K_{U_{A_2}}(t) = \sum_{i=0}^n \left(\left(\prod_{m=0, m \neq i}^n \left(\frac{t - \sum_{j=0}^m \Delta t_j}{\sum_{j=0}^i \Delta t_j - \sum_{j=0}^m \Delta t_j} \right) \right) \cdot K_{U_{A_2}} \left(\sum_{j=0}^m \Delta t_j \right) \right) \\
 K_{U_{A_3}}(t) = \sum_{i=0}^n \left(\left(\prod_{m=0, m \neq i}^n \left(\frac{t - \sum_{j=0}^m \Delta t_j}{\sum_{j=0}^i \Delta t_j - \sum_{j=0}^m \Delta t_j} \right) \right) \cdot K_{U_{A_3}} \left(\sum_{j=0}^m \Delta t_j \right) \right) \\
 K_{U_{A_4}}(t) = \sum_{i=0}^n \left(\left(\prod_{m=0, m \neq i}^n \left(\frac{t - \sum_{j=0}^m \Delta t_j}{\sum_{j=0}^i \Delta t_j - \sum_{j=0}^m \Delta t_j} \right) \right) \cdot K_{U_{A_4}} \left(\sum_{j=0}^m \Delta t_j \right) \right) \\
 \dots \\
 K_{U_{A_h}}(t) = \sum_{i=0}^n \left(\left(\prod_{m=0, m \neq i}^n \left(\frac{t - \sum_{j=0}^m \Delta t_j}{\sum_{j=0}^i \Delta t_j - \sum_{j=0}^m \Delta t_j} \right) \right) \cdot K_{U_{A_h}} \left(\sum_{j=0}^m \Delta t_j \right) \right) \\
 \dots \\
 K_{U_{A_{40}}}(t) = \sum_{i=0}^n \left(\left(\prod_{m=0, m \neq i}^n \left(\frac{t - \sum_{j=0}^m \Delta t_j}{\sum_{j=0}^i \Delta t_j - \sum_{j=0}^m \Delta t_j} \right) \right) \cdot K_{U_{A_{40}}} \left(\sum_{j=0}^m \Delta t_j \right) \right) \\
 K_{U_A}(t) = \sum_{i=0}^n \left(\left(\prod_{m=0, m \neq i}^n \left(\frac{t - \sum_{j=0}^m \Delta t_j}{\sum_{j=0}^i \Delta t_j - \sum_{j=0}^m \Delta t_j} \right) \right) \cdot K_{U_A} \left(\sum_{j=0}^m \Delta t_j \right) \right) \\
 U_A(t) = \sum_{i=0}^n \left(\left(\prod_{m=0, m \neq i}^n \left(\frac{t - \sum_{j=0}^m \Delta t_j}{\sum_{j=0}^i \Delta t_j - \sum_{j=0}^m \Delta t_j} \right) \right) \cdot U_A \left(\sum_{j=0}^m \Delta t_j \right) \right)
 \end{array} \right. , (4.50)$$

Тогда для определяющих параметров $K_{U_{B_2}}, K_{U_{B_3}}, K_{U_{B_4}}, \dots, K_{U_{B_h}}, \dots, K_{U_{B_{40}}}, K_{U_B}$,

U_B , получим:

$$\left(\begin{array}{l}
 K_{U_{B_2}}(t) = \sum_{i=0}^n \left(\prod_{m=0, m \neq i}^n \left(\frac{t - \sum_{j=0}^m \Delta t_j}{\sum_{j=0}^i \Delta t_j - \sum_{j=0}^m \Delta t_j} \right) \cdot K_{U_{B_2}} \left(\sum_{j=0}^m \Delta t_j \right) \right) \\
 K_{U_{B_3}}(t) = \sum_{i=0}^n \left(\prod_{m=0, m \neq i}^n \left(\frac{t - \sum_{j=0}^m \Delta t_j}{\sum_{j=0}^i \Delta t_j - \sum_{j=0}^m \Delta t_j} \right) \cdot K_{U_{B_3}} \left(\sum_{j=0}^m \Delta t_j \right) \right) \\
 K_{U_{B_4}}(t) = \sum_{i=0}^n \left(\prod_{m=0, m \neq i}^n \left(\frac{t - \sum_{j=0}^m \Delta t_j}{\sum_{j=0}^i \Delta t_j - \sum_{j=0}^m \Delta t_j} \right) \cdot K_{U_{B_4}} \left(\sum_{j=0}^m \Delta t_j \right) \right) \\
 \dots \\
 K_{U_{B_h}}(t) = \sum_{i=0}^n \left(\prod_{m=0, m \neq i}^n \left(\frac{t - \sum_{j=0}^m \Delta t_j}{\sum_{j=0}^i \Delta t_j - \sum_{j=0}^m \Delta t_j} \right) \cdot K_{U_{B_h}} \left(\sum_{j=0}^m \Delta t_j \right) \right) \\
 \dots \\
 K_{U_{B_{40}}}(t) = \sum_{i=0}^n \left(\prod_{m=0, m \neq i}^n \left(\frac{t - \sum_{j=0}^m \Delta t_j}{\sum_{j=0}^i \Delta t_j - \sum_{j=0}^m \Delta t_j} \right) \cdot K_{U_{B_{40}}} \left(\sum_{j=0}^m \Delta t_j \right) \right) \\
 K_{U_B}(t) = \sum_{i=0}^n \left(\prod_{m=0, m \neq i}^n \left(\frac{t - \sum_{j=0}^m \Delta t_j}{\sum_{j=0}^i \Delta t_j - \sum_{j=0}^m \Delta t_j} \right) \cdot K_{U_B} \left(\sum_{j=0}^m \Delta t_j \right) \right) \\
 U_B(t) = \sum_{i=0}^n \left(\prod_{m=0, m \neq i}^n \left(\frac{t - \sum_{j=0}^m \Delta t_j}{\sum_{j=0}^i \Delta t_j - \sum_{j=0}^m \Delta t_j} \right) \cdot U_B \left(\sum_{j=0}^m \Delta t_j \right) \right)
 \end{array} \right), \quad (4.51)$$

Тогда для определяющих параметров $K_{UC_2}, K_{UC_3}, K_{UC_4}, \dots, K_{UC_h}, \dots, K_{UC_{40}}, K_{UC}$,

U_C , получим:

$$\left\{ \begin{array}{l}
 K_{UC_2}(t) = \sum_{i=0}^n \left(\left(\prod_{m=0, m \neq i}^n \left(\frac{t - \sum_{j=0}^m \Delta t_j}{\sum_{j=0}^i \Delta t_j - \sum_{j=0}^m \Delta t_j} \right) \right) \cdot K_{UC_2} \left(\sum_{j=0}^m \Delta t_j \right) \right) \\
 K_{UC_3}(t) = \sum_{i=0}^n \left(\left(\prod_{m=0, m \neq i}^n \left(\frac{t - \sum_{j=0}^m \Delta t_j}{\sum_{j=0}^i \Delta t_j - \sum_{j=0}^m \Delta t_j} \right) \right) \cdot K_{UC_3} \left(\sum_{j=0}^m \Delta t_j \right) \right) \\
 K_{UC_4}(t) = \sum_{i=0}^n \left(\left(\prod_{m=0, m \neq i}^n \left(\frac{t - \sum_{j=0}^m \Delta t_j}{\sum_{j=0}^i \Delta t_j - \sum_{j=0}^m \Delta t_j} \right) \right) \cdot K_{UC_4} \left(\sum_{j=0}^m \Delta t_j \right) \right) \\
 \dots \\
 K_{UC_h}(t) = \sum_{i=0}^n \left(\left(\prod_{m=0, m \neq i}^n \left(\frac{t - \sum_{j=0}^m \Delta t_j}{\sum_{j=0}^i \Delta t_j - \sum_{j=0}^m \Delta t_j} \right) \right) \cdot K_{UC_h} \left(\sum_{j=0}^m \Delta t_j \right) \right) \\
 \dots \\
 K_{UC_{40}}(t) = \sum_{i=0}^n \left(\left(\prod_{m=0, m \neq i}^n \left(\frac{t - \sum_{j=0}^m \Delta t_j}{\sum_{j=0}^i \Delta t_j - \sum_{j=0}^m \Delta t_j} \right) \right) \cdot K_{UC_{40}} \left(\sum_{j=0}^m \Delta t_j \right) \right) \\
 K_{UC}(t) = \sum_{i=0}^n \left(\left(\prod_{m=0, m \neq i}^n \left(\frac{t - \sum_{j=0}^m \Delta t_j}{\sum_{j=0}^i \Delta t_j - \sum_{j=0}^m \Delta t_j} \right) \right) \cdot K_{UC} \left(\sum_{j=0}^m \Delta t_j \right) \right) \\
 U_C(t) = \sum_{i=0}^n \left(\left(\prod_{m=0, m \neq i}^n \left(\frac{t - \sum_{j=0}^m \Delta t_j}{\sum_{j=0}^i \Delta t_j - \sum_{j=0}^m \Delta t_j} \right) \right) \cdot U_C \left(\sum_{j=0}^m \Delta t_j \right) \right)
 \end{array} \right. , (4.52)$$

Полученные выражения (4.50), (4.51), (4.52) позволяют выполнить прогнозирование значений определяющих параметров $K_{U_{A_2}}, K_{U_{A_3}}, K_{U_{A_4}}, \dots, K_{U_{A_h}}, \dots, K_{U_{A_{40}}}, K_{U_A}, U_A;$
 $K_{U_{B_2}}, K_{U_{B_3}}, K_{U_{B_4}}, \dots, K_{U_{B_h}}, \dots, K_{U_{B_{40}}}, K_{U_B}, U_B;$ $K_{U_{C_2}}, K_{U_{C_3}}, K_{U_{C_4}}, \dots, K_{U_{C_h}}, \dots,$
 $K_{U_{C_{40}}}, K_{U_C}, U_C$ в будущие моменты времени по известным прошлым значениям определяющих параметров.

Для диагностирования возможных отказов в будущем, получим различающую функцию появления отказа в момент времени $t_n < t \leq t_{n+1}$ при проведении диагностирования в момент времени $t = t_n$. Для этого необходимо понимать следующее: полученные выражения (4.50), (4.51), (4.52) для прогнозирования значений определяющих параметров являются непрерывными функциями, а это значит, что на временном отрезке $t \in [t_n; t_{n+1}]$ такие функции должны принимать наибольшее и наименьшее значения. Следовательно, в качестве критерия появления отказа на временном отрезке $t \in [t_n; t_{n+1}]$ можно принять нужно принять условие, при котором хотя бы одно наименьшее или наибольшее значение определяющих параметров на временном отрезке $t \in [t_n; t_{n+1}]$ будет соответственно меньше или больше соответствующих значений, определённых для исправного технического состояния. Поэтому, для получения различающей функции появления отказа в момент времени $t_n < t \leq t_{n+1}$ необходимо сначала определить наименьшее и наибольшее значения для каждого определяющего параметра на временном отрезке $t \in [t_n; t_{n+1}]$. Для этого необходимо рассмотреть уравнения:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d}{dt} K_{U_{A_2}}(t) = 0 \\ \frac{d}{dt} K_{U_{A_3}}(t) = 0 \\ \frac{d}{dt} K_{U_{A_4}}(t) = 0 \\ \dots\dots\dots \\ \frac{d}{dt} K_{U_{A_h}}(t) = 0 \\ \dots\dots\dots \\ \frac{d}{dt} K_{U_{A_{40}}}(t) = 0 \\ \frac{d}{dt} K_{U_A}(t) = 0 \\ \frac{d}{dt} U_A(t) = 0 \end{array} \right. , (4.53)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d}{dt} K_{UB_2}(t) = 0 \\ \frac{d}{dt} K_{UB_3}(t) = 0 \\ \frac{d}{dt} K_{UB_4}(t) = 0 \\ \dots \\ \frac{d}{dt} K_{UB_h}(t) = 0 \\ \dots \\ \frac{d}{dt} K_{UB_{40}}(t) = 0 \\ \frac{d}{dt} K_{UB}(t) = 0 \\ \frac{d}{dt} U_B(t) = 0 \end{array} \right. , (4.54)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d}{dt} K_{UC_2}(t) = 0 \\ \frac{d}{dt} K_{UC_3}(t) = 0 \\ \frac{d}{dt} K_{UC_4}(t) = 0 \\ \dots \\ \frac{d}{dt} K_{UC_h}(t) = 0 \\ \dots \\ \frac{d}{dt} K_{UC_{40}}(t) = 0 \\ \frac{d}{dt} K_{UC}(t) = 0 \\ \frac{d}{dt} U_C(t) = 0 \end{array} \right. , (4.55)$$

В результате решения уравнений (4.53), (4.54) и (4.55) определяются моменты времени $t \in [t_n; t_{n+1}]$, соответствующие точкам экстремумов полученных функций прогнозирования определяющих параметров. Далее определяются значения функций прогнозирования определяющих параметров в точках экстремума, а также на концах временного отрезка $[t_n; t_{n+1}]$. Из рассчитанных, таким образом, значений для каждого определяющего параметра выбираются соответственно наименьшее и наибольшее значения.

Определим далее различающую функция исправного состояния части «фидер-генератор».

Различающая функция исправного состояния части «фидер-генератор» $S_{3,0}$:

$$F_{S_{3,0}} \left(F_{A_{S_{3,0}}}, F_{B_{S_{3,0}}}, F_{C_{S_{3,0}}} \right) = F_{A_{S_{3,0}}} \wedge F_{B_{S_{3,0}}} \wedge F_{C_{S_{3,0}}}, \quad (4.56)$$

где $F_{A_{S_{3,0}}}$ – различающая функция напряжения фазы «А» для технического состояния $S_{3,0}$;

$$\begin{aligned} F_{A_{S_{3,0}}} &= F_{A_{S_{3,0}}} \left(K_{U_{A_2}}, K_{U_{A_3}}, K_{U_{A_4}}, \dots, K_{U_{A_{40}}}, K_{U_A}, U_A \right) = \\ &= \left(K_{U_{A_2, S_{3,0}}} - \Delta K_{U_{A_2, S_{3,0}}} \leq K_{U_{A_2}} \leq K_{U_{A_2, S_{3,0}}} + \Delta K_{U_{A_2, S_{3,0}}} \right) \wedge \left(K_{U_{A_3, S_{3,0}}} - \Delta K_{U_{A_3, S_{3,0}}} \leq \right. \\ &\leq K_{U_{A_3}} \leq K_{U_{A_3, S_{3,0}}} + \Delta K_{U_{A_3, S_{3,0}}} \left. \right) \wedge \left(K_{U_{A_4, S_{3,0}}} - \Delta K_{U_{A_4, S_{3,0}}} \leq K_{U_{A_4}} \leq K_{U_{A_4, S_{3,0}}} + \right. \\ &+ \Delta K_{U_{A_4, S_{3,0}}} \left. \right) \wedge \dots \wedge \left(K_{U_{A_h, S_{3,0}}} - \Delta K_{U_{A_h, S_{3,0}}} \leq K_{U_{A_h}} \leq K_{U_{A_h, S_{3,0}}} + \Delta K_{U_{A_h, S_{3,0}}} \right) \wedge \dots \wedge \\ &\wedge \left(K_{U_{A_{40}, S_{3,0}}} - \Delta K_{U_{A_{40}, S_{3,0}}} \leq K_{U_{A_{40}}} \leq K_{U_{A_{40}, S_{3,0}}} + \Delta K_{U_{A_{40}, S_{3,0}}} \right) \wedge \left(K_{U_{A_{S_{3,0}}}} - \Delta K_{U_{A_{S_{3,0}}}} \leq \right. \\ &\left. \leq K_{U_A} \leq K_{U_{A_{S_{3,0}}}} + \Delta K_{U_{A_{S_{3,0}}}} \right) \wedge \left(U_{A_{S_{3,0}}} - \Delta U_{A_{S_{3,0}}} \leq U_A \leq U_{A_{S_{3,0}}} + \Delta U_{A_{S_{3,0}}} \right) \end{aligned} \quad (4.57)$$

$K_{U_{A_2, S_{3,0}}}, K_{U_{A_3, S_{3,0}}}, K_{U_{A_4, S_{3,0}}}, \dots, K_{U_{A_h, S_{3,0}}}, \dots, K_{U_{A_{40}, S_{3,0}}}$ – значения коэффициентов соответственно для 2-ой, 3-ей, 4-ой, ..., h-той, ..., 40-ой гармонических составляющих напряжения фазы «А» для технического состояния $S_{3,0}$ (приведены в приложении).

$K_{U_{A_{S_{3,0}}}}$ – значение коэффициента искажений напряжения фазы «А» для технического состояния $S_{3,0}$ (приведено в приложении).

$U_{A_{S_{3,0}}}$ – действующее значение напряжения фазы «А» для технического состояния $S_{3,0}$ (приведено в приложении).

$\Delta K_{U_{A_2, S_{3,0}}}, \Delta K_{U_{A_3, S_{3,0}}}, \Delta K_{U_{A_4, S_{3,0}}}, \dots, \Delta K_{U_{A_h, S_{3,0}}}, \dots, \Delta K_{U_{A_{40}, S_{3,0}}}$ – значения приращений относительно средних значений коэффициентов соответственно для 2-ой, 3-ей, 4-ой, ..., h-той, ..., 40-ой гармонических составляющих напряжения фазы «А» для технического состояния $S_{3,0}$ (приведены в приложении).

$\Delta K_{U_{A_{S_{3,0}}}}$ – значение приращения относительно среднего значения коэффициента искажений напряжения фазы «А» для технического состояния $S_{3,0}$ (приведено в приложении).

$\Delta U_{AS_{3,0}}$ – значение приращения относительно среднего значения действующего напряжения фазы «А» для технического состояния $S_{3,0}$ (приведено в приложении).

$F_{BS_{3,0}}$ – различающая функция напряжения фазы «В» для технического состояния $S_{3,0}$;

$$\begin{aligned}
 F_{BS_{3,0}} &= F_{BS_{3,0}} \left(K_{UB_2}, K_{UB_3}, K_{UB_4}, \dots, K_{UB_{40}}, K_{UB}, U_B \right) = \\
 &= \left(K_{UB_{2,S_{3,0}}} - \Delta K_{UB_{2,S_{3,0}}} \leq K_{UB_2} \leq K_{UB_{2,S_{3,0}}} + \Delta K_{UB_{2,S_{3,0}}} \right) \wedge \left(K_{UB_{3,S_{3,0}}} - \Delta K_{UB_{3,S_{3,0}}} \leq \right. \\
 &\leq K_{UB_3} \leq K_{UB_{3,S_{3,0}}} + \Delta K_{UB_{3,S_{3,0}}} \left. \right) \wedge \left(K_{UB_{4,S_{3,0}}} - \Delta K_{UB_{4,S_{3,0}}} \leq K_{UB_4} \leq K_{UB_{4,S_{3,0}}} + \right. \\
 &\left. + \Delta K_{UB_{4,S_{3,0}}} \right) \wedge \dots \wedge \left(K_{UB_{h,S_{3,0}}} - \Delta K_{UB_{h,S_{3,0}}} \leq K_{UB_h} \leq K_{UB_{h,S_{3,0}}} + \Delta K_{UB_{h,S_{3,0}}} \right) \wedge \dots \wedge \\
 &\wedge \left(K_{UB_{40,S_{3,0}}} - \Delta K_{UB_{40,S_{3,0}}} \leq K_{UB_{40}} \leq K_{UB_{40,S_{3,0}}} + \Delta K_{UB_{40,S_{3,0}}} \right) \wedge \left(K_{UB_{S_{3,0}}} - \Delta K_{UB_{S_{3,0}}} \leq \right. \\
 &\left. \leq K_{UB} \leq K_{UB_{S_{3,0}}} + \Delta K_{UB_{S_{3,0}}} \right) \wedge \left(U_{BS_{3,0}} - \Delta U_{BS_{3,0}} \leq U_B \leq U_{BS_{3,0}} + \Delta U_{BS_{3,0}} \right)
 \end{aligned}$$

(4.58)

$K_{UB_{2,S_{3,0}}}, K_{UB_{3,S_{3,0}}}, K_{UB_{4,S_{3,0}}}, \dots, K_{UB_{h,S_{3,0}}}, \dots, K_{UB_{40,S_{3,0}}}$ – значения коэффициентов соответственно для 2-ой, 3-ей, 4-ой, ..., h-той, ..., 40-ой гармонических составляющих напряжения фазы «В» для технического состояния $S_{3,0}$ (приведены в приложении).

$K_{UB_{S_{3,0}}}$ – значение коэффициента искажений напряжения фазы «В» для технического состояния $S_{3,0}$ (приведено в приложении).

$U_{BS_{3,0}}$ – действующее значение напряжения фазы «В» для технического состояния $S_{3,0}$ (приведено в приложении).

$\Delta K_{UB_{2,S_{3,0}}}, \Delta K_{UB_{3,S_{3,0}}}, \Delta K_{UB_{4,S_{3,0}}}, \dots, \Delta K_{UB_{h,S_{3,0}}}, \dots, \Delta K_{UB_{40,S_{3,0}}}$ – значения приращений относительно средних значений коэффициентов соответственно для 2-ой, 3-ей, 4-ой, ..., h-той, ..., 40-ой гармонических составляющих напряжения фазы «В» для технического состояния $S_{3,0}$ (приведены в приложении).

$\Delta K_{UB_{S_{3,0}}}$ – значение приращения относительно среднего значения коэффициента искажений напряжения фазы «В» для технического состояния $S_{3,0}$ (приведено в приложении).

$\Delta U_{BS_{3,0}}$ – значение приращения относительно среднего значения действующего напряжения фазы «В» для технического состояния $S_{3,0}$ (приведено в приложении).

$F_{CS_{3,0}}$ – различающая функция напряжения фазы «С» для технического состояния $S_{3,0}$;

$$\begin{aligned}
 F_{CS_{3,0}} &= F_{CS_{3,0}}(K_{UC_2}, K_{UC_3}, K_{UC_4}, \dots, K_{UC_{40}}, K_{UC}, U_C) = \\
 &= \left(K_{UC_{2,S_{3,0}}} - \Delta K_{UC_{2,S_{3,0}}} \leq K_{UC_2} \leq K_{UC_{2,S_{3,0}}} + \Delta K_{UC_{2,S_{3,0}}} \right) \wedge \left(K_{UC_{3,S_{3,0}}} - \Delta K_{UC_{3,S_{3,0}}} \leq \right. \\
 &\leq K_{UC_3} \leq K_{UC_{3,S_{3,0}}} + \Delta K_{UC_{3,S_{3,0}}} \left. \right) \wedge \left(K_{UC_{4,S_{3,0}}} - \Delta K_{UC_{4,S_{3,0}}} \leq K_{UC_4} \leq K_{UC_{4,S_{3,0}}} + \right. \\
 &\left. + \Delta K_{UC_{4,S_{3,0}}} \right) \wedge \dots \wedge \left(K_{UC_{h,S_{3,0}}} - \Delta K_{UC_{h,S_{3,0}}} \leq K_{UC_h} \leq K_{UC_{h,S_{3,0}}} + \Delta K_{UC_{h,S_{3,0}}} \right) \wedge \dots \wedge \\
 &\wedge \left(K_{UC_{40,S_{3,0}}} - \Delta K_{UC_{40,S_{3,0}}} \leq K_{UC_{40}} \leq K_{UC_{40,S_{3,0}}} + \Delta K_{UC_{40,S_{3,0}}} \right) \wedge \left(K_{UC_{S_{3,0}}} - \Delta K_{UC_{S_{3,0}}} \leq \right. \\
 &\left. \leq K_{UC} \leq K_{UC_{S_{3,0}}} + \Delta K_{UC_{S_{3,0}}} \right) \wedge \left(U_{CS_{3,0}} - \Delta U_{CS_{3,0}} \leq U_C \leq U_{CS_{3,0}} + \Delta U_{CS_{3,0}} \right)
 \end{aligned}$$

(4.59)

$K_{UC_{2,S_{3,0}}}, K_{UC_{3,S_{3,0}}}, K_{UC_{4,S_{3,0}}}, \dots, K_{UC_{h,S_{3,0}}}, \dots, K_{UC_{40,S_{3,0}}}$ – значения коэффициентов соответственно для 2-ой, 3-ей, 4-ой, ..., h-той, ..., 40-ой гармонических составляющих напряжения фазы «С» для технического состояния $S_{3,0}$ (приведены в приложении).

$K_{UC_{S_{3,0}}}$ – значение коэффициента искажений напряжения фазы «С» для технического состояния $S_{3,0}$ (приведено в приложении).

$U_{CS_{3,0}}$ – действующее значение напряжения фазы «С» для технического состояния $S_{3,0}$ (приведено в приложении).

$\Delta K_{UC_{2,S_{3,0}}}, \Delta K_{UC_{3,S_{3,0}}}, \Delta K_{UC_{4,S_{3,0}}}, \dots, \Delta K_{UC_{h,S_{3,0}}}, \dots, \Delta K_{UC_{40,S_{3,0}}}$ – значения приращений относительно средних значений коэффициентов соответственно для 2-ой, 3-ей, 4-ой, ..., h-той, ..., 40-ой гармонических составляющих напряжения фазы «С» для технического состояния $S_{3,0}$ (приведены в приложении).

$\Delta K_{UC_{S_{3,0}}}$ – значение приращения относительно среднего значения коэффициента искажений напряжения фазы «С» для технического состояния $S_{3,0}$ (приведено в приложении).

$\Delta U_{C_{S_{3,0}}}$ – значение приращения относительно среднего значения действующего напряжения фазы «С» для технического состояния $S_{3,0}$ (приведено в приложении).

Различающие функции $F_{A_{S_{3,0}}}$, $F_{B_{S_{3,0}}}$, $F_{C_{S_{3,0}}}$, с учётом определённых наименьших и наибольших значений определяющих параметров на отрезке $[t_n; t_{n+1}]$ можно представить в виде:

$$\begin{aligned}
 F_{A_{S_{3,0}}} &= F_{A_{S_{3,0}}} \left(K_{U_{A_2}}, K_{U_{A_3}}, K_{U_{A_4}}, \dots, K_{U_{A_{40}}}, K_{U_A}, U_A \right) = \\
 &= \left(K_{U_{A_2, S_{3,0}}} - \Delta K_{U_{A_2, S_{3,0}}} \leq \min_{[t_n; t_{n+1}]} K_{U_{A_2}}(t) \leq \max_{[t_n; t_{n+1}]} K_{U_{A_2}}(t) \leq K_{U_{A_2, S_{3,0}}} + \Delta K_{U_{A_2, S_{3,0}}} \right) \wedge \\
 &\wedge \left(K_{U_{A_3, S_{3,0}}} - \Delta K_{U_{A_3, S_{3,0}}} \leq \min_{[t_n; t_{n+1}]} K_{U_{A_3}}(t) \leq \max_{[t_n; t_{n+1}]} K_{U_{A_3}}(t) \leq K_{U_{A_3, S_{3,0}}} + \Delta K_{U_{A_3, S_{3,0}}} \right) \wedge \\
 &\wedge \left(K_{U_{A_4, S_{3,0}}} - \Delta K_{U_{A_4, S_{3,0}}} \leq \min_{[t_n; t_{n+1}]} K_{U_{A_4}}(t) \leq \max_{[t_n; t_{n+1}]} K_{U_{A_4}}(t) \leq K_{U_{A_4, S_{3,0}}} + \Delta K_{U_{A_4, S_{3,0}}} \right) \wedge \\
 &\wedge \dots \wedge \left(K_{U_{A_h, S_{3,0}}} - \Delta K_{U_{A_h, S_{3,0}}} \leq \min_{[t_n; t_{n+1}]} K_{U_{A_h}}(t) \leq \max_{[t_n; t_{n+1}]} K_{U_{A_h}}(t) \leq K_{U_{A_h, S_{3,0}}} + \right. \\
 &\left. + \Delta K_{U_{A_h, S_{3,0}}} \right) \wedge \dots \wedge \left(K_{U_{A_{40}, S_{3,0}}} - \Delta K_{U_{A_{40}, S_{3,0}}} \leq \min_{[t_n; t_{n+1}]} K_{U_{A_{40}}}(t) \leq \max_{[t_n; t_{n+1}]} K_{U_{A_{40}}}(t) \leq \right. \\
 &\left. \leq K_{U_{A_{40}, S_{3,0}}} + \Delta K_{U_{A_{40}, S_{3,0}}} \right) \wedge \left(K_{U_{A_{S_{3,0}}}} - \Delta K_{U_{A_{S_{3,0}}}} \leq \min_{[t_n; t_{n+1}]} K_{U_A}(t) \leq \max_{[t_n; t_{n+1}]} K_{U_A}(t) \leq \right. \\
 &\left. \leq K_{U_{A_{S_{3,0}}}} + \Delta K_{U_{A_{S_{3,0}}}} \right) \wedge \left(U_{A_{S_{3,0}}} - \Delta U_{A_{S_{3,0}}} \leq \min_{[t_n; t_{n+1}]} U_A(t) \leq \max_{[t_n; t_{n+1}]} U_A(t) \leq U_{A_{S_{3,0}}} + \right. \\
 &\left. + \Delta U_{A_{S_{3,0}}} \right)
 \end{aligned}
 \tag{4.60}$$

$$\begin{aligned}
 F_{B_{S_{3,0}}} &= F_{B_{S_{3,0}}} \left(K_{U_{B_2}}, K_{U_{B_3}}, K_{U_{B_4}}, \dots, K_{U_{B_{40}}}, K_{U_B}, U_B \right) = \\
 &= \left(K_{U_{B_2, S_{3,0}}} - \Delta K_{U_{B_2, S_{3,0}}} \leq \min_{[t_n; t_{n+1}]} K_{U_{B_2}}(t) \leq \max_{[t_n; t_{n+1}]} K_{U_{B_2}}(t) \leq K_{U_{B_2, S_{3,0}}} + \Delta K_{U_{B_2, S_{3,0}}} \right) \wedge
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \left(K_{UB_3, S_{3,0}} - \Delta K_{UB_3, S_{3,0}} \leq \min_{[t_n; t_{n+1}]} K_{UB_3}(t) \leq \max_{[t_n; t_{n+1}]} K_{UB_3}(t) \leq K_{UB_3, S_{3,0}} + \Delta K_{UB_3, S_{3,0}} \right) \wedge \\
& \left(K_{UB_4, S_{3,0}} - \Delta K_{UB_4, S_{3,0}} \leq \min_{[t_n; t_{n+1}]} K_{UB_4}(t) \leq \max_{[t_n; t_{n+1}]} K_{UB_4}(t) \leq K_{UB_4, S_{3,0}} + \Delta K_{UB_4, S_{3,0}} \right) \wedge \\
& \wedge \dots \wedge \left(K_{UB_h, S_{3,0}} - \Delta K_{UB_h, S_{3,0}} \leq \min_{[t_n; t_{n+1}]} K_{UB_h}(t) \leq \max_{[t_n; t_{n+1}]} K_{UB_h}(t) \leq K_{UB_h, S_{3,0}} + \right. \\
& \left. + \Delta K_{UB_h, S_{3,0}} \right) \wedge \dots \wedge \left(K_{UB_{40}, S_{3,0}} - \Delta K_{UB_{40}, S_{3,0}} \leq \min_{[t_n; t_{n+1}]} K_{UB_{40}}(t) \leq \max_{[t_n; t_{n+1}]} K_{UB_{40}}(t) \leq \right. \\
& \left. \leq K_{UB_{40}, S_{3,0}} + \Delta K_{UB_{40}, S_{3,0}} \right) \wedge \left(K_{UB_{S_{3,0}}} - \Delta K_{UB_{S_{3,0}}} \leq \min_{[t_n; t_{n+1}]} K_{UB}(t) \leq \max_{[t_n; t_{n+1}]} K_{UB}(t) \leq \right. \\
& \left. \leq K_{UB_{S_{3,0}}} + \Delta K_{UB_{S_{3,0}}} \right) \wedge \left(U_{BS_{3,0}} - \Delta U_{BS_{3,0}} \leq \min_{[t_n; t_{n+1}]} U_B(t) \leq \max_{[t_n; t_{n+1}]} U_B(t) \leq U_{BS_{3,0}} + \right. \\
& \left. + \Delta U_{BS_{3,0}} \right)
\end{aligned}$$

(4.61)

$$\begin{aligned}
F_{CS_{3,0}} &= F_{CS_{3,0}}(K_{UC_2}, K_{UC_3}, K_{UC_4}, \dots, K_{UC_{40}}, K_{UC}, U_C) = \\
&= \left(K_{UC_2, S_{3,0}} - \Delta K_{UC_2, S_{3,0}} \leq \min_{[t_n; t_{n+1}]} K_{UC_2}(t) \leq \max_{[t_n; t_{n+1}]} K_{UC_2}(t) \leq K_{UC_2, S_{3,0}} + \Delta K_{UC_2, S_{3,0}} \right) \wedge \\
& \wedge \left(K_{UC_3, S_{3,0}} - \Delta K_{UC_3, S_{3,0}} \leq \min_{[t_n; t_{n+1}]} K_{UC_3}(t) \leq \max_{[t_n; t_{n+1}]} K_{UC_3}(t) \leq K_{UC_3, S_{3,0}} + \Delta K_{UC_3, S_{3,0}} \right) \wedge \\
& \wedge \left(K_{UC_4, S_{3,0}} - \Delta K_{UC_4, S_{3,0}} \leq \min_{[t_n; t_{n+1}]} K_{UC_4}(t) \leq \max_{[t_n; t_{n+1}]} K_{UC_4}(t) \leq K_{UC_4, S_{3,0}} + \Delta K_{UC_4, S_{3,0}} \right) \wedge \\
& \wedge \dots \wedge \left(K_{UC_h, S_{3,0}} - \Delta K_{UC_h, S_{3,0}} \leq \min_{[t_n; t_{n+1}]} K_{UC_h}(t) \leq \max_{[t_n; t_{n+1}]} K_{UC_h}(t) \leq K_{UC_h, S_{3,0}} + \right. \\
& \left. + \Delta K_{UC_h, S_{3,0}} \right) \wedge \dots \wedge \left(K_{UC_{40}, S_{3,0}} - \Delta K_{UC_{40}, S_{3,0}} \leq \min_{[t_n; t_{n+1}]} K_{UC_{40}}(t) \leq \max_{[t_n; t_{n+1}]} K_{UC_{40}}(t) \leq \right. \\
& \left. \leq K_{UC_{40}, S_{3,0}} + \Delta K_{UC_{40}, S_{3,0}} \right) \wedge \left(K_{UC_{S_{3,0}}} - \Delta K_{UC_{S_{3,0}}} \leq \min_{[t_n; t_{n+1}]} K_{UC}(t) \leq \max_{[t_n; t_{n+1}]} K_{UC}(t) \leq \right.
\end{aligned}$$

$$\leq K_{UCS_{3,0}} + \Delta K_{UCS_{3,0}} \Big) \wedge \left(U_{CS_{3,0}} - \Delta U_{CS_{3,0}} \leq \min_{[t_n; t_{n+1}]} U_C(t) \leq \max_{[t_n; t_{n+1}]} U_C(t) \leq U_{CS_{3,0}} + \Delta U_{CS_{3,0}} \right) \quad (4.62)$$

Тогда общая различающая функция появления отказа в момент времени $t_n < t \leq t_{n+1}$ при проведении диагностирования в момент времени $t = t_n$ можно представить в виде:

$$F_{3,x} = \overline{F_{3,0}} = \overline{F_{A_{3,0}} \wedge F_{B_{3,0}} \wedge F_{C_{3,0}}} = \overline{F_{A_{3,0}}} \vee \overline{F_{B_{3,0}}} \vee \overline{F_{C_{3,0}}} \quad (4.63)$$

4.3 Алгоритм диагностирования технических состояний $S_{3,1} - S_{3,30}$ с прогнозированием значений определяющих параметров

С учётом полученных различающих функций для технических состояний $S_{3,1} - S_{3,30}$ (4.28), (4.32), (4.36), (4.40), (4.44) может быть построен алгоритм диагностирования технических состояний $S_{3,1} - S_{3,30}$.

С помощью (4.48)-(4.63) может быть выполнено прогнозирование значений определяющих параметров $K_{UA_2}, K_{UA_3}, K_{UA_4}, \dots, K_{UA_h}, \dots, K_{UA_{40}}, K_{UA}, U_A; K_{UB_2}, K_{UB_3}, K_{UB_4}, \dots, K_{UB_h}, \dots, K_{UB_{40}}, K_{UB}, U_B; K_{UC_2}, K_{UC_3}, K_{UC_4}, \dots, K_{UC_h}, \dots, K_{UC_{40}}, K_{UC}, U_C$, а также может быть определена общая различающая функция появления отказа в момент времени $t_n < t \leq t_{n+1}$ при проведении диагностирования в момент времени $t = t_n$.

На рисунках 4.1-4.12 представлена блок-схема алгоритма диагностирования расширенного множества технических состояний канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты с прогнозированием значений определяющих параметров.

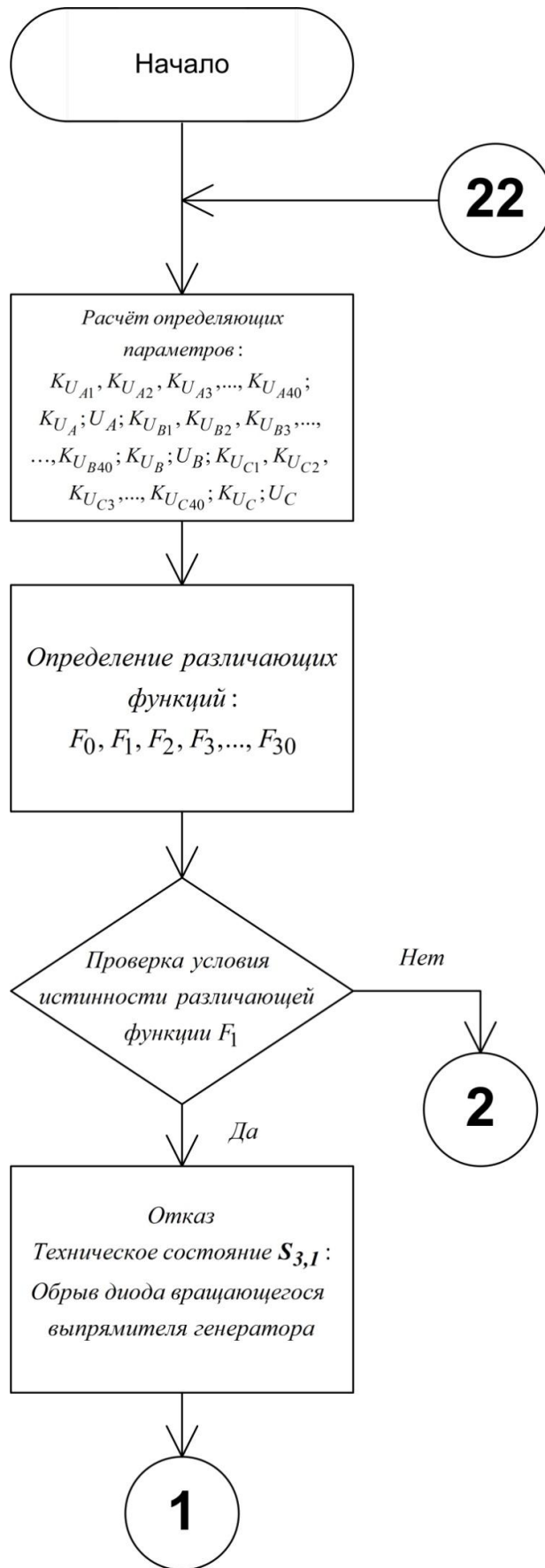


Рисунок 4.1. Блок-схема алгоритма диагностирования расширенного множества технических состояний канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты с прогнозированием значений определяющих параметров

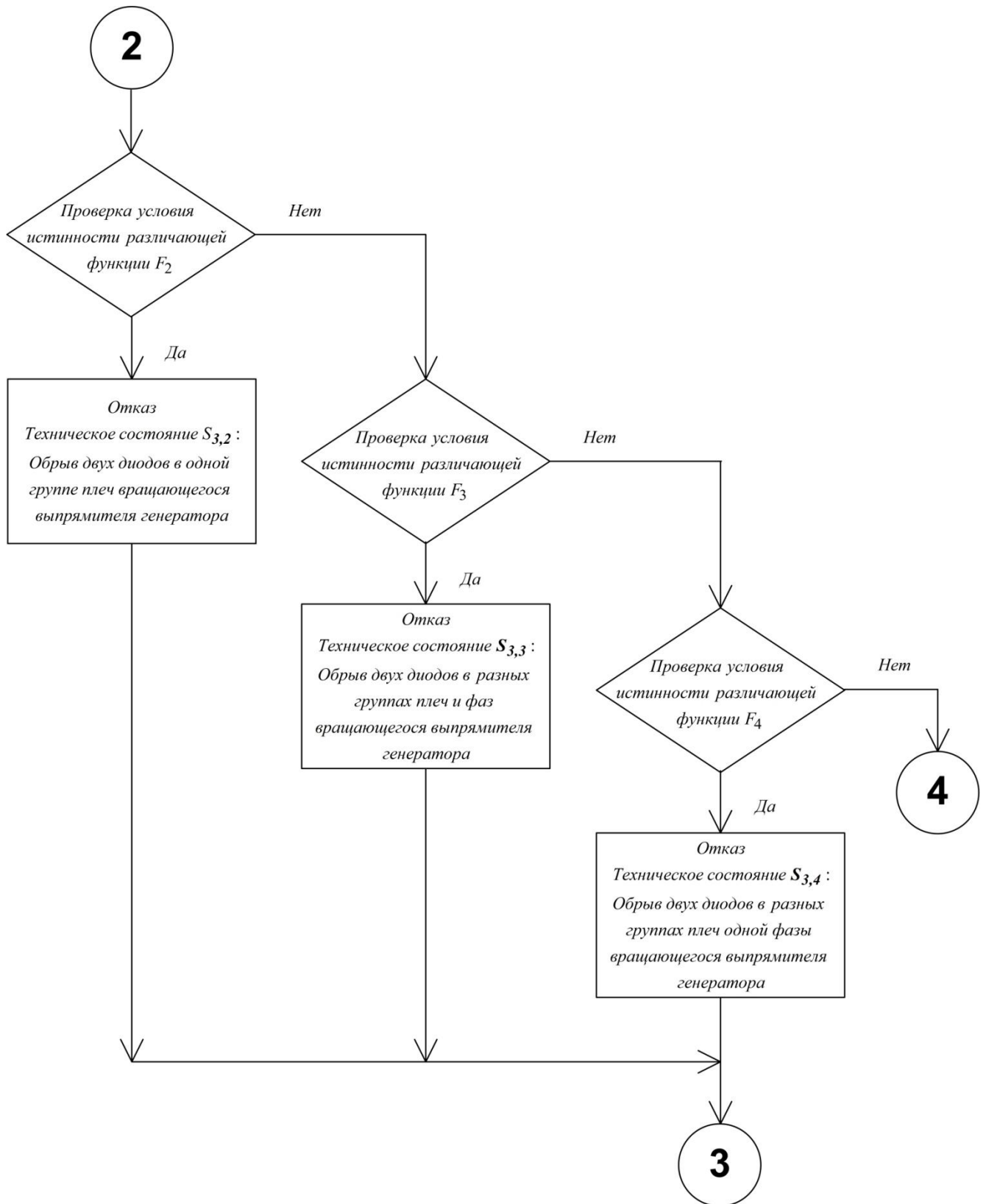


Рисунок 4.2. Блок-схема алгоритма диагностирования расширенного множества технических состояний канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты с прогнозированием значений определяющих параметров (продолжение)

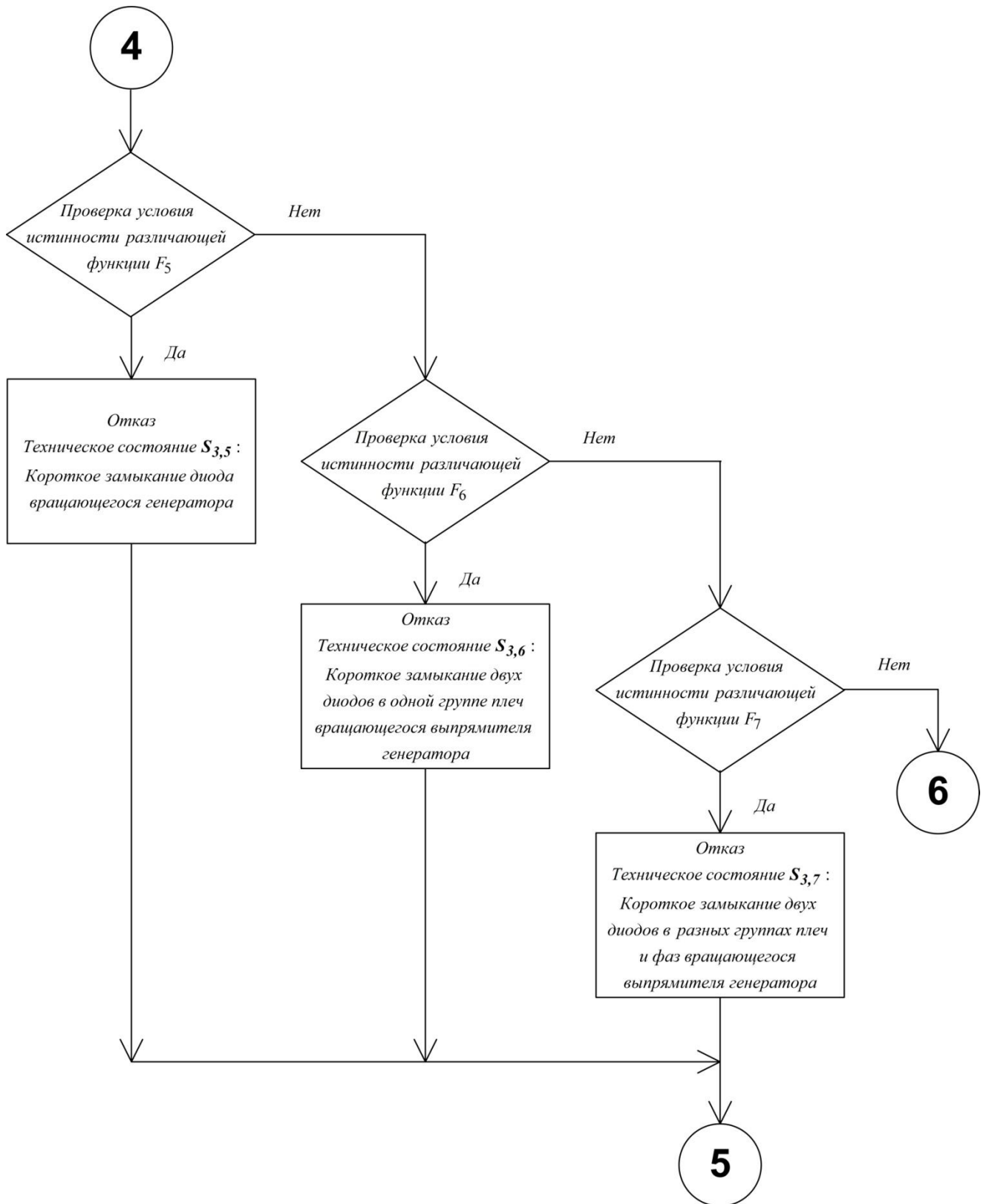


Рисунок 4.3. Блок-схема алгоритма диагностирования расширенного множества технических состояний канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты с прогнозированием значений определяющих параметров (продолжение)

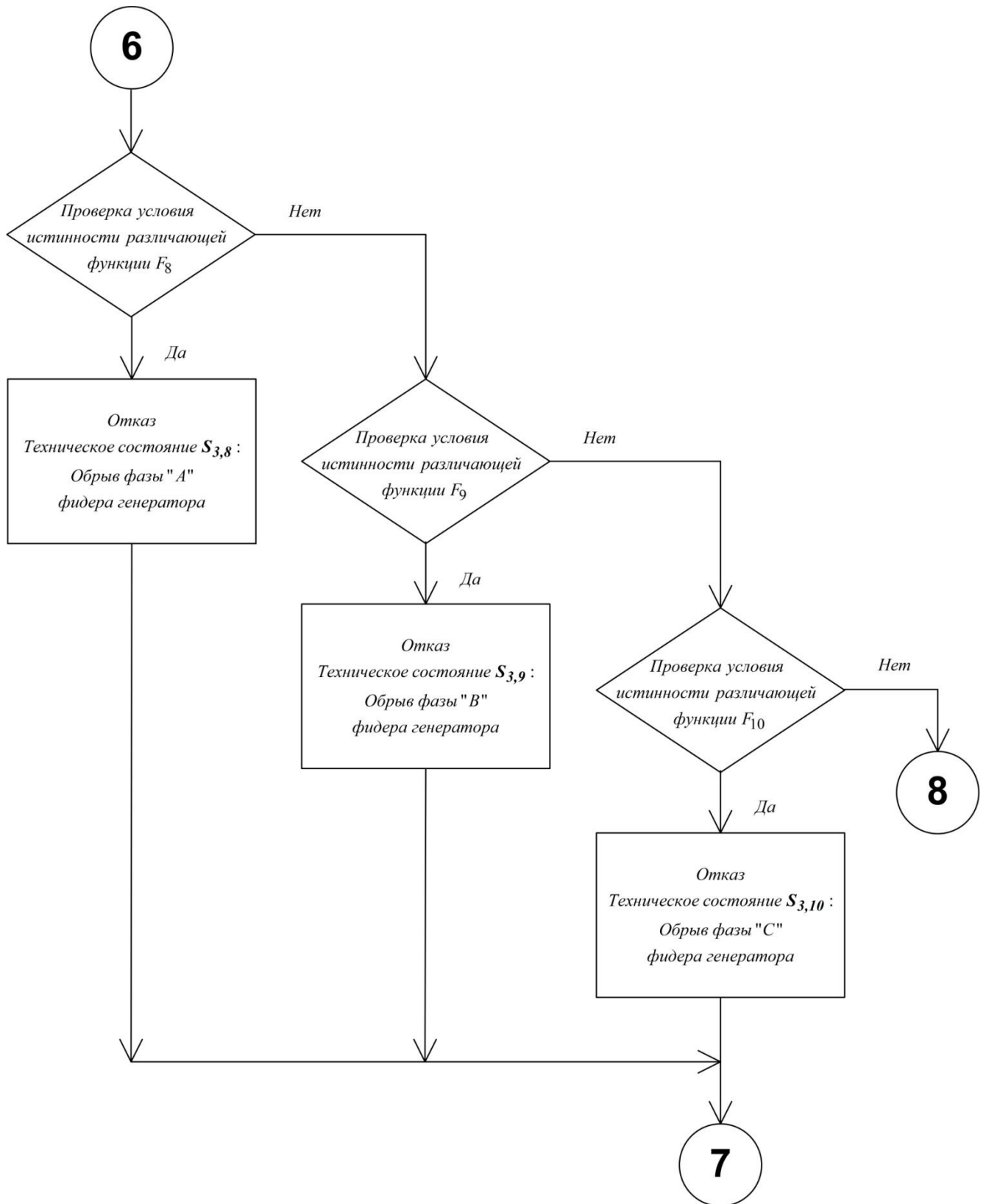


Рисунок 4.4. Блок-схема алгоритма диагностирования расширенного множества технических состояний канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты с прогнозированием значений определяющих параметров (продолжение)

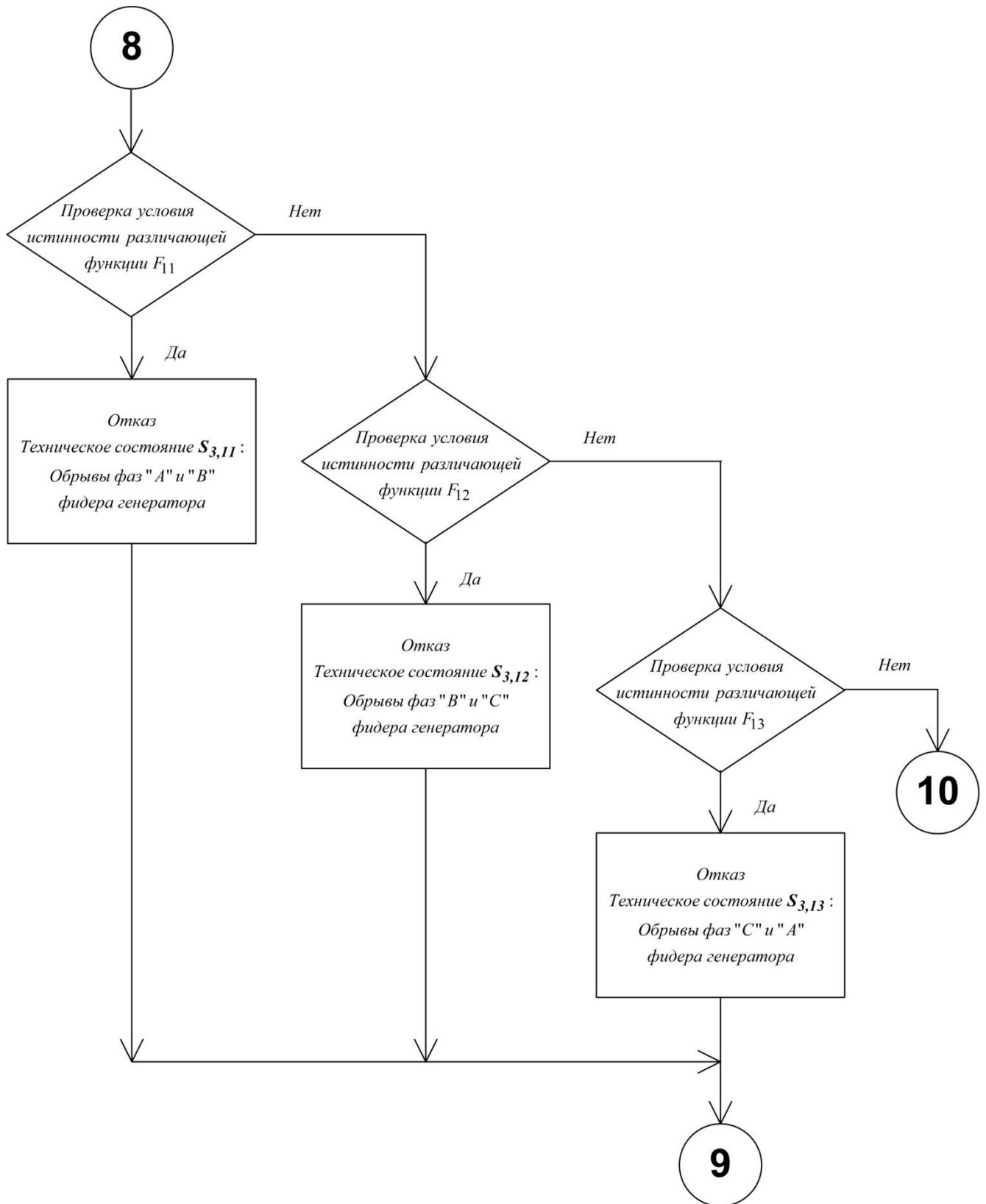


Рисунок 4.5. Блок-схема алгоритма диагностирования расширенного множества технических состояний канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты с прогнозированием значений определяющих параметров (продолжение)

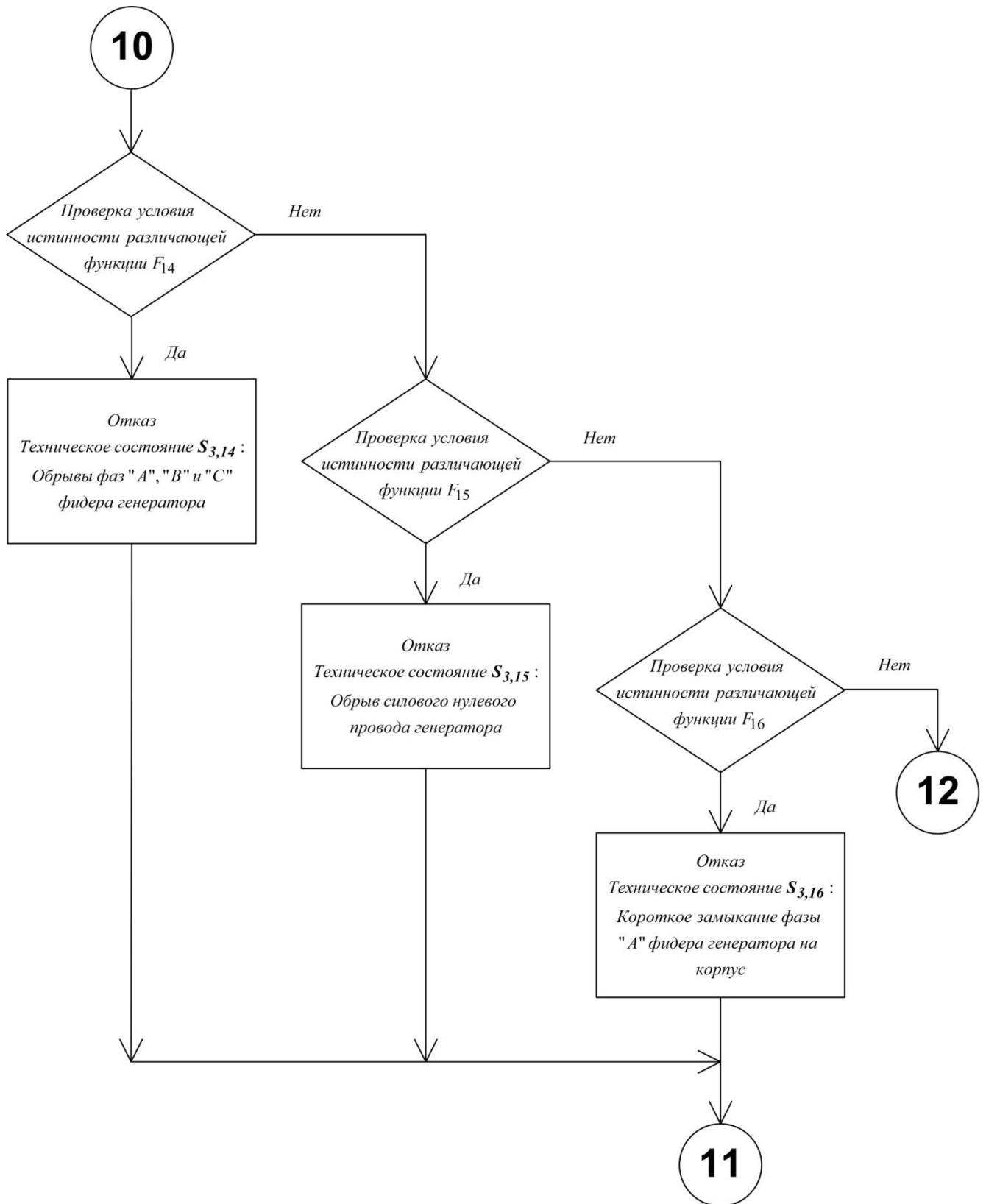


Рисунок 4.6. Блок-схема алгоритма диагностирования расширенного множества технических состояний канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты с прогнозированием значений определяющих параметров (продолжение)

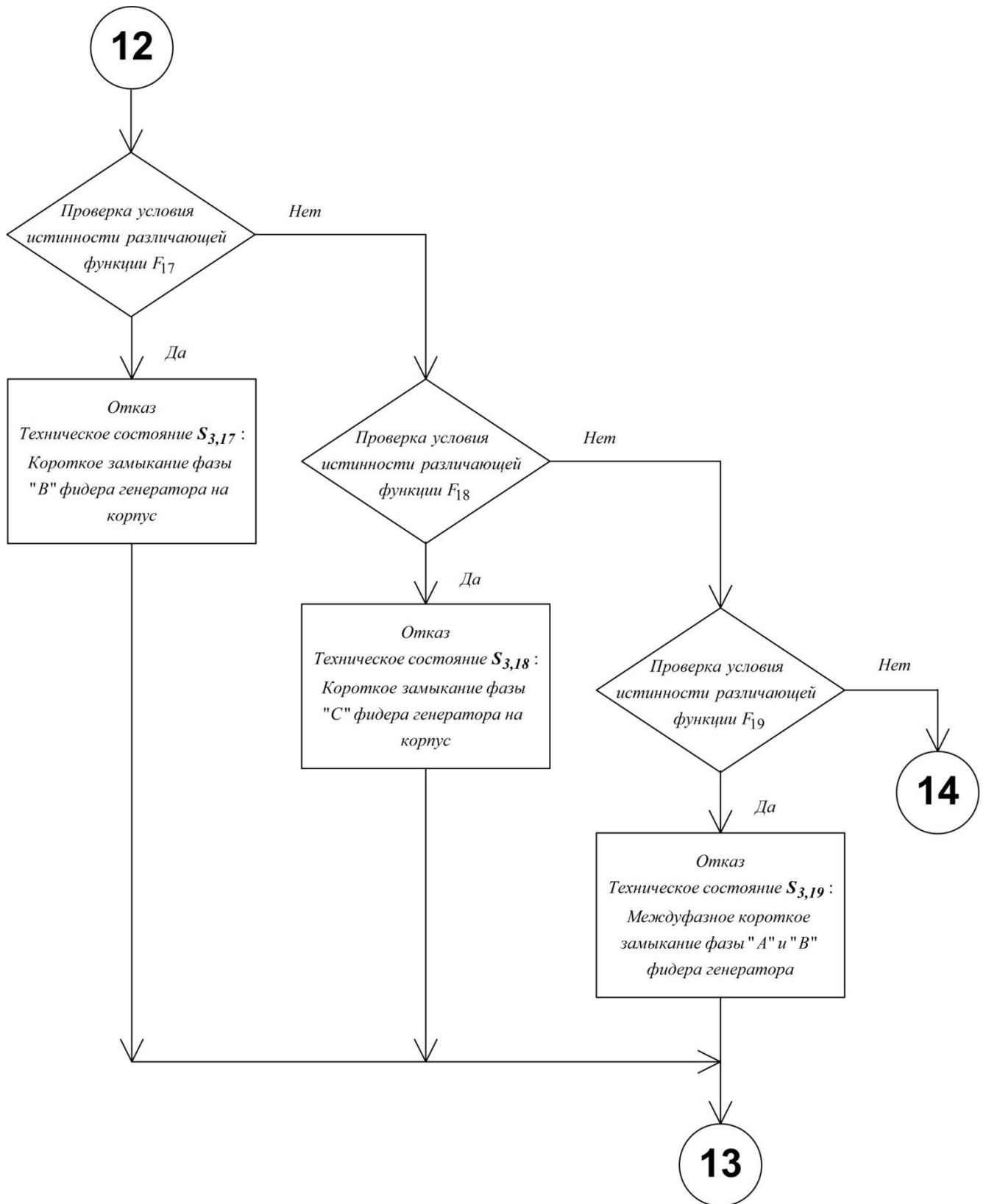


Рисунок 4.7. Блок-схема алгоритма диагностирования расширенного множества технических состояний канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты с прогнозированием значений определяющих параметров (продолжение)

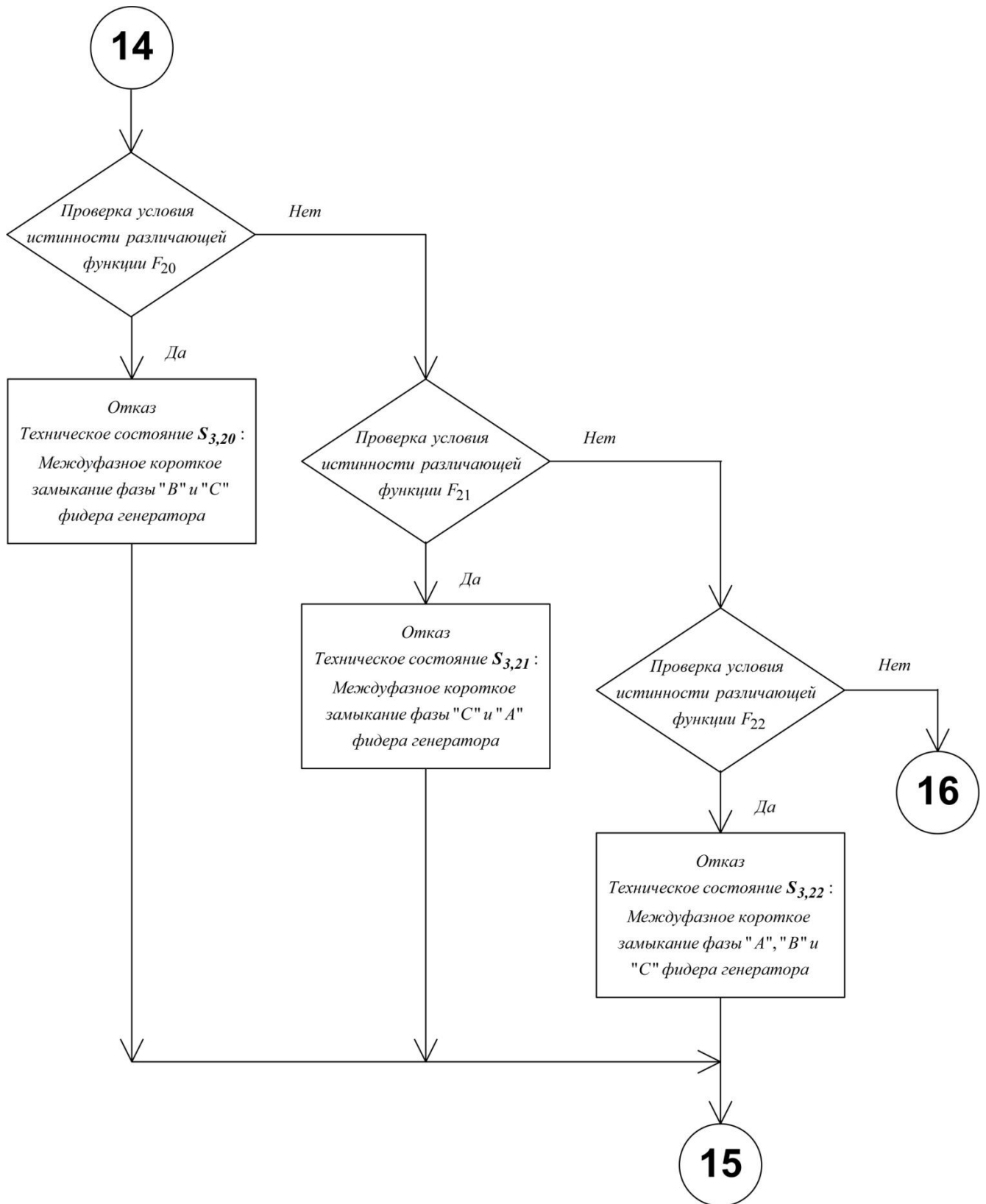


Рисунок 4.8. Блок-схема алгоритма диагностирования расширенного множества технических состояний канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты с прогнозированием значений определяющих параметров (продолжение)

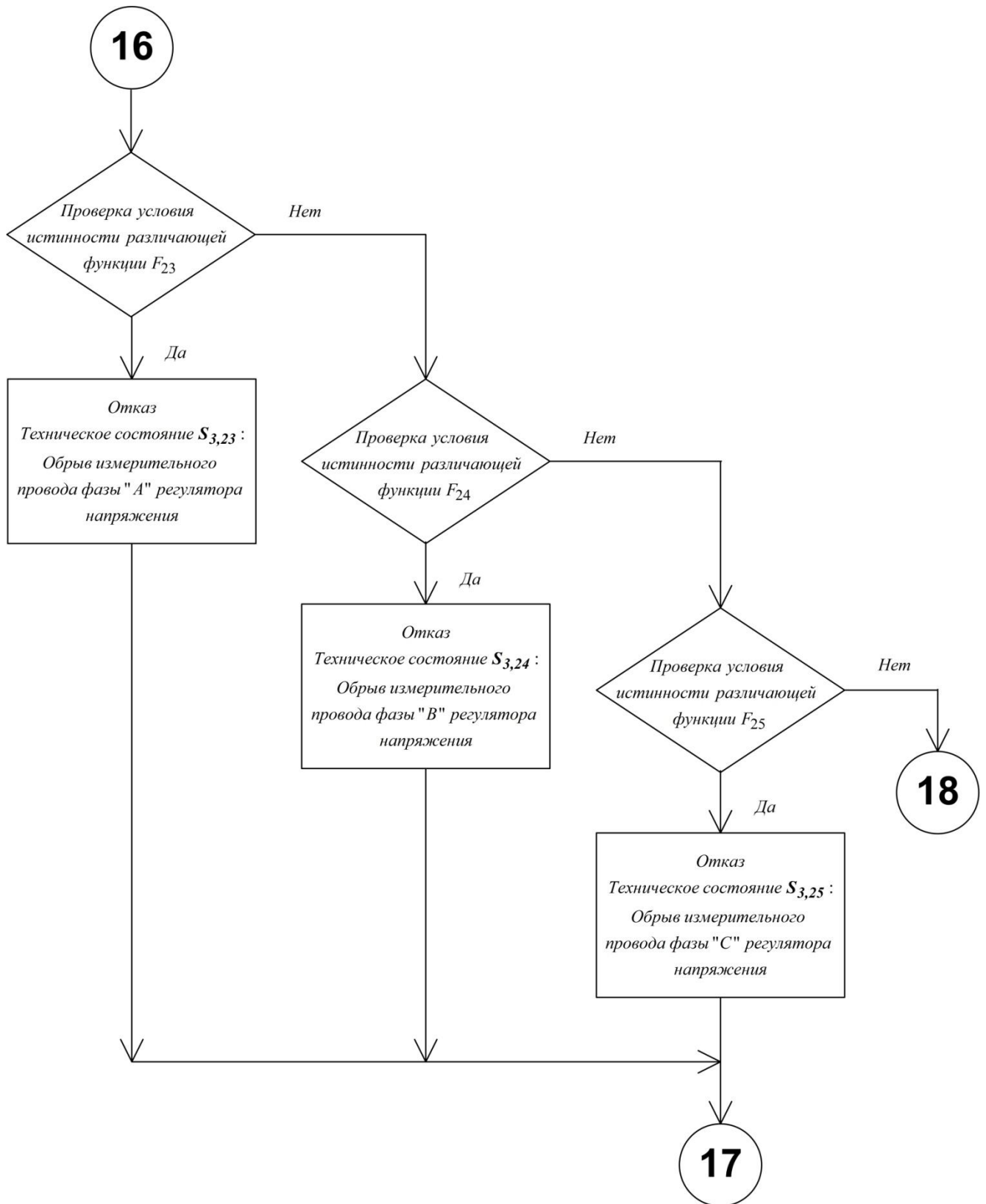


Рисунок 4.9. Блок-схема алгоритма диагностирования расширенного множества технических состояний канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты с прогнозированием значений определяющих параметров (продолжение)

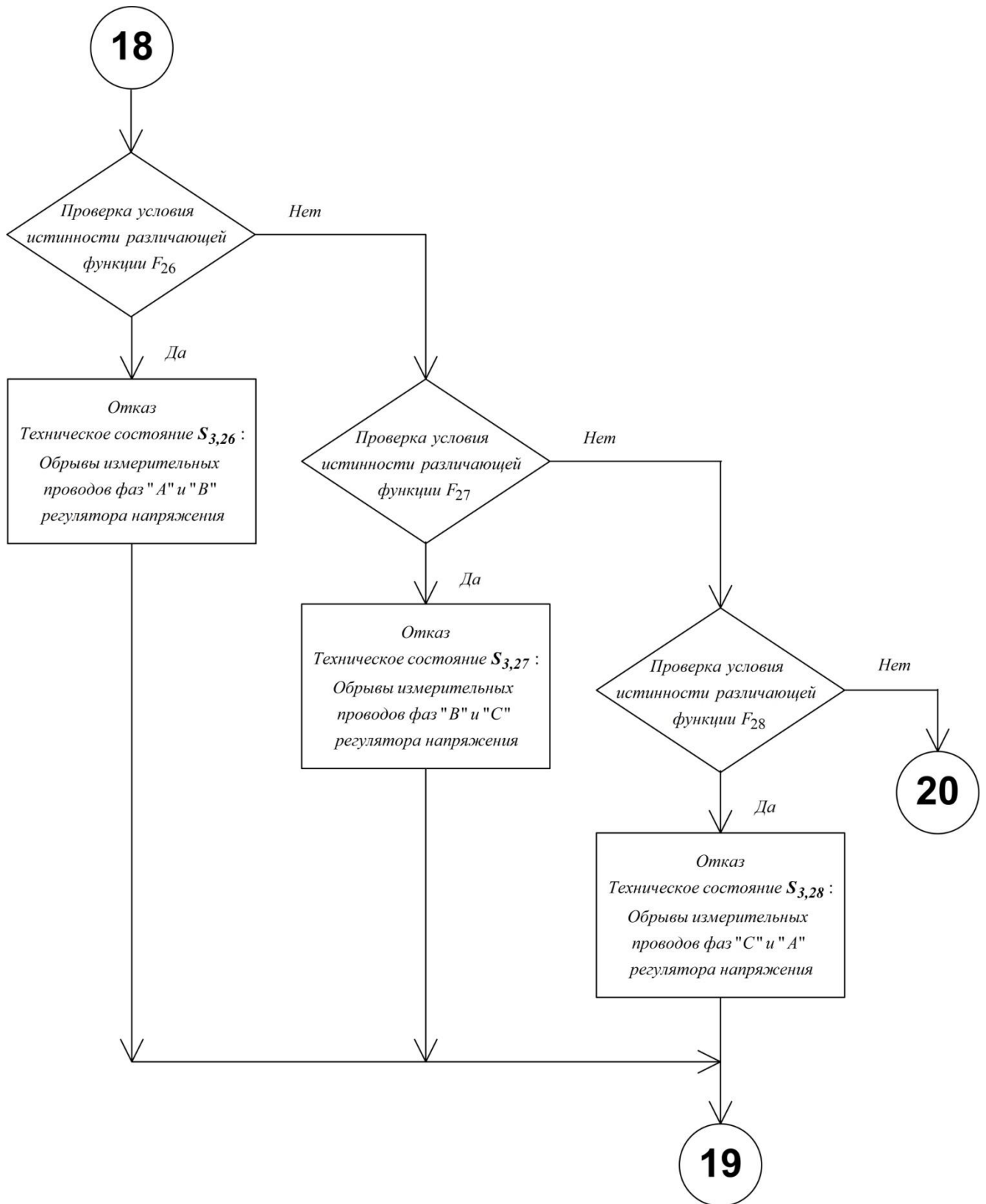


Рисунок 4.10. Блок-схема алгоритма диагностирования расширенного множества технических состояний канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты с прогнозированием значений определяющих параметров (продолжение)

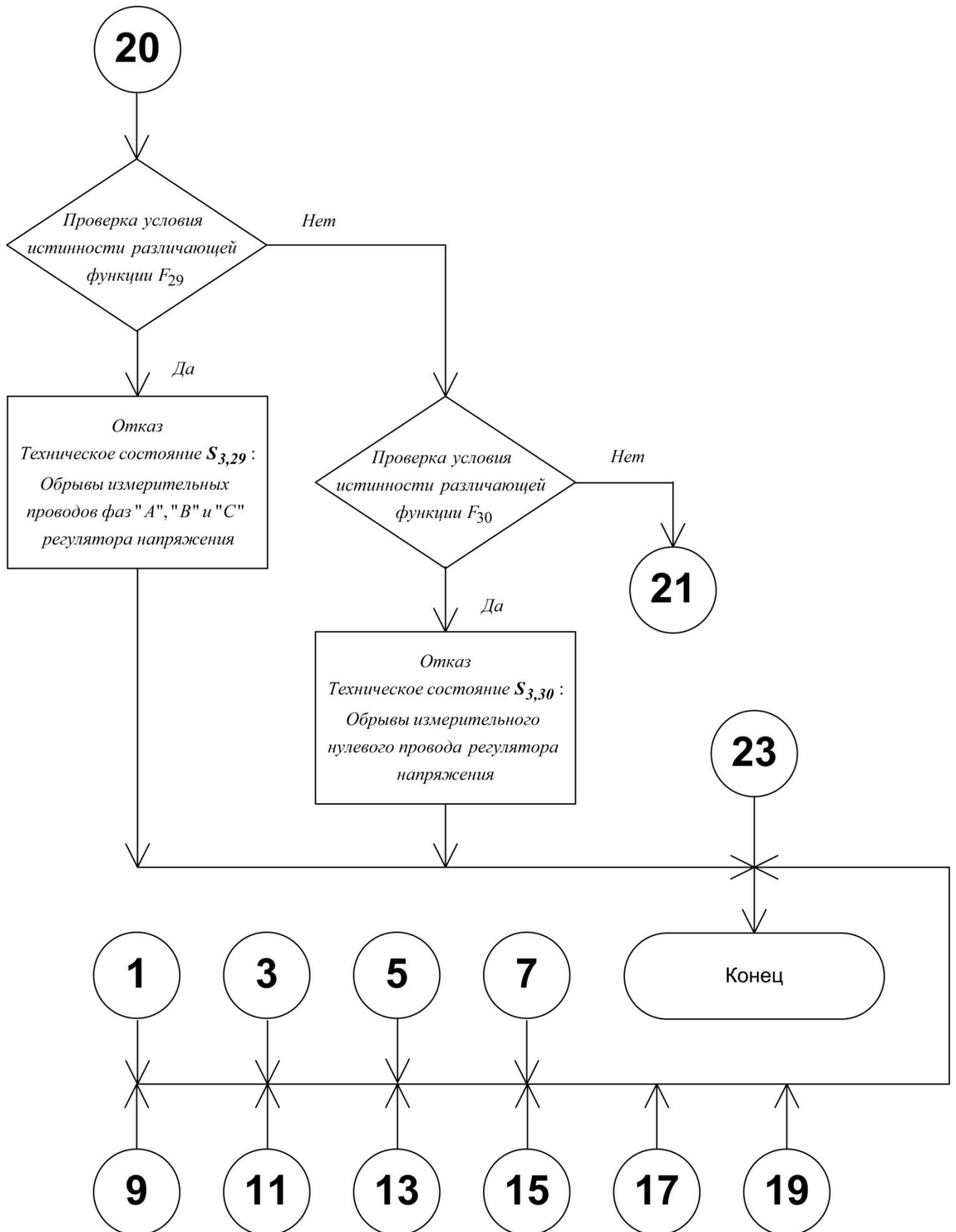


Рисунок 4.11. Блок-схема алгоритма диагностирования расширенного множества технических состояний канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты с прогнозированием значений определяющих параметров (продолжение)



Рисунок 4.12. Блок-схема алгоритма диагностирования расширенного множества технических состояний канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты с прогнозированием значений определяющих параметров (продолжение)

4.4 Выводы по главе 4

1. В среде имитационного моделирования MATLAB/Simulink на имитационной модели канала бортовой СЭС переменного тока постоянной частоты смоделированы технические состояния $S_{3,1} - S_{3,30}$. Получены переходные процессы мгновенных значений напряжений фаз «А», «В» и «С» в точке регулирования.

2. Рассчитаны значения определяющих параметров $K_{U_{A_2}}, K_{U_{A_3}}, K_{U_{A_4}}, \dots, K_{U_{A_h}}, \dots, K_{U_{A_{40}}}, K_{U_A}, U_A; K_{U_{B_2}}, K_{U_{B_3}}, K_{U_{B_4}}, \dots, K_{U_{B_h}}, \dots, K_{U_{B_{40}}}, K_{U_B}, U_B; K_{U_{C_2}}, K_{U_{C_3}}, K_{U_{C_4}}, \dots, K_{U_{C_h}}, \dots, K_{U_{C_{40}}}, K_{U_C}, U_C$ для каждого отдельного технического состояния $S_{3,1} - S_{3,30}$.

3. Определены границы доверительных интервалов значений определяющих параметров $K_{U_{A_2}}, K_{U_{A_3}}, K_{U_{A_4}}, \dots, K_{U_{A_h}}, \dots, K_{U_{A_{40}}}, K_{U_A}, U_A; K_{U_{B_2}}, K_{U_{B_3}}, K_{U_{B_4}}, \dots, K_{U_{B_h}}, \dots, K_{U_{B_{40}}}, K_{U_B}, U_B; K_{U_{C_2}}, K_{U_{C_3}}, K_{U_{C_4}}, \dots, K_{U_{C_h}}, \dots, K_{U_{C_{40}}}, K_{U_C}, U_C$ для каждого отдельного технического состояния $S_{3,1} - S_{3,30}$.

4. Сформулированы критерии появления каждого из технических состояний $S_{3,1} - S_{3,30}$ и определены различающие функции технических состояний $S_{3,1} - S_{3,30}$.

5. Построен алгоритм диагностирования технических состояний $S_{3,1} - S_{3,30}$.

6. Поставлена и решена задача прогнозирования технического состояния канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты. Проведено прогнозирование значений определяющих параметров $K_{U_{A_2}}, K_{U_{A_3}}, K_{U_{A_4}}, \dots, K_{U_{A_h}}, \dots, K_{U_{A_{40}}}, K_{U_A}, U_A; K_{U_{B_2}}, K_{U_{B_3}}, K_{U_{B_4}}, \dots, K_{U_{B_h}}, \dots, K_{U_{B_{40}}}, K_{U_B}, U_B; K_{U_{C_2}}, K_{U_{C_3}}, K_{U_{C_4}}, \dots, K_{U_{C_h}}, \dots, K_{U_{C_{40}}}, K_{U_C}, U_C$ с помощью определения данных определяющих параметров как функций времени на основе полинома Лагранжа. Определена общая различающая функция появления отказа в момент времени $t_n < t \leq t_{n+1}$ при проведении диагностирования в момент времени $t = t_n$.

7. Построен общий алгоритм диагностирования появления отказа в момент времени $t_n < t \leq t_{n+1}$ при проведении диагностирования в момент времени $t = t_n$.

Заключение

1. Проведён анализ состояния безопасности полётов по распределениям отказов бортовых систем. Рассмотрены виды и состав бортовых СЭС ВС. Рассмотрена СЭС конкретного типа ВС с регулирующей и защитной аппаратурой. Проведён анализ диагностируемых технических состояний канала рассмотренной бортовой СЭС ВС. Проведён анализ определения расширенного множества возможных технических состояний канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты. Поставлена задача и определена последовательность действий для получения алгоритма диагностирования расширенного множества возможных технических состояний канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты с прогнозированием значений определяющих параметров.

2. Разработана математическая модель бортового генератора переменного тока (авиационного синхронного генератора серии ГТ). В составе общей математической модели бортового генератора переменного тока получены математические модели основного генератора, возбудителя, подвозбудителя и вращающегося выпрямителя. Математические модели основного генератора и возбудителя получены в фазной системе координат с учётом насыщения магнитной цепи основного генератора и возбудителя, что позволяет описывать процессы как при симметричных, так и при несимметричных режимах. Разработана математическая модель регулятора напряжения. Рассмотрены математические модели привода постоянной частоты вращения, линейной и нелинейной трёхфазных статических нагрузок, линейной однофазной статической нагрузки, контакторов трёхфазных и однофазной нагрузок.

3. Разработана имитационная модель бортового генератора переменного тока (авиационного синхронного генератора серии ГТ) на основе его математической модели. В составе общей имитационной модели бортового генератора переменного тока разработаны имитационные модели основного генератора, возбудителя, подвозбудителя и вращающегося выпрямителя. Разработана имитационная модель регулятора напряжения. Разработана имитационная модель привода постоянной частоты вращения, имитационные модели линейной и нелинейной трёхфазных статических нагрузок, линейной однофазной статической нагрузки, контакторов трёхфазных и однофазной нагрузок. Таким образом, с учётом разработанных имитационных моделей агрегатов канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты разработана имитационная модель канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты. Разработанная имитационная модель позволяет исследовать работу канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты в переходных и установившихся режимах при симметричных и несимметричных, линейных и нелинейных нагрузках. Также

разработанная имитационная модель позволяет исследовать работу канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты при введении отказов агрегатов канала бортовой СЭС ВС и тем самым имитировать технические состояния из расширенного множества технических состояний канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты. Результатами расчётов имитационной модели для каждого технического состояния канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты являются переходные процессы мгновенных значений напряжений фаз генератора в точке регулирования и токов фаз фидера генератора.

4. В среде имитационного моделирования MATLAB/Simulink на имитационной модели канала бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты смоделированы технические состояния $S_{3,1} - S_{3,30}$. Получены переходные процессы мгновенных значений напряжений фаз «А», «В» и «С» в точке регулирования. Рассчитаны значения определяющих параметров $K_{U_{A_2}}, K_{U_{A_3}}, K_{U_{A_4}}, \dots, K_{U_{A_h}}, \dots, K_{U_{A_{40}}}, K_{U_A}, U_A; K_{U_{B_2}}, K_{U_{B_3}}, K_{U_{B_4}}, \dots, K_{U_{B_h}}, \dots, K_{U_{B_{40}}}, K_{U_B}, U_B; K_{U_{C_2}}, K_{U_{C_3}}, K_{U_{C_4}}, \dots, K_{U_{C_h}}, \dots, K_{U_{C_{40}}}, K_{U_C}, U_C$ для каждого технического состояния $S_{3,1} - S_{3,30}$. Определены границы доверительных интервалов значения определяющих параметров $K_{U_{A_2}}, K_{U_{A_3}}, K_{U_{A_4}}, \dots, K_{U_{A_h}}, \dots, K_{U_{A_{40}}}, K_{U_A}, U_A; K_{U_{B_2}}, K_{U_{B_3}}, K_{U_{B_4}}, \dots, K_{U_{B_h}}, \dots, K_{U_{B_{40}}}, K_{U_B}, U_B; K_{U_{C_2}}, K_{U_{C_3}}, K_{U_{C_4}}, \dots, K_{U_{C_h}}, \dots, K_{U_{C_{40}}}, K_{U_C}, U_C$ для каждого технического состояния $S_{3,1} - S_{3,30}$.

5. Сформулированы критерии появления каждого из технических состояний $S_{3,1} - S_{3,30}$ и определены различающие функции технических состояний $S_{3,1} - S_{3,30}$.

6. Построен алгоритм диагностирования технических состояний $S_{3,1} - S_{3,30}$. Поставлена и решена задача прогнозирования технического состояния канала бортовой СЭС переменного тока постоянной частоты. Проведено прогнозирование значений определяющих параметров определяющих параметров $K_{U_{A_2}}, K_{U_{A_3}}, K_{U_{A_4}}, \dots, K_{U_{A_h}}, \dots, K_{U_{A_{40}}}, K_{U_A}, U_A; K_{U_{B_2}}, K_{U_{B_3}}, K_{U_{B_4}}, \dots, K_{U_{B_h}}, \dots, K_{U_{B_{40}}}, K_{U_B}, U_B; K_{U_{C_2}}, K_{U_{C_3}}, K_{U_{C_4}}, \dots, K_{U_{C_h}}, \dots, K_{U_{C_{40}}}, K_{U_C}, U_C$ с помощью определения данных определяющих параметров как функций времени на основе полинома Лагранжа. Определена общая различающая функция появления отказа в момент времени $t_n < t \leq t_{n+1}$ при проведении диагностирования в момент времени $t = t_n$. Построен общий алгоритм диагностирования появления отказа в момент времени $t_n < t \leq t_{n+1}$ при проведении диагностирования в момент времени $t = t_n$.

Список сокращений

1. АБ – аккумуляторная батарея;
2. БРЗУ – блок регулирования, защиты и управления;
3. БСТО – бортовая система технического обслуживания;
4. ВС – воздушное судно;
5. ГТ – генератор трёхфазный;
6. ГЦМ – гибкая цифровая модель;
7. ИСУТС – интегрированная система управления техническим состоянием;
8. МТУ – межрегиональное территориальное управление;
9. НБРЗУ – сигнал неисправности блока БРЗУ;
10. НГТФ – сигнал неисправности «генератор-фидер»;
11. НПРВ – сигнал неисправности привода;
12. ПО – программное обеспечение;
13. ППО – привод постоянных оборотов;
14. ППЧВ – привод постоянной частоты вращения;
15. СЭС – система электроснабжения;
16. ЦРУ – центральное распределительное устройство;
17. ЭТК – электротехнический комплекс.

Список литературы

1. Адкинс, Б. Общая теория электрических машин / Б. Адкинс. — М. : Л. : ГЭИ, 1960. — 272 с.
2. Азарьев, И. Д. Математическое моделирование электрических систем / И. Д. Азарьев. — М. : Л. : ГЭИ, 1962. — 207 с.
3. Алябьев, М. И. Общая теория судовых электрических машин / М. И. Алябьев. — Л. : «Судостроение», 1965. — 391 с.
4. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЁТОВ В ЦЕНТРАЛЬНОМ МТУ РОСАВИАЦИИ ЗА 2015 ГОД.
5. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЁТОВ В ЦЕНТРАЛЬНОМ МТУ РОСАВИАЦИИ ЗА 2016 ГОД.
6. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЁТОВ В ЦЕНТРАЛЬНОМ МТУ РОСАВИАЦИИ ЗА 2017 ГОД.
7. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЁТОВ В ЦЕНТРАЛЬНОМ МТУ РОСАВИАЦИИ ЗА 2018 ГОД.
8. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЁТОВ В ЦЕНТРАЛЬНОМ МТУ РОСАВИАЦИИ ЗА 2019 ГОД.
9. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЁТОВ В ЦЕНТРАЛЬНОМ МТУ РОСАВИАЦИИ ЗА 2020 ГОД.
10. Анго, А. Математика для электро- и радиоинженеров / А. Анго. — М. : «Наука», 1964. — 771 с.
11. Артёменко, Ю. П. Модель асинхронного двигателя в составе канала бортовой системы электроснабжения переменного тока / Ю. П. Артёменко, А. Г. Демченко // Научный вестник МГТУ ГА. — 2017. — Т.20 №1. — С. 141-151.
12. Артёменко, Ю. П. Совершенствование модели канала бортовой системы электроснабжения переменного тока / Ю. П. Артёменко, А. Г. Демченко // Научный вестник МГТУ ГА. — 2015. — №213. — С. 34-42.
13. Булгаков, А. А. Новая теория управляемых выпрямителей / А. А. Булгаков. — М. : «Наука», 1970. — 320 с.
14. Важнов, А. И. Переходные процессы в машинах переменного тока / А. И. Важнов. — Л. : Энергия. Ленингр. отд-ние, 1980. — 256 с.
15. Веников, В. А. Теория подобия и моделирования / В. А. Веников. — М. : Высшая школа, 1976. — 479 с.

16. Веников, В. А. Теория подобия и моделирования применительно к задачам электроэнергетики / В. А. Веников. — М. : Высшая школа, 1966. — 487 с.
17. Веников, В. А. Переходные процессы в электрических системах / В. А. Веников, Л. А. Жуков. — М. : Л. : ГЭИ, 1963. — 233 с.
18. Веников, В. А. Математические основы теории автоматического управления режимами электросистем / В. А. Веников, И. В. Литкенс. — М. : Высшая школа, 1964. — 202 с.
19. Веретенников, Л. П. Исследование процессов в судовых электроэнергетических системах. Теория и методы / Л. П. Веретенников. — Л. : Судостроение, 1975. — 375 с.
20. Вольдек, А. И. Электрические машины / А. И. Вольдек. — Л. : Энергия, 1974. — 840 с.
21. Воробьёв, В. Г. Основы теории технической эксплуатации пилотажно-навигационного оборудования / В. Г. Воробьёв, В. П. Зыль, С. В. Кузнецов. — М. : Транспорт, 1999. — 334 с.
22. Воробьёв, В. Г. Диагностирование и прогнозирование технического состояния авиационного оборудования / В. Г. Воробьёв, В. В. Глухов, В. Д. Константинов и др.; под. ред. И.М. Синдеева. — М. : Транспорт, 1984. — 191 с.
23. Воробьёв, В. Г. Надёжность и техническая диагностика авиационной техники: учебник / В. Г. Воробьёв, В. Д. Константинов. — М. : МГТУ ГА, 2010. — 448 с.
24. Гантмахер, Ф. Р. Теория матриц / Ф. Р. Гантмахер. — М. : ГИТТЛ, 1954. — 576 с.
25. Гаскаров, Д. В. Прогнозирование технического состояния и надёжности радиоэлектронной аппаратуры / Д. В. Гаскаров, Т. А. Голинкевич, А. В. Мозгалевский; под. ред. Т.А. Голинкевича. — М. : «Сов. радио», 1974. — 224 с.
26. Герман-Галкин, С. Г. MATLAB & Simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК / С. Г. Герман-Галкин. — СПб. : КОРОНА-Век, 2008. — 368 с.
27. Гнеденко, Б. В. Математические методы в теории надёжности / Б. В. Гнеденко, Ю. К. Беляев, А. Д. Соловьёв. — М. : Наука, 1965. — 524 с.
28. Горев, А. А. Переходные процессы синхронной машины / А. А. Горев. — М. : Л. : ГЭИ, 1950. — 554 с.
29. Городский, Д. А. Переходные процессы в синхронных машинах / Д. А. Городский, В. С. Горохов. — ВВИА им. Н.Е. Жуковского, 1955. — 206 с.
30. ГОСТ 19431-84 Энергетика и электрификация. Термины и определения.
31. ГОСТ 19705-89. Системы электроснабжения самолетов и вертолетов. Общие требования и нормы качества электроэнергии.
32. ГОСТ 19838 Характеристика контролепригодности изделий авиационной техники. Правила изложения и оформления.

33. ГОСТ 21027-75 Системы энергетические. Термины и определения.
34. ГОСТ 24291-90 Электрическая часть электростанции и электрической сети. Термины и определения.
35. ГОСТ Р 52002-2003 Электротехника. Термины и определения основных понятий
36. ГОСТ Р 54073-2017. СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ САМОЛЕТОВ И ВЕРТОЛЕТОВ Общие требования и нормы качества электроэнергии.
37. ГОСТ Р 54130. Качество электрической энергии. Термины и определения.
38. ГОСТ Р 7.0.11-2011 «Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления».
39. Грузов, Л. Н. Методы математического исследования электрических машин / Л. Н. Грузов. — М. : Л. : ГЭИ, 1958. — 264 с.
40. Гусейнов, А. М. Расчет в фазных координатах несимметричных установившихся и переходных режимов в сложных электроэнергетических системах / А. М. Гусейнов, Ф. Ш. Ибрагимов // Электричество. — 2012. — №5. — С. 10-17.
41. Давыдов, П. С. Техническая диагностика радиоэлектронных устройств и систем / П. С. Давыдов. — М. : Радио и связь, 1988. — 256 с.
42. Дед, А. В. Имитационное моделирование в MATLAB длительных несимметричных режимов систем электроснабжения / А. В. Дед, С. В. Бирюков, А. В. Паршукова // Омский научный вестник. — 2015. — №3(143). — С. 248-250.
43. Демченко, А. Г. Модель канала бортовой системы электроснабжения переменного тока, работающего на обобщенную несимметричную трехфазную нагрузку / А. Г. Демченко // Научный вестник МГТУ ГА. — 2017. — Т. 20, №1. — С. 194-203.
44. Демченко, А. Г. Модель канала бортовой системы электроснабжения переменного тока / А. Г. Демченко // Научный вестник МГТУ ГА. — 2014. — №201. — С. 74-85.
45. Демченко, А. Г. Моделирование параллельной работы бортовой системы электроснабжения переменного тока в пакете MATLAB / А. Г. Демченко, Ю. П. Артёменко // Научный вестник МГТУ ГА №185. — Москва: РИО МГТУ ГА. — 2012. — С. 55-60.
46. Демченко, А. Г. Моделирование элементов бортовых систем электроснабжения в программной среде MATLAB / А. Г. Демченко // Московская молодёжная научно-практическая конференция «Инновации в авиации и космонавтике - 2012». Сборник тезисов докладов. — М. : ООО «Принт-салон». — 2012. — С. 13,14.
47. Демченко, А. Г. Математическое моделирование бортовых систем электроснабжения постоянного тока / А. Г. Демченко // Московская молодёжная научно-практическая конференция «Инновации в авиации и космонавтике - 2014». Сборник тезисов докладов. — М. : ООО «Принт-салон». — 2014. — С. 25,26.

48. Демченко, А. Г. Имитационная модель авиационного синхронного генератора / А. Г. Демченко // ЭЛЕКТРОПИТАНИЕ. — 2017. — №4. — С. 26-38.
49. Демченко, А. Г. Имитационная модель канала бортовой системы электроснабжения переменного тока / А. Г. Демченко // Научные чтения по авиации, посвящённые памяти Н.Е. Жуковского. — 2019. — №6. — С. 134-143.
50. Демченко, А. Г. О влиянии на качество электроэнергии бортовой системы электроснабжения переменного тока нелинейных, импульсно-периодических и моторных нагрузок, имитируемых бортовыми приёмниками электроэнергии / А. Г. Демченко // XI Международная научно-техническая конференция «Гражданская авиация на современном этапе развития науки, техники и общества», посвящённая 45-летию университета (МНТК-2016). Сборник тезисов докладов. — Академия имени Н. Е. Жуковского. — 2016. — С. 124.
51. Демченко, А. Г. Авиационный синхронный генератор как объект имитационного моделирования / А. Г. Демченко // XII Международная научно-техническая конференция «Гражданская авиация на современном этапе развития науки, техники и общества», посвящённая 95-летию гражданской авиации (МНТК-2018). Сборник тезисов докладов. — Академия имени Н. Е. Жуковского. — 2018. — С. 45.
52. Дружинин, Г. В. Надёжность систем автоматики / Г. В. Дружинин. — М. : Энергия, 1967. — 527 с.
53. Дьяконов, В. П. Simulink 4. Специальный справочник / В. П. Дьяконов. — СПб. : Питер, 2002. — 528 с.
54. Жданов, П. С. Устойчивость электрических систем / П. С. Жданов. — Госэнергоиздат., 1948. — 399 с.
55. Забродин, Ю. С. Промышленная электроника / Ю. С. Забродин. — М. : Высшая школа, 1982. — 496 с.
56. Закарюкин, В. П. Моделирование элементов электрических систем в фазных координатах / В. П. Закарюкин, А. В. Крюков // Вестник иркутского государственного технического университета. — 2005. — №3-1(23). — С. 96-102.
57. Казовский, Е. Я. Некоторые вопросы переходных режимов в асинхронных и синхронных машинах / Е. Я. Казовский. — Госэнергоиздат, 1953. — 120 с.
58. Кимбарк, Э. Синхронные машины и устойчивость электрических систем / Э. Кимбарк. — М. : Л. : ГЭИ, 1960. — 392 с.
59. Кокс, Д. Теория восстановления / Д. Кокс, В. Смит. — М. : Сов. Радио, 1967. — 299 с.
60. Коллатц, Л. Численные решения дифференциальных уравнений / Л. Коллатц. — М. : Изд-во иностр. лит., 1953. — 460 с.

61. Конкордиа, Ч. Синхронные машины / Ч. Конкордиа. — М. : Л. : ГЭИ, 1959. — 272 с.
62. Константинов, В.Д. Основы технической эксплуатации авиационной техники / В. Д. Константинов. — М. : МГТУ ГА, 2004. — 225 с.
63. Константинов, В. Д. Методы контроля технического состояния авиационного оборудования / В. Д. Константинов, В. В. Глухов, Г. А. Куликов. — М. : МИИГА, 1986. — 96 с.
64. Краснов, В. В. Методы математического моделирования судовых электроэнергетических систем / В. В. Краснов. — Николаев : НКИ, 1972. — 88 с.
65. Крон, Г. Применение тензорного анализа в электротехнике / Г. Крон. — М. : Госэнергоиздат, 1955. — 276 с.
66. Лазарев, Ю. Моделирование процессов и систем в MATLAB. Учебный курс / Ю. Лазарев. — СПб. : БХВ-Петербург, 2005. — 511 с.
67. Мамиконянц, Л. Г. Анализ некоторых аспектов переходных и асинхронных режимов синхронных и асинхронных машин / Л. Г. Мамиконянц; под ред. Ю.Г. Шакаряна. — М. : ЭЛЕКС-КМ, 2006. — 368 с.
68. Машошин, О. Ф. Диагностика авиационной техники / О. Ф. Машошин. — М. : МГТУ ГА, 2007. — 141 с.
69. Мелешкин, Г. А. Переходные режимы судовых электроэнергетических систем / Г. А. Мелешкин. — Л. : «Судостроение», 1971. — 344 с.
70. Мельников, Н. А. Матричный метод анализа электрических цепей / Н. А. Мельников. — М. : Л. : «Энергия», 1966. — 216 с.
71. Михневич, Г. В. Синтез структуры системы автоматического регулирования возбуждения синхронных машин / Г. В. Михневич. — М. : «Наука», 1964. — 231 с.
72. Мишин, С. В. Особенности рабочих процессов в электромеханических системах генерирования переменного тока постоянной частоты / С. В. Мишин, И. В. Мишина // Научный вестник МГТУ ГА. — 2012. — №185. — С. 138-145.
73. Мозгалеvский, А. В. Техническая диагностика / А. В. Мозгалеvский, Д. В. Гаскаров. — М. : Высшая школа, 1975. — 206 с.
74. Морозовский, В. Т. Системы электроснабжения летательных аппаратов / В. Т. Морозовский, И. М. Синдеев, К. Д. Рунов. — М. : «Машиностроение», 1973. — 420 с.
75. Паллен, К. А. Топологические и матричные методы (теория и применение) / К. А. Паллен. — М. : Л. : «Энергия», 1966. — 96 с.
76. Полоvко, А. М. Основы теории надёжности / А. М. Полоvко. — М. : Наука, 1964. — 446 с.
77. Прянишников, В. А. Электроника. Курс лекций / В. А. Прянишников. — СПб. : Корона Принт, 1998. — 399 с.

78. Раимов, М. М. Моделирование элементов корабельных электроэнергетических систем / М. М. Раимов. — Л. : ВМОЛА, 1971. — 229 с.
79. Савелов, А. А. Превентивное управление в системах управления нагрузками / А. А. Савелов // Электропитание. — 2017. — №3. — С. 6-9.
80. Савелов, А. А. Применение моделирования для исследования режимов работы бортовых систем электроснабжения / А. А. Савелов, А. Г. Демченко // Научные чтения по авиации, посвящённые памяти Н.Е. Жуковского. — 2018. — №6. — С. 423-432.
81. Савелов, А. А. Моделирование как мощный инструмент для исследования режимов работы бортовых систем электроснабжения / А. А. Савелов, А. Г. Демченко // XII Международная научно-техническая конференция «Гражданская авиация на современном этапе развития науки, техники и общества», посвящённая 95-летию гражданской авиации (МНТК-2018). Сборник тезисов докладов. — Академия имени Н. Е. Жуковского. — 2018. — С. 46.
82. Савелов, А. А. Оценка точности результатов имитационного моделирования авиационного синхронного генератора / А. А. Савелов, А. Г. Демченко // XII Международная научно-техническая конференция «Гражданская авиация на современном этапе развития науки, техники и общества», посвящённая 95-летию гражданской авиации (МНТК-2018). Сборник тезисов докладов. — Академия имени Н. Е. Жуковского. — 2018. — С. 47.
83. Свешников, А. А. Основы теории ошибок / А. А. Свешников. — Л. : Изд. ЛГУ, 1972. — 126 с.
84. Синдеев, И. М. Системы электроснабжения воздушных судов: Учеб. для вузов / И. М. Синдеев, А. А. Савелов. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Транспорт, 1990. — 296 с.
85. Сорокер, Т. Г. Переходные процессы синхронных машин / Т. Г. Сорокер. — М. : Высшая школа, 1960. — 48 с.
86. Страхов, С. В. Переходные процессы в электрических цепях, содержащих машины переменного тока / С. В. Страхов. — М. : Л. : ГЭИ, 1960. — 247 с.
87. Тетельбаум, И. М. Электрическое моделирование / И. М. Тетельбаум. — М. : Физматгиз, 1959. — 319 с.
88. Тимофеев, В. А. Инженерные методы расчёта и исследования динамических систем / В. А. Тимофеев. — Л. : «Энергия», 1975. — 319 с.
89. Трещев, И. И. Несимметричные режимы судовых машин переменного тока / И. И. Трещев. — Л. : «Судостроение», 1965. — 248 с.
90. Ульянов, С. А. Электромагнитные переходные процессы в электрических системах / С. А. Ульянов. — М. : Л. : «Энергия», 1964. — 705 с.
91. Урусов, И. Д. Линейная теория колебаний синхронной машины / И. Д. Урусов. — М. : Л. : Изд-во АН СССР, 1960. — 166 с.

92. Халютин, С. П. Математическое моделирование электроэнергетических комплексов самолетов с использованием объектного подхода / С. П. Халютин // Научный вестник МГТУ ГА. — 2007. — №115. — С. 105-111.
93. Халютин, С. П. Структурно-функциональное моделирование электроэнергетических систем самолета / С. П. Халютин, Б. В. Жмуров // Проблемы безопасности полетов. — 2009. — № 6. — С. 45-53.
94. Халютин, С. П. Объектно-энергетическая математическая модель выпрямительного устройства / С. П. Халютин, Б. В. Жмуров // Научный вестник МГТУ ГА. — 2007. — №115. — С. 115-124.
95. Халютин, С. П. Моделирование ненормальных режимов систем электроснабжения летательных аппаратов на основе объектно-энергетического подхода / С. П. Халютин, Б. В. Жмуров, Я. В. Морошкин // Труды международного симпозиума «Надежность и качество». — 2008. — Т. 1. — С. 391-394.
96. Халютин, С. П. Элементы объектно-энергетической модели синхронного генератора серии ГТ в фазной системе координат / С. П. Халютин, Б. В. Жмуров, Я. В. Морошкин // Научный вестник МГТУ ГА. — 2007. — №115. — С. 124-132.
97. Халютин, С. П. Моделирование сложных электроэнергетических систем летательных аппаратов / С. П. Халютин, М. Л. Тюляев, Б. В. Жмуров, И. Е. Старостин. — М. : ВВА им. проф. Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина, 2010. — 187 с.
98. Халютин, С. П. Системы электроснабжения летательных аппаратов / С. П. Халютин, М. Л. Тюляев, Б. В. Жмуров, В. В. Иванов, В. А. Савенко, С. М. Мусин. — М. : Издательство ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», 2010. — 428 с.
99. Хэпп, Х. Диагностика и электрические цепи / Х. Хэпп. — М. : «Мир», 1974. — 343 с.
100. Черных, И. В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink / И. В. Черных. — М. : ДМК Пресс : Спб. : Питер, 2008. — 288 с.
101. Черных, И. В. SIMULINK среда создания инженерных приложений / И. В. Черных. — М. : ДИАЛОГ-МИФИ, 2004. — 491 с.
102. Чиженко, И. М. Основы преобразовательной техники / И. М. Чиженко, В. С. Руденко, В. И. Сенько. — М. : Высшая школа, 1974. — 431 с.
103. Шакарян, Ю. Г. Асинхронизированные синхронные машины / Ю. Г. Шакарян. — М. : Энергоатомиздат, 1984. — 193 с.
104. Шор, Я. Б. Статистические методы анализа и контроля качества и надёжности / Я. Б. Шор. — М. : Советское радио, 1962. — 552 с.
105. Шор, Я. Б. Таблицы для анализа и контроля надёжности / Я. Б. Шор, Ф. И. Кузьмин. — М. : Советское радио, 1968. — 288 с.

Приложение

В таблицах П.1-П.72 приведены результаты имитационного моделирования по определению коэффициентов гармонических составляющих напряжений фаз «А», «В», «С», коэффициентов искажения напряжений фаз «А», «В», «С» и действующие значения напряжений фаз «А», «В», «С» в точке регулирования для каждого отдельного технического состояния $S_{3,1} - S_{3,30}$.

Таблица П.1. Коэффициенты гармонических составляющих, коэффициент искажения напряжения и действующее значения напряжения фазы «А» при исправном техническом состоянии канала генерирования

$K_{U_{A_2}}$	$K_{U_{A_3}}$	$K_{U_{A_4}}$	$K_{U_{A_5}}$	$K_{U_{A_6}}$	$K_{U_{A_7}}$	$K_{U_{A_8}}$	$K_{U_{A_9}}$	$K_{U_{A_{10}}}$
0,105	0,208	0,234	0,0718	0,237	0,0552	0,0662	0,0997	0,0434

Таблица П.1. (продолжение)

$K_{U_{A_{11}}}$	$K_{U_{A_{12}}}$	$K_{U_{A_{13}}}$	$K_{U_{A_{14}}}$	$K_{U_{A_{15}}}$	$K_{U_{A_{16}}}$	$K_{U_{A_{17}}}$	$K_{U_{A_{18}}}$	$K_{U_{A_{19}}}$
0,144	0,112	0,143	0,159	0,0505	0,134	0,0514	0,067	0,0812

Таблица П.1. (продолжение)

$K_{U_{A_{20}}}$	$K_{U_{A_{21}}}$	$K_{U_{A_{22}}}$	$K_{U_{A_{23}}}$	$K_{U_{A_{24}}}$	$K_{U_{A_{25}}}$	$K_{U_{A_{26}}}$	$K_{U_{A_{27}}}$	$K_{U_{A_{28}}}$
0,0323	0,11	0,0759	0,171	0,304	0,376	0,107	0,216	0,0625

Таблица П.1. (продолжение)

$K_{U_{A_{29}}}$	$K_{U_{A_{30}}}$	$K_{U_{A_{31}}}$	$K_{U_{A_{32}}}$	$K_{U_{A_{33}}}$	$K_{U_{A_{34}}}$	$K_{U_{A_{35}}}$	$K_{U_{A_{36}}}$	$K_{U_{A_{37}}}$
0,173	0,0434	0,15	0,0419	0,0919	0,035	0,124	0,0239	0,0169

Таблица П.1. (продолжение)

$K_{U_{A_{38}}}$	$K_{U_{A_{39}}}$	$K_{U_{A_{40}}}$	K_{U_A}	$U_{A, B}$	$U_{A_0, B}$
0,0131	0,0157	0,012	0,854	123,3	<0,1

Таблица П.2. Коэффициенты гармонических составляющих, коэффициент искажения напряжения и действующие значения напряжения фазы «В» при исправном техническом состоянии канала генерирования

$K_{U_{B_2}}$	$K_{U_{B_3}}$	$K_{U_{B_4}}$	$K_{U_{B_5}}$	$K_{U_{B_6}}$	$K_{U_{B_7}}$	$K_{U_{B_8}}$	$K_{U_{B_9}}$	$K_{U_{B_{10}}}$
0,105	0,208	0,234	0,0718	0,237	0,0552	0,0662	0,0997	0,0434

Таблица П.2. (продолжение)

$K_{U_{B11}}$	$K_{U_{B12}}$	$K_{U_{B13}}$	$K_{U_{B14}}$	$K_{U_{B15}}$	$K_{U_{B16}}$	$K_{U_{B17}}$	$K_{U_{B18}}$	$K_{U_{B19}}$
0,144	0,112	0,143	0,159	0,0505	0,134	0,0514	0,067	0,0812

Таблица П.2. (продолжение)

$K_{U_{B20}}$	$K_{U_{B21}}$	$K_{U_{B22}}$	$K_{U_{B23}}$	$K_{U_{B24}}$	$K_{U_{B25}}$	$K_{U_{B26}}$	$K_{U_{B27}}$	$K_{U_{B28}}$
0,0323	0,11	0,0759	0,171	0,304	0,376	0,107	0,216	0,0625

Таблица П.2. (продолжение)

$K_{U_{B29}}$	$K_{U_{B30}}$	$K_{U_{B31}}$	$K_{U_{B32}}$	$K_{U_{B33}}$	$K_{U_{B34}}$	$K_{U_{B35}}$	$K_{U_{B36}}$	$K_{U_{B37}}$
0,173	0,0434	0,15	0,0419	0,0919	0,035	0,124	0,0239	0,0169

Таблица П.2. (продолжение)

$K_{U_{B38}}$	$K_{U_{B39}}$	$K_{U_{B40}}$	K_{U_B}	$U_B, В$	$U_{B0}, В$
0,0131	0,0157	0,012	0,854	123,3	<0,1

Таблица П.3. Коэффициенты гармонических составляющих, коэффициент искажения напряжения и действующие значения напряжения фазы «С» при исправном техническом состоянии канала генерирования

$K_{U_{C2}}$	$K_{U_{C3}}$	$K_{U_{C4}}$	$K_{U_{C5}}$	$K_{U_{C6}}$	$K_{U_{C7}}$	$K_{U_{C8}}$	$K_{U_{C9}}$	$K_{U_{C10}}$
0,105	0,208	0,234	0,0718	0,237	0,0552	0,0662	0,0997	0,0434

Таблица П.3. (продолжение)

$K_{U_{C11}}$	$K_{U_{C12}}$	$K_{U_{C13}}$	$K_{U_{C14}}$	$K_{U_{C15}}$	$K_{U_{C16}}$	$K_{U_{C17}}$	$K_{U_{C18}}$	$K_{U_{C19}}$
0,144	0,112	0,143	0,159	0,0505	0,134	0,0514	0,067	0,0812

Таблица П.3. (продолжение)

$K_{U_{C20}}$	$K_{U_{C21}}$	$K_{U_{C22}}$	$K_{U_{C23}}$	$K_{U_{C24}}$	$K_{U_{C25}}$	$K_{U_{C26}}$	$K_{U_{C27}}$	$K_{U_{C28}}$
0,0323	0,11	0,0759	0,171	0,304	0,376	0,107	0,216	0,0625

Таблица П.3. (продолжение)

$K_{U_{C29}}$	$K_{U_{C30}}$	$K_{U_{C31}}$	$K_{U_{C32}}$	$K_{U_{C33}}$	$K_{U_{C34}}$	$K_{U_{C35}}$	$K_{U_{C36}}$	$K_{U_{C37}}$
0,173	0,0434	0,15	0,0419	0,0919	0,035	0,124	0,0239	0,0169

Таблица П.3. (продолжение)

$K_{U_{C38}}$	$K_{U_{C39}}$	$K_{U_{C40}}$	K_{U_C}	$U_C, В$	$U_{C0}, В$
0,0131	0,0157	0,012	0,854	123,3	<0,1

Таблица П.4. Коэффициенты гармонических составляющих, коэффициент искажения напряжения и действующее значения напряжения фазы «А» при обрыве диода вращающегося выпрямителя генератора

$K_{U_{A_2}}$	$K_{U_{A_3}}$	$K_{U_{A_4}}$	$K_{U_{A_5}}$	$K_{U_{A_6}}$	$K_{U_{A_7}}$	$K_{U_{A_8}}$	$K_{U_{A_9}}$	$K_{U_{A_{10}}}$
0,105	0,208	0,234	0,0718	0,237	0,0552	0,0662	0,0997	0,0434

Таблица П.4. (продолжение)

$K_{U_{A_{11}}}$	$K_{U_{A_{12}}}$	$K_{U_{A_{13}}}$	$K_{U_{A_{14}}}$	$K_{U_{A_{15}}}$	$K_{U_{A_{16}}}$	$K_{U_{A_{17}}}$	$K_{U_{A_{18}}}$	$K_{U_{A_{19}}}$
0,144	0,112	0,143	0,159	0,0505	0,134	0,0514	0,067	0,0812

Таблица П.4. (продолжение)

$K_{U_{A_{20}}}$	$K_{U_{A_{21}}}$	$K_{U_{A_{22}}}$	$K_{U_{A_{23}}}$	$K_{U_{A_{24}}}$	$K_{U_{A_{25}}}$	$K_{U_{A_{26}}}$	$K_{U_{A_{27}}}$	$K_{U_{A_{28}}}$
0,0323	0,11	0,0759	0,171	0,304	0,376	0,107	0,216	0,0625

Таблица П.4. (продолжение)

$K_{U_{A_{29}}}$	$K_{U_{A_{30}}}$	$K_{U_{A_{31}}}$	$K_{U_{A_{32}}}$	$K_{U_{A_{33}}}$	$K_{U_{A_{34}}}$	$K_{U_{A_{35}}}$	$K_{U_{A_{36}}}$	$K_{U_{A_{37}}}$
0,173	0,0434	0,15	0,0419	0,0919	0,035	0,124	0,0239	0,0169

Таблица П.4. (продолжение)

$K_{U_{A_{38}}}$	$K_{U_{A_{39}}}$	$K_{U_{A_{40}}}$	K_{U_A}	$U_{A, B}$	$U_{A_0, B}$
0,0131	0,0157	0,012	0,854	123,3	<0,1

Таблица П.5. Коэффициенты гармонических составляющих, коэффициент искажения напряжения и действующее значения напряжения фазы «В» при обрыве диода вращающегося выпрямителя генератора

$K_{U_{B_2}}$	$K_{U_{B_3}}$	$K_{U_{B_4}}$	$K_{U_{B_5}}$	$K_{U_{B_6}}$	$K_{U_{B_7}}$	$K_{U_{B_8}}$	$K_{U_{B_9}}$	$K_{U_{B_{10}}}$
0,109	0,206	0,232	0,0711	0,23	0,0535	0,0629	0,0938	0,04

Таблица П.5. (продолжение)

$K_{U_{B_{11}}}$	$K_{U_{B_{12}}}$	$K_{U_{B_{13}}}$	$K_{U_{B_{14}}}$	$K_{U_{B_{15}}}$	$K_{U_{B_{16}}}$	$K_{U_{B_{17}}}$	$K_{U_{B_{18}}}$	$K_{U_{B_{19}}}$
0,127	0,0994	0,121	0,134	0,0439	0,104	0,0377	0,043	0,0521

Таблица П.5. (продолжение)

$K_{U_{B_{20}}}$	$K_{U_{B_{21}}}$	$K_{U_{B_{22}}}$	$K_{U_{B_{23}}}$	$K_{U_{B_{24}}}$	$K_{U_{B_{25}}}$	$K_{U_{B_{26}}}$	$K_{U_{B_{27}}}$	$K_{U_{B_{28}}}$
0,0213	0,0434	0,0354	0,0469	0,0598	0,0662	0,0344	0,0552	0,0435

Таблица П.5. (продолжение)

K_{UB29}	K_{UB30}	K_{UB31}	K_{UB32}	K_{UB33}	K_{UB34}	K_{UB35}	K_{UB36}	K_{UB37}
0,0968	0,0554	0,421	0,108	0,57	0,164	0,638	0,228	0,315

Таблица П.5. (продолжение)

K_{UB38}	K_{UB39}	K_{UB40}	K_{UB}	$U_B, В$	$U_{B0}, В$
0,105	0,166	0,103	1,2	123,2	<0,1

Таблица П.6. Коэффициенты гармонических составляющих, коэффициент искажения напряжения и действующее значения напряжения фазы «С» при обрыве диода вращающегося выпрямителя генератора

K_{UC2}	K_{UC3}	K_{UC4}	K_{UC5}	K_{UC6}	K_{UC7}	K_{UC8}	K_{UC9}	K_{UC10}
0,101	0,206	0,234	0,0709	0,23	0,0542	0,0627	0,0934	0,0398

Таблица П.6. (продолжение)

K_{UC11}	K_{UC12}	K_{UC13}	K_{UC14}	K_{UC15}	K_{UC16}	K_{UC17}	K_{UC18}	K_{UC19}
0,128	0,099	0,119	0,131	0,043	0,101	0,0388	0,0435	0,0513

Таблица П.6. (продолжение)

K_{UC20}	K_{UC21}	K_{UC22}	K_{UC23}	K_{UC24}	K_{UC25}	K_{UC26}	K_{UC27}	K_{UC28}
0,0213	0,063	0,0337	0,0581	0,051	0,0393	0,0365	0,0804	0,0365

Таблица П.6. (продолжение)

K_{UC29}	K_{UC30}	K_{UC31}	K_{UC32}	K_{UC33}	K_{UC34}	K_{UC35}	K_{UC36}	K_{UC37}
0,161	0,0401	0,227	0,0968	0,329	0,171	0,541	0,212	0,448

Таблица П.6. (продолжение)

K_{UC38}	K_{UC39}	K_{UC40}	K_{UC}	$U_C, В$	$U_{C0}, В$
0,165	0,114	0,0804	1,045	123,2	<0,1

Таблица П.7. Коэффициенты гармонических составляющих, коэффициент искажения напряжения и действующее значения напряжения фазы «А» при обрыве двух диодов одной группы плеч вращающегося выпрямителя генератора

K_{UA2}	K_{UA3}	K_{UA4}	K_{UA5}	K_{UA6}	K_{UA7}	K_{UA8}	K_{UA9}	K_{UA10}
0,224	0,447	0,449	0,152	0,173	0,115	0,134	0,186	0,0548

Таблица П.7. (продолжение)

$K_{U_{A11}}$	$K_{U_{A12}}$	$K_{U_{A13}}$	$K_{U_{A14}}$	$K_{U_{A15}}$	$K_{U_{A16}}$	$K_{U_{A17}}$	$K_{U_{A18}}$	$K_{U_{A19}}$
0,206	0,053	0,06	0,0829	0,0321	0,0977	0,0494	0,0632	0,0745

Таблица П.7. (продолжение)

$K_{U_{A20}}$	$K_{U_{A21}}$	$K_{U_{A22}}$	$K_{U_{A23}}$	$K_{U_{A24}}$	$K_{U_{A25}}$	$K_{U_{A26}}$	$K_{U_{A27}}$	$K_{U_{A28}}$
0,0346	0,1	0,107	0,0757	0,447	0,135	0,103	0,0653	0,0555

Таблица П.7. (продолжение)

$K_{U_{A29}}$	$K_{U_{A30}}$	$K_{U_{A31}}$	$K_{U_{A32}}$	$K_{U_{A33}}$	$K_{U_{A34}}$	$K_{U_{A35}}$	$K_{U_{A36}}$	$K_{U_{A37}}$
0,0577	0,0464	0,0476	0,0516	0,0397	0,0376	0,0337	0,0283	0,0158

Таблица П.7. (продолжение)

$K_{U_{A38}}$	$K_{U_{A39}}$	$K_{U_{A40}}$	K_{U_A}	$U_{A, B}$	$U_{A_0, B}$
0,015	0,00694	0,0268	0,48	116,2	<0,1

Таблица П.8. Коэффициенты гармонических составляющих, коэффициент искажения напряжения и действующее значения напряжения фазы «В» при обрыве двух диодов одной группы плеч вращающегося выпрямителя генератора

$K_{U_{B2}}$	$K_{U_{B3}}$	$K_{U_{B4}}$	$K_{U_{B5}}$	$K_{U_{B6}}$	$K_{U_{B7}}$	$K_{U_{B8}}$	$K_{U_{B9}}$	$K_{U_{B10}}$
0,225	0,444	0,446	0,151	0,169	0,112	0,127	0,174	0,0536

Таблица П.8. (продолжение)

$K_{U_{B11}}$	$K_{U_{B12}}$	$K_{U_{B13}}$	$K_{U_{B14}}$	$K_{U_{B15}}$	$K_{U_{B16}}$	$K_{U_{B17}}$	$K_{U_{B18}}$	$K_{U_{B19}}$
0,186	0,0497	0,0525	0,0677	0,0296	0,0746	0,0375	0,0434	0,0492

Таблица П.8. (продолжение)

$K_{U_{B20}}$	$K_{U_{B21}}$	$K_{U_{B22}}$	$K_{U_{B23}}$	$K_{U_{B24}}$	$K_{U_{B25}}$	$K_{U_{B26}}$	$K_{U_{B27}}$	$K_{U_{B28}}$
0,0261	0,0463	0,0479	0,0255	0,0876	0,0304	0,0444	0,0433	0,049

Таблица П.8. (продолжение)

$K_{U_{B29}}$	$K_{U_{B30}}$	$K_{U_{B31}}$	$K_{U_{B32}}$	$K_{U_{B33}}$	$K_{U_{B34}}$	$K_{U_{B35}}$	$K_{U_{B36}}$	$K_{U_{B37}}$
0,0508	0,0689	0,114	0,148	0,163	0,228	0,196	0,278	0,197

Таблица П.8. (продолжение)

$K_{U_{B38}}$	$K_{U_{B39}}$	$K_{U_{B40}}$	K_{U_B}	$U_{B, B}$	$U_{B_0, B}$
0,109	0,244	0,0752	0,994	122,3	<0,1

Таблица П.9. Коэффициенты гармонических составляющих, коэффициент искажения напряжения и действующее значения напряжения фазы «С» при обрыве двух диодов одной группы плеч вращающегося выпрямителя генератора

K_{UC_2}	K_{UC_3}	K_{UC_4}	K_{UC_5}	K_{UC_6}	K_{UC_7}	K_{UC_8}	K_{UC_9}	$K_{UC_{10}}$
0,227	0,443	0,446	0,15	0,168	0,112	0,126	0,175	0,0531

Таблица П.9. (продолжение)

$K_{UC_{11}}$	$K_{UC_{12}}$	$K_{UC_{13}}$	$K_{UC_{14}}$	$K_{UC_{15}}$	$K_{UC_{16}}$	$K_{UC_{17}}$	$K_{UC_{18}}$	$K_{UC_{19}}$
0,186	0,0486	0,0527	0,0692	0,0292	0,073	0,0381	0,042	0,0489

Таблица П.9. (продолжение)

$K_{UC_{20}}$	$K_{UC_{21}}$	$K_{UC_{22}}$	$K_{UC_{23}}$	$K_{UC_{24}}$	$K_{UC_{25}}$	$K_{UC_{26}}$	$K_{UC_{27}}$	$K_{UC_{28}}$
0,0234	0,0472	0,0463	0,032	0,0664	0,0263	0,0444	0,043	0,0445

Таблица П.9. (продолжение)

$K_{UC_{29}}$	$K_{UC_{30}}$	$K_{UC_{31}}$	$K_{UC_{32}}$	$K_{UC_{33}}$	$K_{UC_{34}}$	$K_{UC_{35}}$	$K_{UC_{36}}$	$K_{UC_{37}}$
0,0421	0,0605	0,092	0,148	0,0793	0,266	0,161	0,211	0,204

Таблица П.9. (продолжение)

$K_{UC_{38}}$	$K_{UC_{39}}$	$K_{UC_{40}}$	K_{UC}	$U_C, В$	$U_{C_0}, В$
0,148	0,189	0,0738	0,959	122,3	<0,1

Таблица П.10. Коэффициенты гармонических составляющих, коэффициент искажения напряжения и действующее значения напряжения фазы «А» при обрыве двух диодов разных групп плеч и фаз вращающегося выпрямителя генератора

K_{UA_2}	K_{UA_3}	K_{UA_4}	K_{UA_5}	K_{UA_6}	K_{UA_7}	K_{UA_8}	K_{UA_9}	$K_{UA_{10}}$
0,168	0,33	0,337	0,113	0,178	0,0968	0,12	0,144	0,0556

Таблица П.10. (продолжение)

$K_{UA_{11}}$	$K_{UA_{12}}$	$K_{UA_{13}}$	$K_{UA_{14}}$	$K_{UA_{15}}$	$K_{UA_{16}}$	$K_{UA_{17}}$	$K_{UA_{18}}$	$K_{UA_{19}}$
0,158	0,0993	0,124	0,133	0,0471	0,108	0,06	0,0767	0,0872

Таблица П.10. (продолжение)

$K_{UA_{20}}$	$K_{UA_{21}}$	$K_{UA_{22}}$	$K_{UA_{23}}$	$K_{UA_{24}}$	$K_{UA_{25}}$	$K_{UA_{26}}$	$K_{UA_{27}}$	$K_{UA_{28}}$
0,045	0,0938	0,0951	0,151	0,271	0,348	0,139	0,181	0,1

Таблица П.10. (продолжение)

$K_{U_{A29}}$	$K_{U_{A30}}$	$K_{U_{A31}}$	$K_{U_{A32}}$	$K_{U_{A33}}$	$K_{U_{A34}}$	$K_{U_{A35}}$	$K_{U_{A36}}$	$K_{U_{A37}}$
0,126	0,0516	0,0883	0,0446	0,0579	0,0348	0,0662	0,0247	0,0186

Таблица П.10. (продолжение)

$K_{U_{A38}}$	$K_{U_{A39}}$	$K_{U_{A40}}$	K_{U_A}	$U_A, В$	$U_{A0}, В$
0,017	0,0442	0,0159	0,884	123	<0,1

Таблица П.11. Коэффициенты гармонических составляющих, коэффициент искажения напряжения и действующее значения напряжения фазы «В» при обрыве двух диодов разных групп плеч и фаз вращающегося выпрямителя генератора

$K_{U_{B2}}$	$K_{U_{B3}}$	$K_{U_{B4}}$	$K_{U_{B5}}$	$K_{U_{B6}}$	$K_{U_{B7}}$	$K_{U_{B8}}$	$K_{U_{B9}}$	$K_{U_{B10}}$
0,167	0,328	0,334	0,112	0,173	0,0934	0,114	0,136	0,0521

Таблица П.11. (продолжение)

$K_{U_{B11}}$	$K_{U_{B12}}$	$K_{U_{B13}}$	$K_{U_{B14}}$	$K_{U_{B15}}$	$K_{U_{B16}}$	$K_{U_{B17}}$	$K_{U_{B18}}$	$K_{U_{B19}}$
0,142	0,0874	0,105	0,112	0,0398	0,0813	0,0439	0,0505	0,0551

Таблица П.11. (продолжение)

$K_{U_{B20}}$	$K_{U_{B21}}$	$K_{U_{B22}}$	$K_{U_{B23}}$	$K_{U_{B24}}$	$K_{U_{B25}}$	$K_{U_{B26}}$	$K_{U_{B27}}$	$K_{U_{B28}}$
0,0269	0,0417	0,0341	0,0454	0,0528	0,0668	0,0902	0,0943	0,0916

Таблица П.11. (продолжение)

$K_{U_{B29}}$	$K_{U_{B30}}$	$K_{U_{B31}}$	$K_{U_{B32}}$	$K_{U_{B33}}$	$K_{U_{B34}}$	$K_{U_{B35}}$	$K_{U_{B36}}$	$K_{U_{B37}}$
0,0997	0,0887	0,223	0,144	0,29	0,194	0,345	0,23	0,324

Таблица П.11. (продолжение)

$K_{U_{B38}}$	$K_{U_{B39}}$	$K_{U_{B40}}$	K_{U_B}	$U_B, В$	$U_{B0}, В$
0,143	0,323	0,0819	1,027	123	<0,1

Таблица П.12. Коэффициенты гармонических составляющих, коэффициент искажения напряжения и действующее значения напряжения фазы «С» при обрыве двух диодов разных групп плеч и фаз вращающегося выпрямителя генератора

$K_{U_{C2}}$	$K_{U_{C3}}$	$K_{U_{C4}}$	$K_{U_{C5}}$	$K_{U_{C6}}$	$K_{U_{C7}}$	$K_{U_{C8}}$	$K_{U_{C9}}$	$K_{U_{C10}}$
0,167	0,328	0,334	0,112	0,173	0,093	0,113	0,135	0,0519

Таблица П.12. (продолжение)

K_{UC11}	K_{UC12}	K_{UC13}	K_{UC14}	K_{UC15}	K_{UC16}	K_{UC17}	K_{UC18}	K_{UC19}
0,141	0,0878	0,104	0,111	0,0397	0,0802	0,0446	0,0498	0,0546

Таблица П.12. (продолжение)

K_{UC20}	K_{UC21}	K_{UC22}	K_{UC23}	K_{UC24}	K_{UC25}	K_{UC26}	K_{UC27}	K_{UC28}
0,0263	0,053	0,0373	0,0522	0,0395	0,0444	0,0939	0,103	0,0908

Таблица П.12. (продолжение)

K_{UC29}	K_{UC30}	K_{UC31}	K_{UC32}	K_{UC33}	K_{UC34}	K_{UC35}	K_{UC36}	K_{UC37}
0,124	0,0849	0,136	0,127	0,165	0,201	0,289	0,243	0,228

Таблица П.12. (продолжение)

K_{UC38}	K_{UC39}	K_{UC40}	K_{UC}	$U_C, В$	$U_{C0}, В$
0,144	0,194	0,0701	0,905	123	<0,1

Таблица П.13. Коэффициенты гармонических составляющих, коэффициент искажения напряжения и действующее значения напряжения фазы «А» при обрыве двух диодов разных групп плеч и одной фазы вращающегося выпрямителя генератора

K_{UA2}	K_{UA3}	K_{UA4}	K_{UA5}	K_{UA6}	K_{UA7}	K_{UA8}	K_{UA9}	K_{UA10}
0,019	0,0131	0,397	0,00373	0,618	0,00993	0,0046	0,121	0,0045

Таблица П.13. (продолжение)

K_{UA11}	K_{UA12}	K_{UA13}	K_{UA14}	K_{UA15}	K_{UA16}	K_{UA17}	K_{UA18}	K_{UA19}
0,162	0,00712	0,00371	0,0866	0,00528	0,12	0,00905	0,0105	0,0615

Таблица П.13. (продолжение)

K_{UA20}	K_{UA21}	K_{UA22}	K_{UA23}	K_{UA24}	K_{UA25}	K_{UA26}	K_{UA27}	K_{UA28}
0,0192	0,12	0,11	0,0999	0,552	0,236	0,102	0,145	0,0291

Таблица П.13. (продолжение)

K_{UA29}	K_{UA30}	K_{UA31}	K_{UA32}	K_{UA33}	K_{UA34}	K_{UA35}	K_{UA36}	K_{UA37}
0,0836	0,0303	0,0528	0,0442	0,032	0,0183	0,0253	0,0181	0,00478

Таблица П.13. (продолжение)

K_{UA38}	K_{UA39}	K_{UA40}	K_{UA}	$U_A, В$	$U_{A0}, В$
0,0145	0,00694	0,0268	0,48	116,2	<0,1

Таблица П.14. Коэффициенты гармонических составляющих, коэффициент искажения напряжения и действующее значения напряжения фазы «В» при обрыве двух диодов разных групп плеч и одной фазы вращающегося выпрямителя генератора

$K_{U_{B_2}}$	$K_{U_{B_3}}$	$K_{U_{B_4}}$	$K_{U_{B_5}}$	$K_{U_{B_6}}$	$K_{U_{B_7}}$	$K_{U_{B_8}}$	$K_{U_{B_9}}$	$K_{U_{B_{10}}}$
0,0197	0,0187	0,392	0,00895	0,602	0,0116	0,00518	0,114	0,0092

Таблица П.14. (продолжение)

$K_{U_{B_{11}}}$	$K_{U_{B_{12}}}$	$K_{U_{B_{13}}}$	$K_{U_{B_{14}}}$	$K_{U_{B_{15}}}$	$K_{U_{B_{16}}}$	$K_{U_{B_{17}}}$	$K_{U_{B_{18}}}$	$K_{U_{B_{19}}}$
0,148	0,00792	0,00707	0,0702	0,0117	0,0888	0,0107	0,00711	0,0366

Таблица П.14. (продолжение)

$K_{U_{B_{20}}}$	$K_{U_{B_{21}}}$	$K_{U_{B_{22}}}$	$K_{U_{B_{23}}}$	$K_{U_{B_{24}}}$	$K_{U_{B_{25}}}$	$K_{U_{B_{26}}}$	$K_{U_{B_{27}}}$	$K_{U_{B_{28}}}$
0,0201	0,0447	0,0519	0,0179	0,105	0,0533	0,011	0,0217	0,0218

Таблица П.14. (продолжение)

$K_{U_{B_{29}}}$	$K_{U_{B_{30}}}$	$K_{U_{B_{31}}}$	$K_{U_{B_{32}}}$	$K_{U_{B_{33}}}$	$K_{U_{B_{34}}}$	$K_{U_{B_{35}}}$	$K_{U_{B_{36}}}$	$K_{U_{B_{37}}}$
0,00857	0,0666	0,174	0,116	0,159	0,212	0,194	0,251	0,193

Таблица П.14. (продолжение)

$K_{U_{B_{38}}}$	$K_{U_{B_{39}}}$	$K_{U_{B_{40}}}$	K_{U_B}	$U_B, В$	$U_{B_0}, В$
0,131	0,262	0,154	0,977	123	<0,1

Таблица П.15. Коэффициенты гармонических составляющих, коэффициент искажения напряжения и действующее значения напряжения фазы «С» при обрыве двух диодов разных групп плеч и одной фазы вращающегося выпрямителя генератора

$K_{U_{C_2}}$	$K_{U_{C_3}}$	$K_{U_{C_4}}$	$K_{U_{C_5}}$	$K_{U_{C_6}}$	$K_{U_{C_7}}$	$K_{U_{C_8}}$	$K_{U_{C_9}}$	$K_{U_{C_{10}}}$
0,0193	0,0167	0,393	0,012	0,6	0,0102	0,0012	0,115	0,00591

Таблица П.15. (продолжение)

$K_{U_{C_{11}}}$	$K_{U_{C_{12}}}$	$K_{U_{C_{13}}}$	$K_{U_{C_{14}}}$	$K_{U_{C_{15}}}$	$K_{U_{C_{16}}}$	$K_{U_{C_{17}}}$	$K_{U_{C_{18}}}$	$K_{U_{C_{19}}}$
0,145	0,00792	0,00424	0,0717	0,00766	0,0879	0,00885	0,00359	0,0395

Таблица П.15. (продолжение)

$K_{U_{C_{20}}}$	$K_{U_{C_{21}}}$	$K_{U_{C_{22}}}$	$K_{U_{C_{23}}}$	$K_{U_{C_{24}}}$	$K_{U_{C_{25}}}$	$K_{U_{C_{26}}}$	$K_{U_{C_{27}}}$	$K_{U_{C_{28}}}$
0,0136	0,0566	0,0586	0,027	0,0796	0,0318	0,015	0,0307	0,0274

Таблица П.15. (продолжение)

K_{UC29}	K_{UC30}	K_{UC31}	K_{UC32}	K_{UC33}	K_{UC34}	K_{UC35}	K_{UC36}	K_{UC37}
0,0507	0,0728	0,129	0,121	0,0713	0,296	0,0563	0,119	0,123

Таблица П.15. (продолжение)

K_{UC38}	K_{UC39}	K_{UC40}	K_{UC}	$U_C, В$	$U_{C0}, В$
0,21	0,137	0,108	0,907	122,93	<0,1

Таблица П.16. Коэффициенты гармонических составляющих, коэффициент искажения напряжения и действующее значения напряжения фазы «А» при коротком замыкании диода вращающегося выпрямителя генератора

K_{UA2}	K_{UA3}	K_{UA4}	K_{UA5}	K_{UA6}	K_{UA7}	K_{UA8}	K_{UA9}	K_{UA10}
0,384	0,601	1,311	0,393	1,986	0,805	1,051	1,422	0,5

Таблица П.16. (продолжение)

K_{UA11}	K_{UA12}	K_{UA13}	K_{UA14}	K_{UA15}	K_{UA16}	K_{UA17}	K_{UA18}	K_{UA19}
1,612	0,762	0,948	1,651	0,582	2,156	1,081	1,468	1,995

Таблица П.16. (продолжение)

K_{UA20}	K_{UA21}	K_{UA22}	K_{UA23}	K_{UA24}	K_{UA25}	K_{UA26}	K_{UA27}	K_{UA28}
1,081	2,945	3,429	3,179	9,965	6,754	4,697	3,127	2,685

Таблица П.16. (продолжение)

K_{UA29}	K_{UA30}	K_{UA31}	K_{UA32}	K_{UA33}	K_{UA34}	K_{UA35}	K_{UA36}	K_{UA37}
2,341	1,678	1,828	1,465	1,382	1,112	1,234	0,769	0,508

Таблица П.16. (продолжение)

K_{UA38}	K_{UA39}	K_{UA40}	K_{UA}	$U_A, В$	$U_{A0}, В$
0,381	1,096	0,334	16,31	152,4	<0,1

Таблица П.17. Коэффициенты гармонических составляющих, коэффициент искажения напряжения и действующее значения напряжения фазы «В» при коротком замыкании диода вращающегося выпрямителя генератора

K_{UB2}	K_{UB3}	K_{UB4}	K_{UB5}	K_{UB6}	K_{UB7}	K_{UB8}	K_{UB9}	K_{UB10}
0,364	0,586	1,283	0,363	1,927	0,768	0,982	1,32	0,431

Таблица П.17. (продолжение)

$K_{U_{B11}}$	$K_{U_{B12}}$	$K_{U_{B13}}$	$K_{U_{B14}}$	$K_{U_{B15}}$	$K_{U_{B16}}$	$K_{U_{B17}}$	$K_{U_{B18}}$	$K_{U_{B19}}$
1,438	0,658	0,781	1,346	0,437	1,595	0,762	0,916	1,183

Таблица П.17. (продолжение)

$K_{U_{B20}}$	$K_{U_{B21}}$	$K_{U_{B22}}$	$K_{U_{B23}}$	$K_{U_{B24}}$	$K_{U_{B25}}$	$K_{U_{B26}}$	$K_{U_{B27}}$	$K_{U_{B28}}$
0,551	1,356	1,35	1,218	2,142	1,176	1,803	1,968	1,806

Таблица П.17. (продолжение)

$K_{U_{B29}}$	$K_{U_{B30}}$	$K_{U_{B31}}$	$K_{U_{B32}}$	$K_{U_{B33}}$	$K_{U_{B34}}$	$K_{U_{B35}}$	$K_{U_{B36}}$	$K_{U_{B37}}$
2,206	1,981	4,105	3,483	5,56	5,165	6,737	7,939	7,199

Таблица П.17. (продолжение)

$K_{U_{B38}}$	$K_{U_{B39}}$	$K_{U_{B40}}$	K_{U_B}	$U_B, В$	$U_{B0}, В$
3,219	7,779	1,722	19,27	153,2	<0,1

Таблица П.18. Коэффициенты гармонических составляющих, коэффициент искажения напряжения и действующее значения напряжения фазы «С» при коротком замыкании диода вращающегося выпрямителя генератора

$K_{U_{C2}}$	$K_{U_{C3}}$	$K_{U_{C4}}$	$K_{U_{C5}}$	$K_{U_{C6}}$	$K_{U_{C7}}$	$K_{U_{C8}}$	$K_{U_{C9}}$	$K_{U_{C10}}$
0,353	0,586	1,282	0,353	1,923	0,759	0,98	1,308	0,416

Таблица П.18. (продолжение)

$K_{U_{C11}}$	$K_{U_{C12}}$	$K_{U_{C13}}$	$K_{U_{C14}}$	$K_{U_{C15}}$	$K_{U_{C16}}$	$K_{U_{C17}}$	$K_{U_{C18}}$	$K_{U_{C19}}$
1,436	0,649	0,782	1,333	0,407	1,601	0,749	0,915	1,162

Таблица П.18. (продолжение)

$K_{U_{C20}}$	$K_{U_{C21}}$	$K_{U_{C22}}$	$K_{U_{C23}}$	$K_{U_{C24}}$	$K_{U_{C25}}$	$K_{U_{C26}}$	$K_{U_{C27}}$	$K_{U_{C28}}$
0,53	1,371	1,321	1,61	1,848	0,928	1,841	2,032	1,574

Таблица П.18. (продолжение)

$K_{U_{C29}}$	$K_{U_{C30}}$	$K_{U_{C31}}$	$K_{U_{C32}}$	$K_{U_{C33}}$	$K_{U_{C34}}$	$K_{U_{C35}}$	$K_{U_{C36}}$	$K_{U_{C37}}$
2,201	1,383	2,711	3,053	2,974	5,186	5,479	7,094	9,695

Таблица П.18. (продолжение)

$K_{U_{C38}}$	$K_{U_{C39}}$	$K_{U_{C40}}$	K_{U_C}	$U_C, В$	$U_{C0}, В$
3,928	5,425	1,851	17,95	152,8	<0,1

Таблица П.19. Коэффициенты гармонических составляющих, коэффициент искажения напряжения и действующее значения напряжения фазы «А» при коротком замыкании двух диодов одной группы плеч вращающегося выпрямителя генератора

$K_{U_{A_2}}$	$K_{U_{A_3}}$	$K_{U_{A_4}}$	$K_{U_{A_5}}$	$K_{U_{A_6}}$	$K_{U_{A_7}}$	$K_{U_{A_8}}$	$K_{U_{A_9}}$	$K_{U_{A_{10}}}$
0,209	0,382	0,46	0,187	0,558	0,36	0,472	0,571	0,205

Таблица П.19. (продолжение)

$K_{U_{A_{11}}}$	$K_{U_{A_{12}}}$	$K_{U_{A_{13}}}$	$K_{U_{A_{14}}}$	$K_{U_{A_{15}}}$	$K_{U_{A_{16}}}$	$K_{U_{A_{17}}}$	$K_{U_{A_{18}}}$	$K_{U_{A_{19}}}$
0,583	0,302	0,376	0,626	0,223	0,811	0,396	0,527	0,773

Таблица П.19. (продолжение)

$K_{U_{A_{20}}}$	$K_{U_{A_{21}}}$	$K_{U_{A_{22}}}$	$K_{U_{A_{23}}}$	$K_{U_{A_{24}}}$	$K_{U_{A_{25}}}$	$K_{U_{A_{26}}}$	$K_{U_{A_{27}}}$	$K_{U_{A_{28}}}$
0,388	1,32	1,247	1,215	3,897	2,35	1,908	1,167	1,02

Таблица П.19. (продолжение)

$K_{U_{A_{29}}}$	$K_{U_{A_{30}}}$	$K_{U_{A_{31}}}$	$K_{U_{A_{32}}}$	$K_{U_{A_{33}}}$	$K_{U_{A_{34}}}$	$K_{U_{A_{35}}}$	$K_{U_{A_{36}}}$	$K_{U_{A_{37}}}$
0,961	0,57	0,722	0,524	0,512	0,391	0,602	0,26	0,18

Таблица П.19. (продолжение)

$K_{U_{A_{38}}}$	$K_{U_{A_{39}}}$	$K_{U_{A_{40}}}$	K_{U_A}	$U_{A, B}$	$U_{A_0, B}$
0,149	0,461	0,121	6,246	66,13	<0,1

Таблица П.20. Коэффициенты гармонических составляющих, коэффициент искажения напряжения и действующее значения напряжения фазы «В» при коротком замыкании двух диодов одной группы плеч вращающегося выпрямителя генератора

$K_{U_{B_2}}$	$K_{U_{B_3}}$	$K_{U_{B_4}}$	$K_{U_{B_5}}$	$K_{U_{B_6}}$	$K_{U_{B_7}}$	$K_{U_{B_8}}$	$K_{U_{B_9}}$	$K_{U_{B_{10}}}$
0,204	0,374	0,45	0,175	0,541	0,344	0,441	0,525	0,18

Таблица П.20. (продолжение)

$K_{U_{B_{11}}}$	$K_{U_{B_{12}}}$	$K_{U_{B_{13}}}$	$K_{U_{B_{14}}}$	$K_{U_{B_{15}}}$	$K_{U_{B_{16}}}$	$K_{U_{B_{17}}}$	$K_{U_{B_{18}}}$	$K_{U_{B_{19}}}$
0,516	0,264	0,314	0,514	0,16	0,598	0,279	0,331	0,469

Таблица П.20. (продолжение)

$K_{U_{B_{20}}}$	$K_{U_{B_{21}}}$	$K_{U_{B_{22}}}$	$K_{U_{B_{23}}}$	$K_{U_{B_{24}}}$	$K_{U_{B_{25}}}$	$K_{U_{B_{26}}}$	$K_{U_{B_{27}}}$	$K_{U_{B_{28}}}$
0,194	0,56	0,498	0,485	0,85	0,433	0,678	0,714	0,668

Таблица П.20. (продолжение)

K_{UB29}	K_{UB30}	K_{UB31}	K_{UB32}	K_{UB33}	K_{UB34}	K_{UB35}	K_{UB36}	K_{UB37}
0,734	0,601	1,882	1,184	2,676	1,966	3,029	2,57	2,603

Таблица П.20. (продолжение)

K_{UB38}	K_{UB39}	K_{UB40}	K_{UB}	$U_B, В$	$U_{B0}, В$
1,251	2,982	0,694	7,506	66,14	<0,1

Таблица П.21. Коэффициенты гармонических составляющих, коэффициент искажения напряжения и действующее значения напряжения фазы «С» при коротком замыкании двух диодов одной группы плеч вращающегося выпрямителя генератора

K_{UC2}	K_{UC3}	K_{UC4}	K_{UC5}	K_{UC6}	K_{UC7}	K_{UC8}	K_{UC9}	K_{UC10}
0,203	0,375	0,448	0,176	0,543	0,341	0,442	0,529	0,184

Таблица П.21. (продолжение)

K_{UC11}	K_{UC12}	K_{UC13}	K_{UC14}	K_{UC15}	K_{UC16}	K_{UC17}	K_{UC18}	K_{UC19}
0,522	0,261	0,314	0,511	0,164	0,602	0,277	0,345	0,467

Таблица П.21. (продолжение)

K_{UC20}	K_{UC21}	K_{UC22}	K_{UC23}	K_{UC24}	K_{UC25}	K_{UC26}	K_{UC27}	K_{UC28}
0,217	0,56	0,489	0,543	0,705	0,349	0,701	0,764	0,724

Таблица П.21. (продолжение)

K_{UC29}	K_{UC30}	K_{UC31}	K_{UC32}	K_{UC33}	K_{UC34}	K_{UC35}	K_{UC36}	K_{UC37}
0,975	0,784	1,337	1,41	1,663	2,277	2,828	3,072	3,224

Таблица П.21. (продолжение)

K_{UC38}	K_{UC39}	K_{UC40}	K_{UC}	$U_C, В$	$U_{C0}, В$
1,793	2,432	0,762	7,535	66,14	<0,1

Таблица П.22. Коэффициенты гармонических составляющих, коэффициент искажения напряжения и действующее значения напряжения фазы «А» при коротком замыкании двух диодов разных групп плеч и фаз вращающегося выпрямителя генератора

K_{UA2}	K_{UA3}	K_{UA4}	K_{UA5}	K_{UA6}	K_{UA7}	K_{UA8}	K_{UA9}	K_{UA10}
0,113	0,156	0,554	0,119	0,857	0,222	0,284	0,519	0,161

Таблица П.22. (продолжение)

$K_{U_{A11}}$	$K_{U_{A12}}$	$K_{U_{A13}}$	$K_{U_{A14}}$	$K_{U_{A15}}$	$K_{U_{A16}}$	$K_{U_{A17}}$	$K_{U_{A18}}$	$K_{U_{A19}}$
0,656	0,283	0,353	0,631	0,21	0,809	0,353	0,472	0,801

Таблица П.22. (продолжение)

$K_{U_{A20}}$	$K_{U_{A21}}$	$K_{U_{A22}}$	$K_{U_{A23}}$	$K_{U_{A24}}$	$K_{U_{A25}}$	$K_{U_{A26}}$	$K_{U_{A27}}$	$K_{U_{A28}}$
0,4	1,296	1,274	1,184	3,792	2,703	1,941	1,227	1,107

Таблица П.22. (продолжение)

$K_{U_{A29}}$	$K_{U_{A30}}$	$K_{U_{A31}}$	$K_{U_{A32}}$	$K_{U_{A33}}$	$K_{U_{A34}}$	$K_{U_{A35}}$	$K_{U_{A36}}$	$K_{U_{A37}}$
1	0,692	0,789	0,612	0,59	0,465	0,564	0,335	0,222

Таблица П.22. (продолжение)

$K_{U_{A38}}$	$K_{U_{A39}}$	$K_{U_{A40}}$	K_{U_A}	$U_{A, B}$	$U_{A_0, B}$
0,163	0,476	0,145	6,409	137,6	<0,1

Таблица П.23. Коэффициенты гармонических составляющих, коэффициент искажения напряжения и действующее значения напряжения фазы «В» при коротком замыкании двух диодов разных групп плеч и фаз вращающегося выпрямителя генератора

$K_{U_{B2}}$	$K_{U_{B3}}$	$K_{U_{B4}}$	$K_{U_{B5}}$	$K_{U_{B6}}$	$K_{U_{B7}}$	$K_{U_{B8}}$	$K_{U_{B9}}$	$K_{U_{B10}}$
0,108	0,154	0,547	0,115	0,832	0,213	0,265	0,484	0,147

Таблица П.23. (продолжение)

$K_{U_{B11}}$	$K_{U_{B12}}$	$K_{U_{B13}}$	$K_{U_{B14}}$	$K_{U_{B15}}$	$K_{U_{B16}}$	$K_{U_{B17}}$	$K_{U_{B18}}$	$K_{U_{B19}}$
0,591	0,249	0,293	0,517	0,163	0,606	0,252	0,296	0,482

Таблица П.23. (продолжение)

$K_{U_{B20}}$	$K_{U_{B21}}$	$K_{U_{B22}}$	$K_{U_{B23}}$	$K_{U_{B24}}$	$K_{U_{B25}}$	$K_{U_{B26}}$	$K_{U_{B27}}$	$K_{U_{B28}}$
0,209	0,611	0,508	0,473	0,842	0,463	0,727	0,799	0,715

Таблица П.23. (продолжение)

$K_{U_{B29}}$	$K_{U_{B30}}$	$K_{U_{B31}}$	$K_{U_{B32}}$	$K_{U_{B33}}$	$K_{U_{B34}}$	$K_{U_{B35}}$	$K_{U_{B36}}$	$K_{U_{B37}}$
0,899	0,76	1,881	1,401	2,589	2,21	3,1	3,557	3,254

Таблица П.23. (продолжение)

$K_{U_{B38}}$	$K_{U_{B39}}$	$K_{U_{B40}}$	K_{U_B}	$U_{B, B}$	$U_{B_0, B}$
1,541	3,379	0,812	8,499	137,7	<0,1

Таблица П.24. Коэффициенты гармонических составляющих, коэффициент искажения напряжения и действующее значения напряжения фазы «С» при коротком замыкании двух диодов разных групп плеч и фаз вращающегося выпрямителя генератора

K_{UC_2}	K_{UC_3}	K_{UC_4}	K_{UC_5}	K_{UC_6}	K_{UC_7}	K_{UC_8}	K_{UC_9}	$K_{UC_{10}}$
0,104	0,153	0,546	0,11	0,832	0,21	0,266	0,48	0,139

Таблица П.24. (продолжение)

$K_{UC_{11}}$	$K_{UC_{12}}$	$K_{UC_{13}}$	$K_{UC_{14}}$	$K_{UC_{15}}$	$K_{UC_{16}}$	$K_{UC_{17}}$	$K_{UC_{18}}$	$K_{UC_{19}}$
0,588	0,245	0,294	0,509	0,157	0,608	0,248	0,298	0,473

Таблица П.24. (продолжение)

$K_{UC_{20}}$	$K_{UC_{21}}$	$K_{UC_{22}}$	$K_{UC_{23}}$	$K_{UC_{24}}$	$K_{UC_{25}}$	$K_{UC_{26}}$	$K_{UC_{27}}$	$K_{UC_{28}}$
0,206	0,621	0,498	0,622	0,715	0,373	0,735	0,827	0,656

Таблица П.24. (продолжение)

$K_{UC_{29}}$	$K_{UC_{30}}$	$K_{UC_{31}}$	$K_{UC_{32}}$	$K_{UC_{33}}$	$K_{UC_{34}}$	$K_{UC_{35}}$	$K_{UC_{36}}$	$K_{UC_{37}}$
0,96	0,587	1,254	1,299	1,448	2,204	2,611	3,545	4,502

Таблица П.24. (продолжение)

$K_{UC_{38}}$	$K_{UC_{39}}$	$K_{UC_{40}}$	K_{UC}	$U_C, В$	$U_{C_0}, В$
1,898	2,473	0,892	8,242	137,7	<0,1

Таблица П.25. Коэффициенты гармонических составляющих, коэффициент искажения напряжения и действующее значения напряжения фазы «В» при обрыве фазы «А» фидера генератора

K_{UB_2}	K_{UB_3}	K_{UB_4}	K_{UB_5}	K_{UB_6}	K_{UB_7}	K_{UB_8}	K_{UB_9}	$K_{UB_{10}}$
0,00788	0,0427	0,00393	0,0164	0,0019	0,0215	0,00393	0,0231	0,0117

Таблица П.25. (продолжение)

$K_{UB_{11}}$	$K_{UB_{12}}$	$K_{UB_{13}}$	$K_{UB_{14}}$	$K_{UB_{15}}$	$K_{UB_{16}}$	$K_{UB_{17}}$	$K_{UB_{18}}$	$K_{UB_{19}}$
0,021	0,0227	0,0169	0,113	0,0107	0,152	0,00581	0,0308	0,00212

Таблица П.25. (продолжение)

$K_{UB_{20}}$	$K_{UB_{21}}$	$K_{UB_{22}}$	$K_{UB_{23}}$	$K_{UB_{24}}$	$K_{UB_{25}}$	$K_{UB_{26}}$	$K_{UB_{27}}$	$K_{UB_{28}}$
0,0228	0,00389	0,0164	0,0107	0,0086	0,0232	0,00475	0,0323	0,00838

Таблица П.25. (продолжение)

$K_{U_{B29}}$	$K_{U_{B30}}$	$K_{U_{B31}}$	$K_{U_{B32}}$	$K_{U_{B33}}$	$K_{U_{B34}}$	$K_{U_{B35}}$	$K_{U_{B36}}$	$K_{U_{B37}}$
0,104	0,0201	0,271	0,0946	0,23	0,0686	0,193	0,115	0,166

Таблица П.25. (продолжение)

$K_{U_{B38}}$	$K_{U_{B39}}$	$K_{U_{B40}}$	K_{U_B}	$U_B, В$	$U_{B0}, В$
0,0476	0,0487	0,0582	0,53	119,4	<0,1

Таблица П.26. Коэффициенты гармонических составляющих, коэффициент искажения напряжения и действующее значения напряжения фазы «С» при обрыве фазы «А» фидера генератора

$K_{U_{C2}}$	$K_{U_{C3}}$	$K_{U_{C4}}$	$K_{U_{C5}}$	$K_{U_{C6}}$	$K_{U_{C7}}$	$K_{U_{C8}}$	$K_{U_{C9}}$	$K_{U_{C10}}$
0,00639	0,0384	0,00225	0,011	0,00124	0,00916	0,00252	0,00919	0,00415

Таблица П.26. (продолжение)

$K_{U_{C11}}$	$K_{U_{C12}}$	$K_{U_{C13}}$	$K_{U_{C14}}$	$K_{U_{C15}}$	$K_{U_{C16}}$	$K_{U_{C17}}$	$K_{U_{C18}}$	$K_{U_{C19}}$
0,00931	0,00589	0,00872	0,145	0,00507	0,146	0,00414	0,0109	0,00308

Таблица П.26. (продолжение)

$K_{U_{C20}}$	$K_{U_{C21}}$	$K_{U_{C22}}$	$K_{U_{C23}}$	$K_{U_{C24}}$	$K_{U_{C25}}$	$K_{U_{C26}}$	$K_{U_{C27}}$	$K_{U_{C28}}$
0,00779	0,00359	0,00698	0,00543	0,00562	0,00905	0,00271	0,00755	0,0044

Таблица П.26. (продолжение)

$K_{U_{C29}}$	$K_{U_{C30}}$	$K_{U_{C31}}$	$K_{U_{C32}}$	$K_{U_{C33}}$	$K_{U_{C34}}$	$K_{U_{C35}}$	$K_{U_{C36}}$	$K_{U_{C37}}$
0,163	0,0214	0,17	0,086	0,0575	0,0833	0,248	0,0337	0,0725

Таблица П.26. (продолжение)

$K_{U_{C38}}$	$K_{U_{C39}}$	$K_{U_{C40}}$	K_{U_C}	$U_C, В$	$U_{C0}, В$
0,105	0,105	0,0537	0,46	119,4	<0,1

Таблица П.27. Коэффициенты гармонических составляющих, коэффициент искажения напряжения и действующее значения напряжения фазы «А» при обрыве фазы «В» фидера генератора

$K_{U_{A2}}$	$K_{U_{A3}}$	$K_{U_{A4}}$	$K_{U_{A5}}$	$K_{U_{A6}}$	$K_{U_{A7}}$	$K_{U_{A8}}$	$K_{U_{A9}}$	$K_{U_{A10}}$
0,00661	0,0405	0,00236	0,0111	0,00146	0,00927	0,00276	0,01	0,00453

Таблица П.27. (продолжение)

$K_{U_{A11}}$	$K_{U_{A12}}$	$K_{U_{A13}}$	$K_{U_{A14}}$	$K_{U_{A15}}$	$K_{U_{A16}}$	$K_{U_{A17}}$	$K_{U_{A18}}$	$K_{U_{A19}}$
0,0104	0,00468	0,0103	0,173	0,00638	0,191	0,00587	0,0218	0,00414

Таблица П.27. (продолжение)

$K_{U_{A20}}$	$K_{U_{A21}}$	$K_{U_{A22}}$	$K_{U_{A23}}$	$K_{U_{A24}}$	$K_{U_{A25}}$	$K_{U_{A26}}$	$K_{U_{A27}}$	$K_{U_{A28}}$
0,0201	0,00765	0,0282	0,0919	0,0277	0,274	0,0209	0,182	0,01

Таблица П.27. (продолжение)

$K_{U_{A29}}$	$K_{U_{A30}}$	$K_{U_{A31}}$	$K_{U_{A32}}$	$K_{U_{A33}}$	$K_{U_{A34}}$	$K_{U_{A35}}$	$K_{U_{A36}}$	$K_{U_{A37}}$
0,251	0,00724	0,147	0,00739	0,0551	0,019	0,0233	0,0152	0,0156

Таблица П.27. (продолжение)

$K_{U_{A38}}$	$K_{U_{A39}}$	$K_{U_{A40}}$	K_{U_A}	$U_{A, B}$	$U_{A_0, B}$
0,0113	0,00896	0,00848	0,528	119,5	<0,1

Таблица П.28. Коэффициенты гармонических составляющих, коэффициент искажения напряжения и действующее значения напряжения фазы «С» при обрыве фазы «В» фидера генератора

$K_{U_{C2}}$	$K_{U_{C3}}$	$K_{U_{C4}}$	$K_{U_{C5}}$	$K_{U_{C6}}$	$K_{U_{C7}}$	$K_{U_{C8}}$	$K_{U_{C9}}$	$K_{U_{C10}}$
0,00836	0,0469	0,00391	0,0158	0,00136	0,021	0,00485	0,023	0,0126

Таблица П.28. (продолжение)

$K_{U_{C11}}$	$K_{U_{C12}}$	$K_{U_{C13}}$	$K_{U_{C14}}$	$K_{U_{C15}}$	$K_{U_{C16}}$	$K_{U_{C17}}$	$K_{U_{C18}}$	$K_{U_{C19}}$
0,0209	0,0216	0,017	0,11	0,011	0,148	0,0058	0,0342	0,00161

Таблица П.28. (продолжение)

$K_{U_{C20}}$	$K_{U_{C21}}$	$K_{U_{C22}}$	$K_{U_{C23}}$	$K_{U_{C24}}$	$K_{U_{C25}}$	$K_{U_{C26}}$	$K_{U_{C27}}$	$K_{U_{C28}}$
0,024	0,00267	0,0184	0,0191	0,0141	0,026	0,00828	0,127	0,00651

Таблица П.28. (продолжение)

$K_{U_{C29}}$	$K_{U_{C30}}$	$K_{U_{C31}}$	$K_{U_{C32}}$	$K_{U_{C33}}$	$K_{U_{C34}}$	$K_{U_{C35}}$	$K_{U_{C36}}$	$K_{U_{C37}}$
0,153	0,0262	0,321	0,0287	0,138	0,146	0,141	0,18	0,201

Таблица П.28. (продолжение)

$K_{U_{C38}}$	$K_{U_{C39}}$	$K_{U_{C40}}$	K_{U_C}	$U_{C, B}$	$U_{C_0, B}$
0,0911	0,148	0,0333	0,593	119,35	<0,1

Таблица П.29. Коэффициенты гармонических составляющих, коэффициент искажения напряжения и действующее значения напряжения фазы «А» при обрыве фазы «С» фидера генератора

$K_{U_{A_2}}$	$K_{U_{A_3}}$	$K_{U_{A_4}}$	$K_{U_{A_5}}$	$K_{U_{A_6}}$	$K_{U_{A_7}}$	$K_{U_{A_8}}$	$K_{U_{A_9}}$	$K_{U_{A_{10}}}$
0,00832	0,0564	0,00412	0,0161	0,00184	0,022	0,00403	0,0241	0,0128

Таблица П.29. (продолжение)

$K_{U_{A_{11}}}$	$K_{U_{A_{12}}}$	$K_{U_{A_{13}}}$	$K_{U_{A_{14}}}$	$K_{U_{A_{15}}}$	$K_{U_{A_{16}}}$	$K_{U_{A_{17}}}$	$K_{U_{A_{18}}}$	$K_{U_{A_{19}}}$
0,0217	0,0269	0,0182	0,134	0,0114	0,2	0,00598	0,0501	0,00331

Таблица П.29. (продолжение)

$K_{U_{A_{20}}}$	$K_{U_{A_{21}}}$	$K_{U_{A_{22}}}$	$K_{U_{A_{23}}}$	$K_{U_{A_{24}}}$	$K_{U_{A_{25}}}$	$K_{U_{A_{26}}}$	$K_{U_{A_{27}}}$	$K_{U_{A_{28}}}$
0,0385	0,0261	0,0468	0,171	0,0295	0,436	0,0371	0,202	0,0328

Таблица П.29. (продолжение)

$K_{U_{A_{29}}}$	$K_{U_{A_{30}}}$	$K_{U_{A_{31}}}$	$K_{U_{A_{32}}}$	$K_{U_{A_{33}}}$	$K_{U_{A_{34}}}$	$K_{U_{A_{35}}}$	$K_{U_{A_{36}}}$	$K_{U_{A_{37}}}$
0,204	0,025	0,149	0,0262	0,0479	0,0227	0,0342	0,00932	0,0143

Таблица П.29. (продолжение)

$K_{U_{A_{38}}}$	$K_{U_{A_{39}}}$	$K_{U_{A_{40}}}$	K_{U_A}	$U_{A, B}$	$U_{A_0, B}$
0,00527	0,0127	0,00473	0,535	119,52	<0,1

Таблица П.30. Коэффициенты гармонических составляющих, коэффициент искажения напряжения и действующее значения напряжения фазы «В» при обрыве фазы «С» фидера генератора

$K_{U_{B_2}}$	$K_{U_{B_3}}$	$K_{U_{B_4}}$	$K_{U_{B_5}}$	$K_{U_{B_6}}$	$K_{U_{B_7}}$	$K_{U_{B_8}}$	$K_{U_{B_9}}$	$K_{U_{B_{10}}}$
0,00684	0,0528	0,00238	0,0109	0,00163	0,0084	0,00268	0,00937	0,00436

Таблица П.30. (продолжение)

$K_{U_{B_{11}}}$	$K_{U_{B_{12}}}$	$K_{U_{B_{13}}}$	$K_{U_{B_{14}}}$	$K_{U_{B_{15}}}$	$K_{U_{B_{16}}}$	$K_{U_{B_{17}}}$	$K_{U_{B_{18}}}$	$K_{U_{B_{19}}}$
0,00907	0,00636	0,00843	0,141	0,00455	0,145	0,00417	0,0154	0,0036

Таблица П.30. (продолжение)

$K_{U_{B_{20}}}$	$K_{U_{B_{21}}}$	$K_{U_{B_{22}}}$	$K_{U_{B_{23}}}$	$K_{U_{B_{24}}}$	$K_{U_{B_{25}}}$	$K_{U_{B_{26}}}$	$K_{U_{B_{27}}}$	$K_{U_{B_{28}}}$
0,00989	0,0119	0,0109	0,0559	0,00329	0,065	0,0102	0,0331	0,00509

Таблица П.30. (продолжение)

$K_{U_{B29}}$	$K_{U_{B30}}$	$K_{U_{B31}}$	$K_{U_{B32}}$	$K_{U_{B33}}$	$K_{U_{B34}}$	$K_{U_{B35}}$	$K_{U_{B36}}$	$K_{U_{B37}}$
0,158	0,00817	0,297	0,0352	0,197	0,0743	0,105	0,0872	0,202

Таблица П.30. (продолжение)

$K_{U_{B38}}$	$K_{U_{B39}}$	$K_{U_{B40}}$	K_{U_B}	$U_B, В$	$U_{B0}, В$
0,0641	0,0867	0,0449	0,538	119,5	<0,1

Таблица П.31. Коэффициенты гармонических составляющих, коэффициент искажения напряжения и действующее значения напряжения фазы «С» при обрыве фаз «А» и «В» фидера генератора

$K_{U_{C2}}$	$K_{U_{C3}}$	$K_{U_{C4}}$	$K_{U_{C5}}$	$K_{U_{C6}}$	$K_{U_{C7}}$	$K_{U_{C8}}$	$K_{U_{C9}}$	$K_{U_{C10}}$
0,00611	0,0434	0,00134	0,0131	0,00172	0,0137	0,00589	0,0112	0,014

Таблица П.31. (продолжение)

$K_{U_{C11}}$	$K_{U_{C12}}$	$K_{U_{C13}}$	$K_{U_{C14}}$	$K_{U_{C15}}$	$K_{U_{C16}}$	$K_{U_{C17}}$	$K_{U_{C18}}$	$K_{U_{C19}}$
0,0065	0,0246	0,00476	0,132	0,00653	0,134	0,00344	0,0375	0,00281

Таблица П.31. (продолжение)

$K_{U_{C20}}$	$K_{U_{C21}}$	$K_{U_{C22}}$	$K_{U_{C23}}$	$K_{U_{C24}}$	$K_{U_{C25}}$	$K_{U_{C26}}$	$K_{U_{C27}}$	$K_{U_{C28}}$
0,0325	0,00358	0,0227	0,00611	0,0119	0,0133	0,00233	0,0328	0,0117

Таблица П.31. (продолжение)

$K_{U_{C29}}$	$K_{U_{C30}}$	$K_{U_{C31}}$	$K_{U_{C32}}$	$K_{U_{C33}}$	$K_{U_{C34}}$	$K_{U_{C35}}$	$K_{U_{C36}}$	$K_{U_{C37}}$
0,146	0,00816	0,271	0,0239	0,262	0,112	0,197	0,0754	0,129

Таблица П.31. (продолжение)

$K_{U_{C38}}$	$K_{U_{C39}}$	$K_{U_{C40}}$	K_{U_C}	$U_C, В$	$U_{C0}, В$
0,0903	0,0665	0,0569	0,547	123,12	<0,1

Таблица П.32. Коэффициенты гармонических составляющих, коэффициент искажения напряжения и действующее значения напряжения фазы «А» при обрыве фаз «В» и «С» фидера генератора

$K_{U_{A2}}$	$K_{U_{A3}}$	$K_{U_{A4}}$	$K_{U_{A5}}$	$K_{U_{A6}}$	$K_{U_{A7}}$	$K_{U_{A8}}$	$K_{U_{A9}}$	$K_{U_{A10}}$
0,0068	0,059	0,00153	0,0137	0,00159	0,0145	0,00539	0,0117	0,0147

Таблица П.32. (продолжение)

$K_{U_{A11}}$	$K_{U_{A12}}$	$K_{U_{A13}}$	$K_{U_{A14}}$	$K_{U_{A15}}$	$K_{U_{A16}}$	$K_{U_{A17}}$	$K_{U_{A18}}$	$K_{U_{A19}}$
0,00742	0,025	0,00579	0,157	0,00954	0,177	0,00596	0,0651	0,00328

Таблица П.32. (продолжение)

$K_{U_{A20}}$	$K_{U_{A21}}$	$K_{U_{A22}}$	$K_{U_{A23}}$	$K_{U_{A24}}$	$K_{U_{A25}}$	$K_{U_{A26}}$	$K_{U_{A27}}$	$K_{U_{A28}}$
0,0573	0,021	0,0615	0,15	0,0403	0,42	0,0415	0,124	0,0238

Таблица П.32. (продолжение)

$K_{U_{A29}}$	$K_{U_{A30}}$	$K_{U_{A31}}$	$K_{U_{A32}}$	$K_{U_{A33}}$	$K_{U_{A34}}$	$K_{U_{A35}}$	$K_{U_{A36}}$	$K_{U_{A37}}$
0,256	0,0067	0,167	0,01	0,00812	0,00844	0,0121	0,00386	0,00691

Таблица П.32. (продолжение)

$K_{U_{A38}}$	$K_{U_{A39}}$	$K_{U_{A40}}$	K_{U_A}	$U_{A, B}$	$U_{A_0, B}$
0,00283	0,00398	0,00618	0,619	123,17	<0,1

Таблица П.33. Коэффициенты гармонических составляющих, коэффициент искажения напряжения и действующее значения напряжения фазы «В» при обрыве фаз «С» и «А» фидера генератора

$K_{U_{B2}}$	$K_{U_{B3}}$	$K_{U_{B4}}$	$K_{U_{B5}}$	$K_{U_{B6}}$	$K_{U_{B7}}$	$K_{U_{B8}}$	$K_{U_{B9}}$	$K_{U_{B10}}$
0,00613	0,0433	0,00135	0,0131	0,00182	0,0139	0,00585	0,0113	0,0139

Таблица П.33. (продолжение)

$K_{U_{B11}}$	$K_{U_{B12}}$	$K_{U_{B13}}$	$K_{U_{B14}}$	$K_{U_{B15}}$	$K_{U_{B16}}$	$K_{U_{B17}}$	$K_{U_{B18}}$	$K_{U_{B19}}$
0,00682	0,0242	0,00501	0,132	0,00637	0,135	0,00347	0,0376	0,00257

Таблица П.33. (продолжение)

$K_{U_{B20}}$	$K_{U_{B21}}$	$K_{U_{B22}}$	$K_{U_{B23}}$	$K_{U_{B24}}$	$K_{U_{B25}}$	$K_{U_{B26}}$	$K_{U_{B27}}$	$K_{U_{B28}}$
0,0325	0,00345	0,0225	0,00497	0,0125	0,0131	0,00219	0,0332	0,0112

Таблица П.33. (продолжение)

$K_{U_{B29}}$	$K_{U_{B30}}$	$K_{U_{B31}}$	$K_{U_{B32}}$	$K_{U_{B33}}$	$K_{U_{B34}}$	$K_{U_{B35}}$	$K_{U_{B36}}$	$K_{U_{B37}}$
0,148	0,00798	0,275	0,0239	0,272	0,113	0,208	0,0755	0,133

Таблица П.33. (продолжение)

$K_{U_{B38}}$	$K_{U_{B39}}$	$K_{U_{B40}}$	K_{U_B}	$U_{B, B}$	$U_{B_0, B}$
0,0882	0,0676	0,0566	0,567	123,08	<0,1

Таблица П.34. Коэффициенты гармонических составляющих, коэффициент искажения напряжения и действующее значения напряжения фазы «В» при коротком замыкании фазы «А» фидера генератора на корпус

$K_{U_{B_2}}$	$K_{U_{B_3}}$	$K_{U_{B_4}}$	$K_{U_{B_5}}$	$K_{U_{B_6}}$	$K_{U_{B_7}}$	$K_{U_{B_8}}$	$K_{U_{B_9}}$	$K_{U_{B_{10}}}$
0,00356	20,22	0,0315	2,745	0,0871	0,249	0,188	0,055	0,34

Таблица П.34. (продолжение)

$K_{U_{B_{11}}}$	$K_{U_{B_{12}}}$	$K_{U_{B_{13}}}$	$K_{U_{B_{14}}}$	$K_{U_{B_{15}}}$	$K_{U_{B_{16}}}$	$K_{U_{B_{17}}}$	$K_{U_{B_{18}}}$	$K_{U_{B_{19}}}$
0,0231	0,481	0,0499	0,341	0,0792	0,359	0,0944	0,297	0,101

Таблица П.34. (продолжение)

$K_{U_{B_{20}}}$	$K_{U_{B_{21}}}$	$K_{U_{B_{22}}}$	$K_{U_{B_{23}}}$	$K_{U_{B_{24}}}$	$K_{U_{B_{25}}}$	$K_{U_{B_{26}}}$	$K_{U_{B_{27}}}$	$K_{U_{B_{28}}}$
0,582	0,0923	0,461	0,17	0,407	0,339	0,197	0,398	0,145

Таблица П.34. (продолжение)

$K_{U_{B_{29}}}$	$K_{U_{B_{30}}}$	$K_{U_{B_{31}}}$	$K_{U_{B_{32}}}$	$K_{U_{B_{33}}}$	$K_{U_{B_{34}}}$	$K_{U_{B_{35}}}$	$K_{U_{B_{36}}}$	$K_{U_{B_{37}}}$
0,344	0,184	1,103	0,533	1,878	0,53	2,554	0,957	5,408

Таблица П.34. (продолжение)

$K_{U_{B_{38}}}$	$K_{U_{B_{39}}}$	$K_{U_{B_{40}}}$	K_{U_B}	$U_B, В$	$U_{B_0}, В$
0,606	2,273	0,731	21,6	100,4	<0,1

Таблица П.35. Коэффициенты гармонических составляющих, коэффициент искажения напряжения и действующее значения напряжения фазы «С» при коротком замыкании фазы «А» фидера генератора на корпус

$K_{U_{C_2}}$	$K_{U_{C_3}}$	$K_{U_{C_4}}$	$K_{U_{C_5}}$	$K_{U_{C_6}}$	$K_{U_{C_7}}$	$K_{U_{C_8}}$	$K_{U_{C_9}}$	$K_{U_{C_{10}}}$
0,0115	19,89	0,0223	2,788	0,0587	0,233	0,13	0,0596	0,225

Таблица П.35. (продолжение)

$K_{U_{C_{11}}}$	$K_{U_{C_{12}}}$	$K_{U_{C_{13}}}$	$K_{U_{C_{14}}}$	$K_{U_{C_{15}}}$	$K_{U_{C_{16}}}$	$K_{U_{C_{17}}}$	$K_{U_{C_{18}}}$	$K_{U_{C_{19}}}$
0,0167	0,196	0,0294	0,143	0,0548	0,316	0,0577	0,99	0,0658

Таблица П.35. (продолжение)

$K_{U_{C_{20}}}$	$K_{U_{C_{21}}}$	$K_{U_{C_{22}}}$	$K_{U_{C_{23}}}$	$K_{U_{C_{24}}}$	$K_{U_{C_{25}}}$	$K_{U_{C_{26}}}$	$K_{U_{C_{27}}}$	$K_{U_{C_{28}}}$
1,057	0,0339	0,765	0,0872	0,539	0,185	0,274	0,137	0,158

Таблица П.35. (продолжение)

$K_{UC_{29}}$	$K_{UC_{30}}$	$K_{UC_{31}}$	$K_{UC_{32}}$	$K_{UC_{33}}$	$K_{UC_{34}}$	$K_{UC_{35}}$	$K_{UC_{36}}$	$K_{UC_{37}}$
0,0823	0,216	0,536	0,525	1,092	0,523	2,56	0,49	4,524

Таблица П.35. (продолжение)

$K_{UC_{38}}$	$K_{UC_{39}}$	$K_{UC_{40}}$	K_{UC}	$U_C, В$	$U_{C_0}, В$
0,922	3,204	0,262	21,15	100,1	<0,1

Таблица П.36. Коэффициенты гармонических составляющих, коэффициент искажения напряжения и действующее значения напряжения фазы «А» при коротком замыкании фазы «В» фидера генератора на корпус

K_{UA_2}	K_{UA_3}	K_{UA_4}	K_{UA_5}	K_{UA_6}	K_{UA_7}	K_{UA_8}	K_{UA_9}	$K_{UA_{10}}$
0,0117	20,03	0,0214	2,854	0,0617	0,246	0,138	0,0669	0,245

Таблица П.36. (продолжение)

$K_{UA_{11}}$	$K_{UA_{12}}$	$K_{UA_{13}}$	$K_{UA_{14}}$	$K_{UA_{15}}$	$K_{UA_{16}}$	$K_{UA_{17}}$	$K_{UA_{18}}$	$K_{UA_{19}}$
0,0185	0,224	0,0388	0,187	0,0707	0,381	0,0774	1,412	0,133

Таблица П.36. (продолжение)

$K_{UA_{20}}$	$K_{UA_{21}}$	$K_{UA_{22}}$	$K_{UA_{23}}$	$K_{UA_{24}}$	$K_{UA_{25}}$	$K_{UA_{26}}$	$K_{UA_{27}}$	$K_{UA_{28}}$
1,77	0,245	1,318	0,983	2,669	2,08	0,542	0,724	0,327

Таблица П.36. (продолжение)

$K_{UA_{29}}$	$K_{UA_{30}}$	$K_{UA_{31}}$	$K_{UA_{32}}$	$K_{UA_{33}}$	$K_{UA_{34}}$	$K_{UA_{35}}$	$K_{UA_{36}}$	$K_{UA_{37}}$
0,324	0,104	0,102	0,0922	0,224	0,254	0,298	0,154	0,207

Таблица П.36. (продолжение)

$K_{UA_{38}}$	$K_{UA_{39}}$	$K_{UA_{40}}$	K_{UA}	$U_A, В$	$U_{A_0}, В$
0,133	0,174	0,0269	20,74	100,2	<0,1

Таблица П.37. Коэффициенты гармонических составляющих, коэффициент искажения напряжения и действующее значения напряжения фазы «С» при коротком замыкании фазы «В» фидера генератора на корпус

K_{UC_2}	K_{UC_3}	K_{UC_4}	K_{UC_5}	K_{UC_6}	K_{UC_7}	K_{UC_8}	K_{UC_9}	$K_{UC_{10}}$
0,00517	20,23	0,0298	2,76	0,0874	0,253	0,189	0,0575	0,339

Таблица П.37. (продолжение)

K_{UC11}	K_{UC12}	K_{UC13}	K_{UC14}	K_{UC15}	K_{UC16}	K_{UC17}	K_{UC18}	K_{UC19}
0,0227	0,479	0,051	0,328	0,0775	0,328	0,0895	0,322	0,105

Таблица П.37. (продолжение)

K_{UC20}	K_{UC21}	K_{UC22}	K_{UC23}	K_{UC24}	K_{UC25}	K_{UC26}	K_{UC27}	K_{UC28}
0,597	0,171	0,465	0,389	0,487	0,266	0,156	0,155	0,118

Таблица П.37. (продолжение)

K_{UC29}	K_{UC30}	K_{UC31}	K_{UC32}	K_{UC33}	K_{UC34}	K_{UC35}	K_{UC36}	K_{UC37}
0,353	0,259	0,908	0,24	0,833	1,62	0,57	2,405	0,923

Таблица П.37. (продолжение)

K_{UC38}	K_{UC39}	K_{UC40}	K_{UC}	$U_C, В$	$U_{C0}, В$
0,791	0,423	0,302	20,77	100,4	<0,1

Таблица П.38. Коэффициенты гармонических составляющих, коэффициент искажения напряжения и действующее значения напряжения фазы «А» при коротком замыкании фазы «С» фидера генератора на корпус

K_{UA2}	K_{UA3}	K_{UA4}	K_{UA5}	K_{UA6}	K_{UA7}	K_{UA8}	K_{UA9}	K_{UA10}
0,00601	20,35	0,0315	2,805	0,0883	0,267	0,198	0,0613	0,366

Таблица П.38. (продолжение)

K_{UA11}	K_{UA12}	K_{UA13}	K_{UA14}	K_{UA15}	K_{UA16}	K_{UA17}	K_{UA18}	K_{UA19}
0,0256	0,542	0,0612	0,412	0,0993	0,478	0,133	0,455	0,165

Таблица П.38. (продолжение)

K_{UA20}	K_{UA21}	K_{UA22}	K_{UA23}	K_{UA24}	K_{UA25}	K_{UA26}	K_{UA27}	K_{UA28}
1,156	0,181	1,551	1,711	1,5	4,64	2,247	1,258	0,764

Таблица П.38. (продолжение)

K_{UA29}	K_{UA30}	K_{UA31}	K_{UA32}	K_{UA33}	K_{UA34}	K_{UA35}	K_{UA36}	K_{UA37}
0,303	0,125	0,141	0,14	0,131	0,149	0,115	0,0585	0,195

Таблица П.38. (продолжение)

K_{UA38}	K_{UA39}	K_{UA40}	K_{UA}	$U_A, В$	$U_{A0}, В$
0,0543	0,0997	0,0858	21,47	100,5	<0,1

Таблица П.39. Коэффициенты гармонических составляющих, коэффициент искажения напряжения и действующее значения напряжения фазы «В» при коротком замыкании фазы «С» фидера генератора на корпус

$K_{U_{B_2}}$	$K_{U_{B_3}}$	$K_{U_{B_4}}$	$K_{U_{B_5}}$	$K_{U_{B_6}}$	$K_{U_{B_7}}$	$K_{U_{B_8}}$	$K_{U_{B_9}}$	$K_{U_{B_{10}}}$
0,014	19,89	0,0225	2,799	0,0567	0,239	0,133	0,0632	0,223

Таблица П.39. (продолжение)

$K_{U_{B_{11}}}$	$K_{U_{B_{12}}}$	$K_{U_{B_{13}}}$	$K_{U_{B_{14}}}$	$K_{U_{B_{15}}}$	$K_{U_{B_{16}}}$	$K_{U_{B_{17}}}$	$K_{U_{B_{18}}}$	$K_{U_{B_{19}}}$
0,0187	0,199	0,0332	0,133	0,0584	0,303	0,062	0,965	0,0493

Таблица П.39. (продолжение)

$K_{U_{B_{20}}}$	$K_{U_{B_{21}}}$	$K_{U_{B_{22}}}$	$K_{U_{B_{23}}}$	$K_{U_{B_{24}}}$	$K_{U_{B_{25}}}$	$K_{U_{B_{26}}}$	$K_{U_{B_{27}}}$	$K_{U_{B_{28}}}$
1,035	0,155	0,835	0,566	0,675	0,607	0,147	0,549	0,494

Таблица П.39. (продолжение)

$K_{U_{B_{29}}}$	$K_{U_{B_{30}}}$	$K_{U_{B_{31}}}$	$K_{U_{B_{32}}}$	$K_{U_{B_{33}}}$	$K_{U_{B_{34}}}$	$K_{U_{B_{35}}}$	$K_{U_{B_{36}}}$	$K_{U_{B_{37}}}$
0,32	0,202	0,451	0,302	1,557	0,585	2,139	0,526	3,859

Таблица П.39. (продолжение)

$K_{U_{B_{38}}}$	$K_{U_{B_{39}}}$	$K_{U_{B_{40}}}$	K_{U_B}	$U_B, В$	$U_{B_0}, В$
0,462	3,031	0,124	20,99	100,1	<0,1

Таблица П.40. Коэффициенты гармонических составляющих, коэффициент искажения напряжения и действующее значения напряжения фазы «А» при коротком замыкании фаз «А» и «В» фидера генератора между собой

$K_{U_{A_2}}$	$K_{U_{A_3}}$	$K_{U_{A_4}}$	$K_{U_{A_5}}$	$K_{U_{A_6}}$	$K_{U_{A_7}}$	$K_{U_{A_8}}$	$K_{U_{A_9}}$	$K_{U_{A_{10}}}$
0,00944	27,8	0,0583	5,32	0,13	0,686	0,277	0,179	0,454

Таблица П.40. (продолжение)

$K_{U_{A_{11}}}$	$K_{U_{A_{12}}}$	$K_{U_{A_{13}}}$	$K_{U_{A_{14}}}$	$K_{U_{A_{15}}}$	$K_{U_{A_{16}}}$	$K_{U_{A_{17}}}$	$K_{U_{A_{18}}}$	$K_{U_{A_{19}}}$
0,0612	0,483	0,0913	0,151	0,128	0,257	0,135	0,984	0,123

Таблица П.40. (продолжение)

$K_{U_{A_{20}}}$	$K_{U_{A_{21}}}$	$K_{U_{A_{22}}}$	$K_{U_{A_{23}}}$	$K_{U_{A_{24}}}$	$K_{U_{A_{25}}}$	$K_{U_{A_{26}}}$	$K_{U_{A_{27}}}$	$K_{U_{A_{28}}}$
1,631	0,124	1,658	0,297	1,164	0,797	1,114	1,38	0,41

Таблица П.40. (продолжение)

$K_{U_{A29}}$	$K_{U_{A30}}$	$K_{U_{A31}}$	$K_{U_{A32}}$	$K_{U_{A33}}$	$K_{U_{A34}}$	$K_{U_{A35}}$	$K_{U_{A36}}$	$K_{U_{A37}}$
3,219	1,606	0,758	1,12	0,581	0,807	0,324	0,339	0,0794

Таблица П.40. (продолжение)

$K_{U_{A38}}$	$K_{U_{A39}}$	$K_{U_{A40}}$	K_{U_A}	$U_A, В$	$U_{A0}, В$
0,0617	0,118	0,0587	28,81	41,99	<0,1

Таблица П.41. Коэффициенты гармонических составляющих, коэффициент искажения напряжения и действующее значения напряжения фазы «В» при коротком замыкании фаз «А» и «В» фидера генератора между собой

$K_{U_{B2}}$	$K_{U_{B3}}$	$K_{U_{B4}}$	$K_{U_{B5}}$	$K_{U_{B6}}$	$K_{U_{B7}}$	$K_{U_{B8}}$	$K_{U_{B9}}$	$K_{U_{B10}}$
0,00955	27,79	0,0582	5,316	0,13	0,685	0,277	0,178	0,452

Таблица П.41. (продолжение)

$K_{U_{B11}}$	$K_{U_{B12}}$	$K_{U_{B13}}$	$K_{U_{B14}}$	$K_{U_{B15}}$	$K_{U_{B16}}$	$K_{U_{B17}}$	$K_{U_{B18}}$	$K_{U_{B19}}$
0,0613	0,481	0,0902	0,151	0,127	0,256	0,133	0,974	0,121

Таблица П.41. (продолжение)

$K_{U_{B20}}$	$K_{U_{B21}}$	$K_{U_{B22}}$	$K_{U_{B23}}$	$K_{U_{B24}}$	$K_{U_{B25}}$	$K_{U_{B26}}$	$K_{U_{B27}}$	$K_{U_{B28}}$
1,61	0,122	1,632	0,293	1,143	0,781	1,09	1,348	0,399

Таблица П.41. (продолжение)

$K_{U_{B29}}$	$K_{U_{B30}}$	$K_{U_{B31}}$	$K_{U_{B32}}$	$K_{U_{B33}}$	$K_{U_{B34}}$	$K_{U_{B35}}$	$K_{U_{B36}}$	$K_{U_{B37}}$
3,134	1,559	0,737	1,085	0,56	0,776	0,309	0,324	0,0765

Таблица П.41. (продолжение)

$K_{U_{B38}}$	$K_{U_{B39}}$	$K_{U_{B40}}$	K_{U_B}	$U_B, В$	$U_{B0}, В$
0,0576	0,112	0,0557	28,78	41,99	<0,1

Таблица П.42. Коэффициенты гармонических составляющих, коэффициент искажения напряжения и действующее значения напряжения фазы «С» при коротком замыкании фаз «А» и «В» фидера генератора между собой

$K_{U_{C2}}$	$K_{U_{C3}}$	$K_{U_{C4}}$	$K_{U_{C5}}$	$K_{U_{C6}}$	$K_{U_{C7}}$	$K_{U_{C8}}$	$K_{U_{C9}}$	$K_{U_{C10}}$
0,00915	27,71	0,0583	5,27	0,129	0,673	0,27	0,173	0,435

Таблица П.42. (продолжение)

K_{UC11}	K_{UC12}	K_{UC13}	K_{UC14}	K_{UC15}	K_{UC16}	K_{UC17}	K_{UC18}	K_{UC19}
0,058	0,453	0,0843	0,138	0,115	0,226	0,117	0,827	0,0988

Таблица П.42. (продолжение)

K_{UC20}	K_{UC21}	K_{UC22}	K_{UC23}	K_{UC24}	K_{UC25}	K_{UC26}	K_{UC27}	K_{UC28}
1,281	0,0929	1,188	0,2	0,726	0,452	0,554	0,573	0,127

Таблица П.42. (продолжение)

K_{UC29}	K_{UC30}	K_{UC31}	K_{UC32}	K_{UC33}	K_{UC34}	K_{UC35}	K_{UC36}	K_{UC37}
0,593	0,0845	0,167	0,604	0,592	1,479	1,126	2,904	2,585

Таблица П.42. (продолжение)

K_{UC38}	K_{UC39}	K_{UC40}	K_{UC}	$U_C, В$	$U_{C0}, В$
0,58	0,669	0,254	28,68	83,92	<0,1

Таблица П.43. Коэффициенты гармонических составляющих, коэффициент искажения напряжения и действующее значения напряжения фазы «А» при коротком замыкании фаз «В» и «С» фидера генератора между собой

K_{UA2}	K_{UA3}	K_{UA4}	K_{UA5}	K_{UA6}	K_{UA7}	K_{UA8}	K_{UA9}	K_{UA10}
0,0111	27,9	0,0596	5,392	0,131	0,711	0,281	0,189	0,47

Таблица П.43. (продолжение)

K_{UA11}	K_{UA12}	K_{UA13}	K_{UA14}	K_{UA15}	K_{UA16}	K_{UA17}	K_{UA18}	K_{UA19}
0,0617	0,516	0,0935	0,166	0,129	0,27	0,139	1,196	0,133

Таблица П.43. (продолжение)

K_{UA20}	K_{UA21}	K_{UA22}	K_{UA23}	K_{UA24}	K_{UA25}	K_{UA26}	K_{UA27}	K_{UA28}
2,209	0,486	3,324	1,719	2,776	3,119	3,347	1,312	1,462

Таблица П.43. (продолжение)

K_{UA29}	K_{UA30}	K_{UA31}	K_{UA32}	K_{UA33}	K_{UA34}	K_{UA35}	K_{UA36}	K_{UA37}
0,35	0,217	0,175	0,13	0,159	0,153	0,166	0,144	0,0559

Таблица П.43. (продолжение)

K_{UA38}	K_{UA39}	K_{UA40}	K_{UA}	$U_A, В$	$U_{A0}, В$
0,0463	0,0775	0,0528	29,36	84,15	<0,1

Таблица П.44. Коэффициенты гармонических составляющих, коэффициент искажения напряжения и действующее значения напряжения фазы «В» при коротком замыкании фаз «В» и «С» фидера генератора между собой

$K_{U_{B_2}}$	$K_{U_{B_3}}$	$K_{U_{B_4}}$	$K_{U_{B_5}}$	$K_{U_{B_6}}$	$K_{U_{B_7}}$	$K_{U_{B_8}}$	$K_{U_{B_9}}$	$K_{U_{B_{10}}}$
0,0118	27,73	0,0594	5,293	0,128	0,687	0,267	0,178	0,432

Таблица П.44. (продолжение)

$K_{U_{B_{11}}}$	$K_{U_{B_{12}}}$	$K_{U_{B_{13}}}$	$K_{U_{B_{14}}}$	$K_{U_{B_{15}}}$	$K_{U_{B_{16}}}$	$K_{U_{B_{17}}}$	$K_{U_{B_{18}}}$	$K_{U_{B_{19}}}$
0,057	0,454	0,08	0,137	0,102	0,208	0,101	0,824	0,0848

Таблица П.44. (продолжение)

$K_{U_{B_{20}}}$	$K_{U_{B_{21}}}$	$K_{U_{B_{22}}}$	$K_{U_{B_{23}}}$	$K_{U_{B_{24}}}$	$K_{U_{B_{25}}}$	$K_{U_{B_{26}}}$	$K_{U_{B_{27}}}$	$K_{U_{B_{28}}}$
1,292	0,254	1,496	0,632	0,744	0,489	0,144	0,209	0,527

Таблица П.44. (продолжение)

$K_{U_{B_{29}}}$	$K_{U_{B_{30}}}$	$K_{U_{B_{31}}}$	$K_{U_{B_{32}}}$	$K_{U_{B_{33}}}$	$K_{U_{B_{34}}}$	$K_{U_{B_{35}}}$	$K_{U_{B_{36}}}$	$K_{U_{B_{37}}}$
0,222	0,207	0,25	0,267	0,479	0,707	1,308	2,608	3,619

Таблица П.44. (продолжение)

$K_{U_{B_{38}}}$	$K_{U_{B_{39}}}$	$K_{U_{B_{40}}}$	K_{U_B}	$U_B, В$	$U_{B_0}, В$
0,795	0,81	0,415	28,78	41,98	<0,1

Таблица П.45. Коэффициенты гармонических составляющих, коэффициент искажения напряжения и действующее значения напряжения фазы «С» при коротком замыкании фаз «В» и «С» фидера генератора между собой

$K_{U_{C_2}}$	$K_{U_{C_3}}$	$K_{U_{C_4}}$	$K_{U_{C_5}}$	$K_{U_{C_6}}$	$K_{U_{C_7}}$	$K_{U_{C_8}}$	$K_{U_{C_9}}$	$K_{U_{C_{10}}}$
0,0109	27,73	0,0585	5,293	0,127	0,685	0,267	0,177	0,433

Таблица П.45. (продолжение)

$K_{U_{C_{11}}}$	$K_{U_{C_{12}}}$	$K_{U_{C_{13}}}$	$K_{U_{C_{14}}}$	$K_{U_{C_{15}}}$	$K_{U_{C_{16}}}$	$K_{U_{C_{17}}}$	$K_{U_{C_{18}}}$	$K_{U_{C_{19}}}$
0,0557	0,455	0,0809	0,137	0,103	0,207	0,101	0,825	0,0834

Таблица П.45. (продолжение)

$K_{U_{C_{20}}}$	$K_{U_{C_{21}}}$	$K_{U_{C_{22}}}$	$K_{U_{C_{23}}}$	$K_{U_{C_{24}}}$	$K_{U_{C_{25}}}$	$K_{U_{C_{26}}}$	$K_{U_{C_{27}}}$	$K_{U_{C_{28}}}$
1,292	0,254	1,496	0,631	0,747	0,487	0,143	0,209	0,529

Таблица П.45. (продолжение)

K_{UC29}	K_{UC30}	K_{UC31}	K_{UC32}	K_{UC33}	K_{UC34}	K_{UC35}	K_{UC36}	K_{UC37}
0,22	0,207	0,251	0,267	0,482	0,711	1,307	2,611	3,622

Таблица П.45. (продолжение)

K_{UC38}	K_{UC39}	K_{UC40}	K_{UC}	$U_C, В$	$U_{C0}, В$
0,794	0,809	0,418	28,78	41,98	

Таблица П.46. Коэффициенты гармонических составляющих, коэффициент искажения напряжения и действующее значения напряжения фазы «А» при коротком замыкании фаз «С» и «А» фидера генератора между собой

K_{UA2}	K_{UA3}	K_{UA4}	K_{UA5}	K_{UA6}	K_{UA7}	K_{UA8}	K_{UA9}	K_{UA10}
0,0224	27,79	0,0654	5,317	0,14	0,685	0,279	0,185	0,464

Таблица П.46. (продолжение)

K_{UA11}	K_{UA12}	K_{UA13}	K_{UA14}	K_{UA15}	K_{UA16}	K_{UA17}	K_{UA18}	K_{UA19}
0,0739	0,482	0,0989	0,157	0,134	0,269	0,153	1,005	0,13

Таблица П.46. (продолжение)

K_{UA20}	K_{UA21}	K_{UA22}	K_{UA23}	K_{UA24}	K_{UA25}	K_{UA26}	K_{UA27}	K_{UA28}
1,693	0,13	1,733	0,312	1,223	0,872	1,161	1,498	0,647

Таблица П.46. (продолжение)

K_{UA29}	K_{UA30}	K_{UA31}	K_{UA32}	K_{UA33}	K_{UA34}	K_{UA35}	K_{UA36}	K_{UA37}
3,817	1,776	0,723	1,246	0,658	0,829	0,468	0,346	0,089

Таблица П.46. (продолжение)

K_{UA38}	K_{UA39}	K_{UA40}	K_{UA}	$U_A, В$	$U_{A0}, В$
0,0718	0,117	0,0919	28,92	42,03	<0,1

Таблица П.47. Коэффициенты гармонических составляющих, коэффициент искажения напряжения и действующее значения напряжения фазы «В» при коротком замыкании фаз «С» и «А» фидера генератора между собой

K_{UB2}	K_{UB3}	K_{UB4}	K_{UB5}	K_{UB6}	K_{UB7}	K_{UB8}	K_{UB9}	K_{UB10}
0,0173	27,71	0,0611	5,273	0,132	0,674	0,269	0,172	0,438

Таблица П.47. (продолжение)

K_{UB11}	K_{UB12}	K_{UB13}	K_{UB14}	K_{UB15}	K_{UB16}	K_{UB17}	K_{UB18}	K_{UB19}
0,0655	0,453	0,0924	0,138	0,117	0,235	0,128	0,842	0,104

Таблица П.47. (продолжение)

K_{UB20}	K_{UB21}	K_{UB22}	K_{UB23}	K_{UB24}	K_{UB25}	K_{UB26}	K_{UB27}	K_{UB28}
1,33	0,0937	1,246	0,204	0,761	0,492	0,578	0,617	0,194

Таблица П.47. (продолжение)

K_{UB29}	K_{UB30}	K_{UB31}	K_{UB32}	K_{UB33}	K_{UB34}	K_{UB35}	K_{UB36}	K_{UB37}
0,706	0,109	0,172	0,684	0,66	1,525	1,644	2,907	2,369

Таблица П.47. (продолжение)

K_{UB38}	K_{UB39}	K_{UB40}	K_{UB}	$U_B, В$	$U_{B0}, В$
0,555	0,651	0,385	28,7	83,98	<0,1

Таблица П.48. Коэффициенты гармонических составляющих, коэффициент искажения напряжения и действующее значения напряжения фазы «С» при коротком замыкании фаз «С» и «А» фидера генератора между собой

K_{UC2}	K_{UC3}	K_{UC4}	K_{UC5}	K_{UC6}	K_{UC7}	K_{UC8}	K_{UC9}	K_{UC10}
0,0201	27,78	0,0673	5,322	0,132	0,686	0,282	0,175	0,453

Таблица П.48. (продолжение)

K_{UC11}	K_{UC12}	K_{UC13}	K_{UC14}	K_{UC15}	K_{UC16}	K_{UC17}	K_{UC18}	K_{UC19}
0,0734	0,486	0,0946	0,152	0,131	0,26	0,147	0,991	0,125

Таблица П.48. (продолжение)

K_{UC20}	K_{UC21}	K_{UC22}	K_{UC23}	K_{UC24}	K_{UC25}	K_{UC26}	K_{UC27}	K_{UC28}
1,67	0,125	1,709	0,304	1,202	0,853	1,134	1,461	0,628

Таблица П.48. (продолжение)

K_{UC29}	K_{UC30}	K_{UC31}	K_{UC32}	K_{UC33}	K_{UC34}	K_{UC35}	K_{UC36}	K_{UC37}
3,715	1,724	0,701	1,203	0,645	0,796	0,455	0,339	0,0906

Таблица П.48. (продолжение)

K_{UC38}	K_{UC39}	K_{UC40}	K_{UC}	$U_C, В$	$U_{C0}, В$
0,0761	0,117	0,0909	28,89	42,03	<0,1

Таблица П.49. Коэффициенты гармонических составляющих, коэффициент искажения напряжения и действующее значения напряжения фазы «А» при обрыве силового нулевого провода фидера генератора

$K_{U_{A_2}}$	$K_{U_{A_3}}$	$K_{U_{A_4}}$	$K_{U_{A_5}}$	$K_{U_{A_6}}$	$K_{U_{A_7}}$	$K_{U_{A_8}}$	$K_{U_{A_9}}$	$K_{U_{A_{10}}}$
0,0118	0,00921	0,0037	0,00591	0,00497	0,0155	0,00422	0,0174	0,0113

Таблица П.49. (продолжение)

$K_{U_{A_{11}}}$	$K_{U_{A_{12}}}$	$K_{U_{A_{13}}}$	$K_{U_{A_{14}}}$	$K_{U_{A_{15}}}$	$K_{U_{A_{16}}}$	$K_{U_{A_{17}}}$	$K_{U_{A_{18}}}$	$K_{U_{A_{19}}}$
0,021	0,0199	0,0143	0,129	0,0181	0,179	0,00852	0,0257	0,0142

Таблица П.49. (продолжение)

$K_{U_{A_{20}}}$	$K_{U_{A_{21}}}$	$K_{U_{A_{22}}}$	$K_{U_{A_{23}}}$	$K_{U_{A_{24}}}$	$K_{U_{A_{25}}}$	$K_{U_{A_{26}}}$	$K_{U_{A_{27}}}$	$K_{U_{A_{28}}}$
0,0202	0,00494	0,0184	0,0556	0,0365	0,308	0,1	1,004	0,138

Таблица П.49. (продолжение)

$K_{U_{A_{29}}}$	$K_{U_{A_{30}}}$	$K_{U_{A_{31}}}$	$K_{U_{A_{32}}}$	$K_{U_{A_{33}}}$	$K_{U_{A_{34}}}$	$K_{U_{A_{35}}}$	$K_{U_{A_{36}}}$	$K_{U_{A_{37}}}$
0,401	0,064	0,553	0,0294	0,394	0,0394	0,197	0,0736	0,145

Таблица П.49. (продолжение)

$K_{U_{A_{38}}}$	$K_{U_{A_{39}}}$	$K_{U_{A_{40}}}$	K_{U_A}	$U_A, В$	$U_{A_0}, В$
0,0319	0,0855	0,0358	1,371	77,6	<0,1

Таблица П.50. Коэффициенты гармонических составляющих, коэффициент искажения напряжения и действующее значения напряжения фазы «В» при обрыве силового нулевого провода фидера генератора

$K_{U_{B_2}}$	$K_{U_{B_3}}$	$K_{U_{B_4}}$	$K_{U_{B_5}}$	$K_{U_{B_6}}$	$K_{U_{B_7}}$	$K_{U_{B_8}}$	$K_{U_{B_9}}$	$K_{U_{B_{10}}}$
0,0134	0,013	0,0034	0,0145	0,00254	0,0221	0,00554	0,0257	0,0109

Таблица П.50. (продолжение)

$K_{U_{B_{11}}}$	$K_{U_{B_{12}}}$	$K_{U_{B_{13}}}$	$K_{U_{B_{14}}}$	$K_{U_{B_{15}}}$	$K_{U_{B_{16}}}$	$K_{U_{B_{17}}}$	$K_{U_{B_{18}}}$	$K_{U_{B_{19}}}$
0,0245	0,0204	0,0263	0,112	0,0228	0,16	0,0149	0,0213	0,00949

Таблица П.50. (продолжение)

$K_{U_{B_{20}}}$	$K_{U_{B_{21}}}$	$K_{U_{B_{22}}}$	$K_{U_{B_{23}}}$	$K_{U_{B_{24}}}$	$K_{U_{B_{25}}}$	$K_{U_{B_{26}}}$	$K_{U_{B_{27}}}$	$K_{U_{B_{28}}}$
0,0227	0,00918	0,0162	0,0455	0,0204	0,224	0,0691	0,71	0,108

Таблица П.50. (продолжение)

$K_{U_{B29}}$	$K_{U_{B30}}$	$K_{U_{B31}}$	$K_{U_{B32}}$	$K_{U_{B33}}$	$K_{U_{B34}}$	$K_{U_{B35}}$	$K_{U_{B36}}$	$K_{U_{B37}}$
0,669	0,0921	0,267	0,108	0,133	0,148	0,287	0,112	0,478

Таблица П.50. (продолжение)

$K_{U_{B38}}$	$K_{U_{B39}}$	$K_{U_{B40}}$	K_{U_B}	$U_B, В$	$U_{B0}, В$
0,116	0,438	0,0328	1,315	118,14	<0,1

Таблица П.51. Коэффициенты гармонических составляющих, коэффициент искажения напряжения и действующее значения напряжения фазы «С» при обрыве силового нулевого провода фидера генератора

$K_{U_{C2}}$	$K_{U_{C3}}$	$K_{U_{C4}}$	$K_{U_{C5}}$	$K_{U_{C6}}$	$K_{U_{C7}}$	$K_{U_{C8}}$	$K_{U_{C9}}$	$K_{U_{C10}}$
0,0131	0,0172	0,00183	0,00689	0,00415	0,00368	0,00265	0,00902	0,00801

Таблица П.51. (продолжение)

$K_{U_{C11}}$	$K_{U_{C12}}$	$K_{U_{C13}}$	$K_{U_{C14}}$	$K_{U_{C15}}$	$K_{U_{C16}}$	$K_{U_{C17}}$	$K_{U_{C18}}$	$K_{U_{C19}}$
0,00351	0,00632	0,0108	0,135	0,00451	0,153	0,0105	0,0129	0,01

Таблица П.51. (продолжение)

$K_{U_{C20}}$	$K_{U_{C21}}$	$K_{U_{C22}}$	$K_{U_{C23}}$	$K_{U_{C24}}$	$K_{U_{C25}}$	$K_{U_{C26}}$	$K_{U_{C27}}$	$K_{U_{C28}}$
0,0127	0,00632	0,00833	0,0346	0,0286	0,228	0,0663	0,616	0,0796

Таблица П.51. (продолжение)

$K_{U_{C29}}$	$K_{U_{C30}}$	$K_{U_{C31}}$	$K_{U_{C32}}$	$K_{U_{C33}}$	$K_{U_{C34}}$	$K_{U_{C35}}$	$K_{U_{C36}}$	$K_{U_{C37}}$
0,368	0,066	0,508	0,0746	0,468	0,112	0,457	0,0583	0,552

Таблица П.51. (продолжение)

$K_{U_{C38}}$	$K_{U_{C39}}$	$K_{U_{C40}}$	K_{U_C}	$U_C, В$	$U_{C0}, В$
0,108	0,432	0,051	1,356	118,01	<0,1

Таблица П.52. Коэффициенты гармонических составляющих, коэффициент искажения напряжения и действующее значения напряжения фазы «А» при обрыве измерительного провода фазы «А» регулятора напряжения

$K_{U_{A2}}$	$K_{U_{A3}}$	$K_{U_{A4}}$	$K_{U_{A5}}$	$K_{U_{A6}}$	$K_{U_{A7}}$	$K_{U_{A8}}$	$K_{U_{A9}}$	$K_{U_{A10}}$
0,00541	0,0136	0,00276	0,00589	0,00263	0,0134	0,00414	0,0159	0,0101

Таблица П.52. (продолжение)

$K_{U_{A1}}$	$K_{U_{A2}}$	$K_{U_{A3}}$	$K_{U_{A4}}$	$K_{U_{A5}}$	$K_{U_{A6}}$	$K_{U_{A7}}$	$K_{U_{A8}}$	$K_{U_{A9}}$
0,0147	0,0225	0,0107	0,147	0,0111	0,221	0,00456	0,0325	0,00491

Таблица П.52. (продолжение)

$K_{U_{A20}}$	$K_{U_{A21}}$	$K_{U_{A22}}$	$K_{U_{A23}}$	$K_{U_{A24}}$	$K_{U_{A25}}$	$K_{U_{A26}}$	$K_{U_{A27}}$	$K_{U_{A28}}$
0,0315	0,0413	0,0387	0,293	0,0458	0,706	0,023	0,397	0,00689

Таблица П.52. (продолжение)

$K_{U_{A29}}$	$K_{U_{A30}}$	$K_{U_{A31}}$	$K_{U_{A32}}$	$K_{U_{A33}}$	$K_{U_{A34}}$	$K_{U_{A35}}$	$K_{U_{A36}}$	$K_{U_{A37}}$
0,223	0,00317	0,191	0,00656	0,128	0,00638	0,145	0,00981	0,0135

Таблица П.52. (продолжение)

$K_{U_{A38}}$	$K_{U_{A39}}$	$K_{U_{A40}}$	K_{U_A}	U_A, B	U_{A0}, B
0,00974	0,0104	0,0134	0,967	119,62	<0,1

Таблица П.53. Коэффициенты гармонических составляющих, коэффициент искажения напряжения и действующее значения напряжения фазы «В» при обрыве измерительного провода фазы «А» регулятора напряжения

$K_{U_{B2}}$	$K_{U_{B3}}$	$K_{U_{B4}}$	$K_{U_{B5}}$	$K_{U_{B6}}$	$K_{U_{B7}}$	$K_{U_{B8}}$	$K_{U_{B9}}$	$K_{U_{B10}}$
0,00767	0,019	0,00393	0,0164	0,00185	0,0215	0,00349	0,0229	0,0108

Таблица П.53. (продолжение)

$K_{U_{B11}}$	$K_{U_{B12}}$	$K_{U_{B13}}$	$K_{U_{B14}}$	$K_{U_{B15}}$	$K_{U_{B16}}$	$K_{U_{B17}}$	$K_{U_{B18}}$	$K_{U_{B19}}$
0,0204	0,0241	0,016	0,107	0,00998	0,149	0,00534	0,0212	0,0019

Таблица П.53. (продолжение)

$K_{U_{B20}}$	$K_{U_{B21}}$	$K_{U_{B22}}$	$K_{U_{B23}}$	$K_{U_{B24}}$	$K_{U_{B25}}$	$K_{U_{B26}}$	$K_{U_{B27}}$	$K_{U_{B28}}$
0,0204	0,0194	0,0131	0,0808	0,0127	0,132	0,00581	0,07	0,00516

Таблица П.53. (продолжение)

$K_{U_{B29}}$	$K_{U_{B30}}$	$K_{U_{B31}}$	$K_{U_{B32}}$	$K_{U_{B33}}$	$K_{U_{B34}}$	$K_{U_{B35}}$	$K_{U_{B36}}$	$K_{U_{B37}}$
0,135	0,0211	0,425	0,0726	0,742	0,0607	0,753	0,118	0,51

Таблица П.53. (продолжение)

$K_{U_{B38}}$	$K_{U_{B39}}$	$K_{U_{B40}}$	K_{U_B}	U_B, B	U_{B0}, B
0,0864	0,042	0,0684	1,295	119,5	<0,1

Таблица П.54. Коэффициенты гармонических составляющих, коэффициент искажения напряжения и действующее значения напряжения фазы «С» при обрыве измерительного провода фазы «А» регулятора напряжения

K_{UC_2}	K_{UC_3}	K_{UC_4}	K_{UC_5}	K_{UC_6}	K_{UC_7}	K_{UC_8}	K_{UC_9}	$K_{UC_{10}}$
0,00627	0,0226	0,00205	0,0107	0,0015	0,00861	0,00232	0,00915	0,00378

Таблица П.54. (продолжение)

$K_{UC_{11}}$	$K_{UC_{12}}$	$K_{UC_{13}}$	$K_{UC_{14}}$	$K_{UC_{15}}$	$K_{UC_{16}}$	$K_{UC_{17}}$	$K_{UC_{18}}$	$K_{UC_{19}}$
0,00869	0,00768	0,00838	0,139	0,00437	0,142	0,00444	0,00349	0,00398

Таблица П.54. (продолжение)

$K_{UC_{20}}$	$K_{UC_{21}}$	$K_{UC_{22}}$	$K_{UC_{23}}$	$K_{UC_{24}}$	$K_{UC_{25}}$	$K_{UC_{26}}$	$K_{UC_{27}}$	$K_{UC_{28}}$
0,00676	0,0204	0,00984	0,0799	0,00631	0,0639	0,00554	0,128	0,00432

Таблица П.54. (продолжение)

$K_{UC_{29}}$	$K_{UC_{30}}$	$K_{UC_{31}}$	$K_{UC_{32}}$	$K_{UC_{33}}$	$K_{UC_{34}}$	$K_{UC_{35}}$	$K_{UC_{36}}$	$K_{UC_{37}}$
0,273	0,0203	0,161	0,0646	0,467	0,0548	0,725	0,061	0,415

Таблица П.54. (продолжение)

$K_{UC_{38}}$	$K_{UC_{39}}$	$K_{UC_{40}}$	K_{UC}	$U_C, В$	$U_{C_0}, В$
0,126	0,0651	0,0697	1,055	119,5	<0,1

Таблица П.55. Коэффициенты гармонических составляющих, коэффициент искажения напряжения и действующее значения напряжения фазы «А», при обрыве измерительного провода фазы «В» регулятора напряжения

K_{UA_2}	K_{UA_3}	K_{UA_4}	K_{UA_5}	K_{UA_6}	K_{UA_7}	K_{UA_8}	K_{UA_9}	$K_{UA_{10}}$
0,00607	0,0247	0,00233	0,011	0,00107	0,00945	0,00261	0,00968	0,00394

Таблица П.55. (продолжение)

$K_{UA_{11}}$	$K_{UA_{12}}$	$K_{UA_{13}}$	$K_{UA_{14}}$	$K_{UA_{15}}$	$K_{UA_{16}}$	$K_{UA_{17}}$	$K_{UA_{18}}$	$K_{UA_{19}}$
0,0104	0,00564	0,0102	0,17	0,0064	0,189	0,00621	0,0166	0,00469

Таблица П.55. (продолжение)

$K_{UA_{20}}$	$K_{UA_{21}}$	$K_{UA_{22}}$	$K_{UA_{23}}$	$K_{UA_{24}}$	$K_{UA_{25}}$	$K_{UA_{26}}$	$K_{UA_{27}}$	$K_{UA_{28}}$
0,0177	0,0139	0,0276	0,134	0,0299	0,349	0,0287	0,196	0,0128

Таблица П.55. (продолжение)

$K_{U_{A29}}$	$K_{U_{A30}}$	$K_{U_{A31}}$	$K_{U_{A32}}$	$K_{U_{A33}}$	$K_{U_{A34}}$	$K_{U_{A35}}$	$K_{U_{A36}}$	$K_{U_{A37}}$
0,2	0,0063	0,168	0,0045	0,102	0,00847	0,139	0,0081	0,00705

Таблица П.55. (продолжение)

$K_{U_{A38}}$	$K_{U_{A39}}$	$K_{U_{A40}}$	K_{U_A}	$U_{A, B}$	$U_{A_0, B}$
0,0115	0,0192	0,00759	0,588	119,5	<0,1

Таблица П.56. Коэффициенты гармонических составляющих, коэффициент искажения напряжения и действующее значения напряжения фазы «В», при обрыве измерительного провода фазы «В» регулятора напряжения

$K_{U_{B2}}$	$K_{U_{B3}}$	$K_{U_{B4}}$	$K_{U_{B5}}$	$K_{U_{B6}}$	$K_{U_{B7}}$	$K_{U_{B8}}$	$K_{U_{B9}}$	$K_{U_{B10}}$
0,00574	0,0235	0,00299	0,00513	0,00257	0,0122	0,00485	0,0149	0,00983

Таблица П.56. (продолжение)

$K_{U_{B11}}$	$K_{U_{B12}}$	$K_{U_{B13}}$	$K_{U_{B14}}$	$K_{U_{B15}}$	$K_{U_{B16}}$	$K_{U_{B17}}$	$K_{U_{B18}}$	$K_{U_{B19}}$
0,0134	0,0186	0,00981	0,122	0,0094	0,166	0,0044	0,0284	0,00231

Таблица П.56. (продолжение)

$K_{U_{B20}}$	$K_{U_{B21}}$	$K_{U_{B22}}$	$K_{U_{B23}}$	$K_{U_{B24}}$	$K_{U_{B25}}$	$K_{U_{B26}}$	$K_{U_{B27}}$	$K_{U_{B28}}$
0,0169	0,00793	0,0114	0,0389	0,0109	0,0717	0,0064	0,104	0,004

Таблица П.56. (продолжение)

$K_{U_{B29}}$	$K_{U_{B30}}$	$K_{U_{B31}}$	$K_{U_{B32}}$	$K_{U_{B33}}$	$K_{U_{B34}}$	$K_{U_{B35}}$	$K_{U_{B36}}$	$K_{U_{B37}}$
0,0893	0,0145	0,476	0,0426	0,58	0,043	0,683	0,0442	0,183

Таблица П.56. (продолжение)

$K_{U_{B38}}$	$K_{U_{B39}}$	$K_{U_{B40}}$	K_{U_B}	$U_{B, B}$	$U_{B_0, B}$
0,149	0,173	0,117	1,099	119,38	<0,1

Таблица П.57. Коэффициенты гармонических составляющих, коэффициент искажения напряжения и действующее значения напряжения фазы «С», при обрыве измерительного провода фазы «В» регулятора напряжения

$K_{U_{C2}}$	$K_{U_{C3}}$	$K_{U_{C4}}$	$K_{U_{C5}}$	$K_{U_{C6}}$	$K_{U_{C7}}$	$K_{U_{C8}}$	$K_{U_{C9}}$	$K_{U_{C10}}$
0,00794	0,0308	0,00397	0,0159	0,00179	0,0212	0,00455	0,0232	0,012

Таблица П.57. (продолжение)

K_{UC11}	K_{UC12}	K_{UC13}	K_{UC14}	K_{UC15}	K_{UC16}	K_{UC17}	K_{UC18}	K_{UC19}
0,0211	0,0215	0,0172	0,107	0,0114	0,148	0,00588	0,0301	0,00209

Таблица П.57. (продолжение)

K_{UC20}	K_{UC21}	K_{UC22}	K_{UC23}	K_{UC24}	K_{UC25}	K_{UC26}	K_{UC27}	K_{UC28}
0,0231	0,00615	0,0185	0,0297	0,0164	0,039	0,00729	0,135	0,00797

Таблица П.57. (продолжение)

K_{UC29}	K_{UC30}	K_{UC31}	K_{UC32}	K_{UC33}	K_{UC34}	K_{UC35}	K_{UC36}	K_{UC37}
0,129	0,0192	0,252	0,0356	0,36	0,0666	0,68	0,125	0,529

Таблица П.57. (продолжение)

K_{UC38}	K_{UC39}	K_{UC40}	K_{UC}	$U_C, В$	$U_{C0}, В$
0,0857	0,115	0,0661	1,03	119,38	<0,1

Таблица П.58. Коэффициенты гармонических составляющих, коэффициент искажения напряжения и действующее значения напряжения фазы «А», при обрыве измерительного провода фазы «С» регулятора напряжения

K_{UA2}	K_{UA3}	K_{UA4}	K_{UA5}	K_{UA6}	K_{UA7}	K_{UA8}	K_{UA9}	K_{UA10}
0,00809	0,0441	0,00426	0,0163	0,00205	0,0219	0,00409	0,024	0,0126

Таблица П.58. (продолжение)

K_{UA11}	K_{UA12}	K_{UA13}	K_{UA14}	K_{UA15}	K_{UA16}	K_{UA17}	K_{UA18}	K_{UA19}
0,022	0,0275	0,0183	0,13	0,0118	0,199	0,00567	0,0439	0,00251

Таблица П.58. (продолжение)

K_{UA20}	K_{UA21}	K_{UA22}	K_{UA23}	K_{UA24}	K_{UA25}	K_{UA26}	K_{UA27}	K_{UA28}
0,0388	0,0254	0,0418	0,191	0,025	0,43	0,0267	0,234	0,0227

Таблица П.58. (продолжение)

K_{UA29}	K_{UA30}	K_{UA31}	K_{UA32}	K_{UA33}	K_{UA34}	K_{UA35}	K_{UA36}	K_{UA37}
0,2	0,0191	0,189	0,0193	0,115	0,0172	0,159	0,00577	0,0153

Таблица П.58. (продолжение)

K_{UA38}	K_{UA39}	K_{UA40}	K_{UA}	$U_A, В$	$U_{A0}, В$
0,00877	0,00629	0,0106	0,679	119,6	<0,1

Таблица П.59. Коэффициенты гармонических составляющих, коэффициент искажения напряжения и действующее значения напряжения фазы «В», при обрыве измерительного провода фазы «С» регулятора напряжения

$K_{U_{B_2}}$	$K_{U_{B_3}}$	$K_{U_{B_4}}$	$K_{U_{B_5}}$	$K_{U_{B_6}}$	$K_{U_{B_7}}$	$K_{U_{B_8}}$	$K_{U_{B_9}}$	$K_{U_{B_{10}}}$
0,00654	0,0427	0,00224	0,0106	0,00172	0,00878	0,00245	0,00912	0,00405

Таблица П.59. (продолжение)

$K_{U_{B_{11}}}$	$K_{U_{B_{12}}}$	$K_{U_{B_{13}}}$	$K_{U_{B_{14}}}$	$K_{U_{B_{15}}}$	$K_{U_{B_{16}}}$	$K_{U_{B_{17}}}$	$K_{U_{B_{18}}}$	$K_{U_{B_{19}}}$
0,00855	0,0073	0,00837	0,139	0,00446	0,142	0,00351	0,0112	0,00237

Таблица П.59. (продолжение)

$K_{U_{B_{20}}}$	$K_{U_{B_{21}}}$	$K_{U_{B_{22}}}$	$K_{U_{B_{23}}}$	$K_{U_{B_{24}}}$	$K_{U_{B_{25}}}$	$K_{U_{B_{26}}}$	$K_{U_{B_{27}}}$	$K_{U_{B_{28}}}$
0,00877	0,0114	0,0095	0,058	0,004	0,0695	0,00643	0,0244	0,00237

Таблица П.59. (продолжение)

$K_{U_{B_{29}}}$	$K_{U_{B_{30}}}$	$K_{U_{B_{31}}}$	$K_{U_{B_{32}}}$	$K_{U_{B_{33}}}$	$K_{U_{B_{34}}}$	$K_{U_{B_{35}}}$	$K_{U_{B_{36}}}$	$K_{U_{B_{37}}}$
0,152	0,0102	0,413	0,00451	0,688	0,0425	0,794	0,0717	0,441

Таблица П.59. (продолжение)

$K_{U_{B_{38}}}$	$K_{U_{B_{39}}}$	$K_{U_{B_{40}}}$	K_{U_B}	$U_B, В$	$U_{B_0}, В$
0,109	0,0881	0,0556	1,254	119,5	<0,1

Таблица П.60. Коэффициенты гармонических составляющих, коэффициент искажения напряжения и действующее значения напряжения фазы «С», при обрыве измерительного провода фазы «С» регулятора напряжения

$K_{U_{C_2}}$	$K_{U_{C_3}}$	$K_{U_{C_4}}$	$K_{U_{C_5}}$	$K_{U_{C_6}}$	$K_{U_{C_7}}$	$K_{U_{C_8}}$	$K_{U_{C_9}}$	$K_{U_{C_{10}}}$
0,00579	0,0359	0,00273	0,00536	0,00285	0,0124	0,00431	0,0144	0,00926

Таблица П.60. (продолжение)

$K_{U_{C_{11}}}$	$K_{U_{C_{12}}}$	$K_{U_{C_{13}}}$	$K_{U_{C_{14}}}$	$K_{U_{C_{15}}}$	$K_{U_{C_{16}}}$	$K_{U_{C_{17}}}$	$K_{U_{C_{18}}}$	$K_{U_{C_{19}}}$
0,0127	0,0218	0,00889	0,121	0,00856	0,165	0,00339	0,0226	0,00243

Таблица П.60. (продолжение)

$K_{U_{C_{20}}}$	$K_{U_{C_{21}}}$	$K_{U_{C_{22}}}$	$K_{U_{C_{23}}}$	$K_{U_{C_{24}}}$	$K_{U_{C_{25}}}$	$K_{U_{C_{26}}}$	$K_{U_{C_{27}}}$	$K_{U_{C_{28}}}$
0,0168	0,0135	0,0116	0,0459	0,00795	0,0354	0,00547	0,0487	0,0089

Таблица П.60. (продолжение)

K_{UC29}	K_{UC30}	K_{UC31}	K_{UC32}	K_{UC33}	K_{UC34}	K_{UC35}	K_{UC36}	K_{UC37}
0,143	0,0269	0,172	0,0374	0,406	0,0477	0,762	0,0275	0,584

Таблица П.60. (продолжение)

K_{UC38}	K_{UC39}	K_{UC40}	K_{UC}	$U_C, В$	$U_{C0}, В$
0,112	0,146	0,103	1,113	119,5	<0,1

Таблица П.61. Коэффициенты гармонических составляющих, коэффициент искажения напряжения и действующее значения напряжения фазы «А», при обрыве измерительных проводов фаз «А» и «В» регулятора напряжения

K_{UA2}	K_{UA3}	K_{UA4}	K_{UA5}	K_{UA6}	K_{UA7}	K_{UA8}	K_{UA9}	K_{UA10}
0,00654	0,00962	0,00065	0,00438	0,0016	0,00287	0,00344	0,00511	0,00584

Таблица П.61. (продолжение)

K_{UA11}	K_{UA12}	K_{UA13}	K_{UA14}	K_{UA15}	K_{UA16}	K_{UA17}	K_{UA18}	K_{UA19}
0,00448	0,00959	0,00271	0,172	0,00572	0,208	0,0034	0,0242	0,00177

Таблица П.61. (продолжение)

K_{UA20}	K_{UA21}	K_{UA22}	K_{UA23}	K_{UA24}	K_{UA25}	K_{UA26}	K_{UA27}	K_{UA28}
0,0234	0,0241	0,0355	0,172	0,0254	0,38	0,0535	0,231	0,0221

Таблица П.61. (продолжение)

K_{UA29}	K_{UA30}	K_{UA31}	K_{UA32}	K_{UA33}	K_{UA34}	K_{UA35}	K_{UA36}	K_{UA37}
0,205	0,00903	0,152	0,00573	0,0996	0,00626	0,106	0,00346	0,0109

Таблица П.61. (продолжение)

K_{UA38}	K_{UA39}	K_{UA40}	K_{UA}	$U_A, В$	$U_{A0}, В$
0,00901	0,00883	0,00839	0,628	123,2	<0,1

Таблица П.62. Коэффициенты гармонических составляющих, коэффициент искажения напряжения и действующее значения напряжения фазы «В», при обрыве измерительных проводов фаз «А» и «В» регулятора напряжения

K_{UB2}	K_{UB3}	K_{UB4}	K_{UB5}	K_{UB6}	K_{UB7}	K_{UB8}	K_{UB9}	K_{UB10}
0,00713	0,0135	0,00151	0,00878	0,0027	0,0133	0,00771	0,0111	0,0172

Таблица П.62. (продолжение)

$K_{U_{B11}}$	$K_{U_{B12}}$	$K_{U_{B13}}$	$K_{U_{B14}}$	$K_{U_{B15}}$	$K_{U_{B16}}$	$K_{U_{B17}}$	$K_{U_{B18}}$	$K_{U_{B19}}$
0,00501	0,0314	0,00392	0,0972	0,00318	0,166	0,00566	0,043	0,00414

Таблица П.62. (продолжение)

$K_{U_{B20}}$	$K_{U_{B21}}$	$K_{U_{B22}}$	$K_{U_{B23}}$	$K_{U_{B24}}$	$K_{U_{B25}}$	$K_{U_{B26}}$	$K_{U_{B27}}$	$K_{U_{B28}}$
0,0332	0,0103	0,0226	0,0485	0,019	0,0645	0,00254	0,0792	0,0111

Таблица П.62. (продолжение)

$K_{U_{B29}}$	$K_{U_{B30}}$	$K_{U_{B31}}$	$K_{U_{B32}}$	$K_{U_{B33}}$	$K_{U_{B34}}$	$K_{U_{B35}}$	$K_{U_{B36}}$	$K_{U_{B37}}$
0,0469	0,0147	0,468	0,0207	0,5	0,0349	0,649	0,0263	0,424

Таблица П.62. (продолжение)

$K_{U_{B38}}$	$K_{U_{B39}}$	$K_{U_{B40}}$	K_{U_B}	$U_B, В$	$U_{B0}, В$
0,113	0,0879	0,128	1,08	123,1	<0,1

Таблица П.63. Коэффициенты гармонических составляющих, коэффициент искажения напряжения и действующее значения напряжения фазы «С», при обрыве измерительных проводов фаз «А» и «В» регулятора напряжения

$K_{U_{C2}}$	$K_{U_{C3}}$	$K_{U_{C4}}$	$K_{U_{C5}}$	$K_{U_{C6}}$	$K_{U_{C7}}$	$K_{U_{C8}}$	$K_{U_{C9}}$	$K_{U_{C10}}$
0,00738	0,0161	0,00121	0,0129	0,00179	0,0138	0,00626	0,0113	0,014

Таблица П.63. (продолжение)

$K_{U_{C11}}$	$K_{U_{C12}}$	$K_{U_{C13}}$	$K_{U_{C14}}$	$K_{U_{C15}}$	$K_{U_{C16}}$	$K_{U_{C17}}$	$K_{U_{C18}}$	$K_{U_{C19}}$
0,00694	0,0244	0,00572	0,125	0,00731	0,129	0,00373	0,0289	0,00367

Таблица П.63. (продолжение)

$K_{U_{C20}}$	$K_{U_{C21}}$	$K_{U_{C22}}$	$K_{U_{C23}}$	$K_{U_{C24}}$	$K_{U_{C25}}$	$K_{U_{C26}}$	$K_{U_{C27}}$	$K_{U_{C28}}$
0,0285	0,0136	0,0221	0,0468	0,0204	0,0289	0,00304	0,114	0,0153

Таблица П.63. (продолжение)

$K_{U_{C29}}$	$K_{U_{C30}}$	$K_{U_{C31}}$	$K_{U_{C32}}$	$K_{U_{C33}}$	$K_{U_{C34}}$	$K_{U_{C35}}$	$K_{U_{C36}}$	$K_{U_{C37}}$
0,144	0,00882	0,275	0,0167	0,209	0,0181	0,431	0,0403	0,301

Таблица П.63. (продолжение)

$K_{U_{C38}}$	$K_{U_{C39}}$	$K_{U_{C40}}$	K_{U_C}	$U_C, В$	$U_{C0}, В$
0,105	0,0523	0,0662	0,7	123,1	<0,1

Таблица П.64. Коэффициенты гармонических составляющих, коэффициент искажения напряжения и действующее значения напряжения фазы «А», при обрыве измерительных проводов фаз «В» и «С» регулятора напряжения

$K_{U_{A_2}}$	$K_{U_{A_3}}$	$K_{U_{A_4}}$	$K_{U_{A_5}}$	$K_{U_{A_6}}$	$K_{U_{A_7}}$	$K_{U_{A_8}}$	$K_{U_{A_9}}$	$K_{U_{A_{10}}}$
0,00798	0,0431	0,00125	0,0134	0,002	0,0144	0,00627	0,0118	0,0151

Таблица П.64. (продолжение)

$K_{U_{A_{11}}}$	$K_{U_{A_{12}}}$	$K_{U_{A_{13}}}$	$K_{U_{A_{14}}}$	$K_{U_{A_{15}}}$	$K_{U_{A_{16}}}$	$K_{U_{A_{17}}}$	$K_{U_{A_{18}}}$	$K_{U_{A_{19}}}$
0,0075	0,0265	0,00688	0,151	0,0103	0,176	0,00604	0,0545	0,00112

Таблица П.64. (продолжение)

$K_{U_{A_{20}}}$	$K_{U_{A_{21}}}$	$K_{U_{A_{22}}}$	$K_{U_{A_{23}}}$	$K_{U_{A_{24}}}$	$K_{U_{A_{25}}}$	$K_{U_{A_{26}}}$	$K_{U_{A_{27}}}$	$K_{U_{A_{28}}}$
0,0525	0,0285	0,0603	0,203	0,0553	0,461	0,0252	0,231	0,00885

Таблица П.64. (продолжение)

$K_{U_{A_{29}}}$	$K_{U_{A_{30}}}$	$K_{U_{A_{31}}}$	$K_{U_{A_{32}}}$	$K_{U_{A_{33}}}$	$K_{U_{A_{34}}}$	$K_{U_{A_{35}}}$	$K_{U_{A_{36}}}$	$K_{U_{A_{37}}}$
0,186	0,00196	0,157	0,0068	0,09	0,00553	0,0834	0,00435	0,00577

Таблица П.64. (продолжение)

$K_{U_{A_{38}}}$	$K_{U_{A_{39}}}$	$K_{U_{A_{40}}}$	K_{U_A}	$U_A, В$	$U_{A_0}, В$
0,00464	0,00714	0,00705	0,673	123,2	<0,1

Таблица П.65. Коэффициенты гармонических составляющих, коэффициент искажения напряжения и действующее значения напряжения фазы «В», при обрыве измерительных проводов фаз «В» и «С» регулятора напряжения

$K_{U_{B_2}}$	$K_{U_{B_3}}$	$K_{U_{B_4}}$	$K_{U_{B_5}}$	$K_{U_{B_6}}$	$K_{U_{B_7}}$	$K_{U_{B_8}}$	$K_{U_{B_9}}$	$K_{U_{B_{10}}}$
0,00703	0,0367	0,00085	0,00441	0,00147	0,00301	0,00324	0,00475	0,00503

Таблица П.65. (продолжение)

$K_{U_{B_{11}}}$	$K_{U_{B_{12}}}$	$K_{U_{B_{13}}}$	$K_{U_{B_{14}}}$	$K_{U_{B_{15}}}$	$K_{U_{B_{16}}}$	$K_{U_{B_{17}}}$	$K_{U_{B_{18}}}$	$K_{U_{B_{19}}}$
0,00413	0,0104	0,0024	0,141	0,00501	0,155	0,00301	0,0135	0,00366

Таблица П.65. (продолжение)

$K_{U_{B_{20}}}$	$K_{U_{B_{21}}}$	$K_{U_{B_{22}}}$	$K_{U_{B_{23}}}$	$K_{U_{B_{24}}}$	$K_{U_{B_{25}}}$	$K_{U_{B_{26}}}$	$K_{U_{B_{27}}}$	$K_{U_{B_{28}}}$
0,0102	0,016	0,012	0,0617	0,00885	0,0801	0,00298	0,0626	0,00468

Таблица П.65. (продолжение)

$K_{U_{B29}}$	$K_{U_{B30}}$	$K_{U_{B31}}$	$K_{U_{B32}}$	$K_{U_{B33}}$	$K_{U_{B34}}$	$K_{U_{B35}}$	$K_{U_{B36}}$	$K_{U_{B37}}$
0,114	0,0216	0,396	0,016	0,504	0,0149	0,507	0,0358	0,101

Таблица П.65. (продолжение)

$K_{U_{B38}}$	$K_{U_{B39}}$	$K_{U_{B40}}$	K_{U_B}	$U_B, В$	$U_{B0}, В$
0,0498	0,114	0,0394	0,878	123,1	<0,1

Таблица П.66. Коэффициенты гармонических составляющих, коэффициент искажения напряжения и действующее значения напряжения фазы «С», при обрыве измерительных проводов фаз «В» и «С» регулятора напряжения

$K_{U_{C2}}$	$K_{U_{C3}}$	$K_{U_{C4}}$	$K_{U_{C5}}$	$K_{U_{C6}}$	$K_{U_{C7}}$	$K_{U_{C8}}$	$K_{U_{C9}}$	$K_{U_{C10}}$
0,00777	0,0375	0,00161	0,00885	0,00266	0,013	0,00761	0,0106	0,0167

Таблица П.66. (продолжение)

$K_{U_{C11}}$	$K_{U_{C12}}$	$K_{U_{C13}}$	$K_{U_{C14}}$	$K_{U_{C15}}$	$K_{U_{C16}}$	$K_{U_{C17}}$	$K_{U_{C18}}$	$K_{U_{C19}}$
0,00453	0,032	0,00458	0,0992	0,00389	0,163	0,00615	0,043	0,00448

Таблица П.66. (продолжение)

$K_{U_{C20}}$	$K_{U_{C21}}$	$K_{U_{C22}}$	$K_{U_{C23}}$	$K_{U_{C24}}$	$K_{U_{C25}}$	$K_{U_{C26}}$	$K_{U_{C27}}$	$K_{U_{C28}}$
0,0301	0,0141	0,0194	0,0532	0,0129	0,0333	0,00349	0,0971	0,00652

Таблица П.66. (продолжение)

$K_{U_{C29}}$	$K_{U_{C30}}$	$K_{U_{C31}}$	$K_{U_{C32}}$	$K_{U_{C33}}$	$K_{U_{C34}}$	$K_{U_{C35}}$	$K_{U_{C36}}$	$K_{U_{C37}}$
0,134	0,0217	0,232	0,0197	0,265	0,0217	0,379	0,043	0,371

Таблица П.66. (продолжение)

$K_{U_{C38}}$	$K_{U_{C39}}$	$K_{U_{C40}}$	K_{U_C}	$U_C, В$	$U_{C0}, В$
0,0458	0,102	0,0799	0,709	123,1	<0,1

Таблица П.67. Коэффициенты гармонических составляющих, коэффициент искажения напряжения и действующее значения напряжения фазы «А», при обрыве измерительных проводов фаз «С» и «А» регулятора напряжения

$K_{U_{A2}}$	$K_{U_{A3}}$	$K_{U_{A4}}$	$K_{U_{A5}}$	$K_{U_{A6}}$	$K_{U_{A7}}$	$K_{U_{A8}}$	$K_{U_{A9}}$	$K_{U_{A10}}$
0,00718	0,0254	0,00149	0,00923	0,00248	0,0141	0,0077	0,0122	0,0179

Таблица П.67. (продолжение)

$K_{U_{A1}}$	$K_{U_{A2}}$	$K_{U_{A3}}$	$K_{U_{A4}}$	$K_{U_{A5}}$	$K_{U_{A6}}$	$K_{U_{A7}}$	$K_{U_{A8}}$	$K_{U_{A9}}$
0,00635	0,0382	0,00451	0,12	0,0039	0,219	0,00841	0,0523	0,00608

Таблица П.67. (продолжение)

$K_{U_{A20}}$	$K_{U_{A21}}$	$K_{U_{A22}}$	$K_{U_{A23}}$	$K_{U_{A24}}$	$K_{U_{A25}}$	$K_{U_{A26}}$	$K_{U_{A27}}$	$K_{U_{A28}}$
0,0557	0,032	0,0532	0,189	0,053	0,439	0,0307	0,198	0,0142

Таблица П.67. (продолжение)

$K_{U_{A29}}$	$K_{U_{A30}}$	$K_{U_{A31}}$	$K_{U_{A32}}$	$K_{U_{A33}}$	$K_{U_{A34}}$	$K_{U_{A35}}$	$K_{U_{A36}}$	$K_{U_{A37}}$
0,133	0,0104	0,163	0,00754	0,111	0,0057	0,107	0,00494	0,011

Таблица П.67. (продолжение)

$K_{U_{A38}}$	$K_{U_{A39}}$	$K_{U_{A40}}$	K_{U_A}	U_A, B	U_{A0}, B
0,0039	0,0129	0,00835	0,644	123,2	<0,1

Таблица П.68. Коэффициенты гармонических составляющих, коэффициент искажения напряжения и действующее значения напряжения фазы «В», при обрыве измерительных проводов фаз «С» и «А» регулятора напряжения

$K_{U_{B2}}$	$K_{U_{B3}}$	$K_{U_{B4}}$	$K_{U_{B5}}$	$K_{U_{B6}}$	$K_{U_{B7}}$	$K_{U_{B8}}$	$K_{U_{B9}}$	$K_{U_{B10}}$
0,00743	0,0325	0,00135	0,0133	0,0015	0,014	0,00575	0,0116	0,0132

Таблица П.68. (продолжение)

$K_{U_{B11}}$	$K_{U_{B12}}$	$K_{U_{B13}}$	$K_{U_{B14}}$	$K_{U_{B15}}$	$K_{U_{B16}}$	$K_{U_{B17}}$	$K_{U_{B18}}$	$K_{U_{B19}}$
0,00703	0,0258	0,00579	0,124	0,00753	0,133	0,00478	0,0281	0,00225

Таблица П.68. (продолжение)

$K_{U_{B20}}$	$K_{U_{B21}}$	$K_{U_{B22}}$	$K_{U_{B23}}$	$K_{U_{B24}}$	$K_{U_{B25}}$	$K_{U_{B26}}$	$K_{U_{B27}}$	$K_{U_{B28}}$
0,0265	0,0161	0,0166	0,0552	0,0138	0,0743	0,00296	0,0799	0,00562

Таблица П.68. (продолжение)

$K_{U_{B29}}$	$K_{U_{B30}}$	$K_{U_{B31}}$	$K_{U_{B32}}$	$K_{U_{B33}}$	$K_{U_{B34}}$	$K_{U_{B35}}$	$K_{U_{B36}}$	$K_{U_{B37}}$
0,206	0,0108	0,303	0,0394	0,539	0,0395	0,644	0,0486	0,224

Таблица П.68. (продолжение)

$K_{U_{B38}}$	$K_{U_{B39}}$	$K_{U_{B40}}$	K_{U_B}	U_B, B	U_{B0}, B
0,0403	0,0871	0,0466	0,979	123,1	<0,1

Таблица П.69. Коэффициенты гармонических составляющих, коэффициент искажения напряжения и действующее значения напряжения фазы «С», при обрыве измерительных проводов фаз «С» и «А» регулятора напряжения

K_{UC_2}	K_{UC_3}	K_{UC_4}	K_{UC_5}	K_{UC_6}	K_{UC_7}	K_{UC_8}	K_{UC_9}	$K_{UC_{10}}$
0,00648	0,0304	0,00077	0,00422	0,00166	0,00283	0,00332	0,00468	0,00515

Таблица П.69. (продолжение)

$K_{UC_{11}}$	$K_{UC_{12}}$	$K_{UC_{13}}$	$K_{UC_{14}}$	$K_{UC_{15}}$	$K_{UC_{16}}$	$K_{UC_{17}}$	$K_{UC_{18}}$	$K_{UC_{19}}$
0,0041	0,0113	0,00277	0,14	0,00487	0,156	0,00274	0,00922	0,0039

Таблица П.69. (продолжение)

$K_{UC_{20}}$	$K_{UC_{21}}$	$K_{UC_{22}}$	$K_{UC_{23}}$	$K_{UC_{24}}$	$K_{UC_{25}}$	$K_{UC_{26}}$	$K_{UC_{27}}$	$K_{UC_{28}}$
0,0118	0,0127	0,0136	0,0522	0,00875	0,0331	0,00378	0,107	0,0109

Таблица П.69. (продолжение)

$K_{UC_{29}}$	$K_{UC_{30}}$	$K_{UC_{31}}$	$K_{UC_{32}}$	$K_{UC_{33}}$	$K_{UC_{34}}$	$K_{UC_{35}}$	$K_{UC_{36}}$	$K_{UC_{37}}$
0,27	0,00403	0,0916	0,0252	0,259	0,0176	0,428	0,0384	0,506

Таблица П.69. (продолжение)

$K_{UC_{38}}$	$K_{UC_{39}}$	$K_{UC_{40}}$	K_{UC}	$U_C, В$	$U_{C_0}, В$
0,0407	0,155	0,0165	0,823	123,1	<0,1

Таблица П.70. Коэффициенты гармонических составляющих, коэффициент искажения напряжения и действующее значения напряжения фазы «А», при обрыве измерительного нулевого провода регулятора напряжения

K_{UA_2}	K_{UA_3}	K_{UA_4}	K_{UA_5}	K_{UA_6}	K_{UA_7}	K_{UA_8}	K_{UA_9}	$K_{UA_{10}}$
0,00263	0,0164	0,00787	0,00945	0,00072	0,0137	0,0142	0,00226	0,0196

Таблица П.70. (продолжение)

$K_{UA_{11}}$	$K_{UA_{12}}$	$K_{UA_{13}}$	$K_{UA_{14}}$	$K_{UA_{15}}$	$K_{UA_{16}}$	$K_{UA_{17}}$	$K_{UA_{18}}$	$K_{UA_{19}}$
0,0227	0,0025	0,0295	0,135	0,0024	0,186	0,0237	0,00606	0,0359

Таблица П.70. (продолжение)

$K_{UA_{20}}$	$K_{UA_{21}}$	$K_{UA_{22}}$	$K_{UA_{23}}$	$K_{UA_{24}}$	$K_{UA_{25}}$	$K_{UA_{26}}$	$K_{UA_{27}}$	$K_{UA_{28}}$
0,0386	0,00523	0,0714	0,0483	0,068	0,228	0,0546	0,19	0,0438

Таблица П.70. (продолжение)

$K_{U_{A29}}$	$K_{U_{A30}}$	$K_{U_{A31}}$	$K_{U_{A32}}$	$K_{U_{A33}}$	$K_{U_{A34}}$	$K_{U_{A35}}$	$K_{U_{A36}}$	$K_{U_{A37}}$
0,19	0,0205	0,169	0,0169	0,1	0,0148	0,151	0,00973	0,00833

Таблица П.70. (продолжение)

$K_{U_{A38}}$	$K_{U_{A39}}$	$K_{U_{A40}}$	K_{U_A}	$U_A, В$	$U_{A0}, В$
0,0197	0,00617	0,0199	0,513	96,65	<0,1

Таблица П.71. Коэффициенты гармонических составляющих, коэффициент искажения напряжения и действующее значения напряжения фазы «В», при обрыве измерительного нулевого провода регулятора напряжения

$K_{U_{B2}}$	$K_{U_{B3}}$	$K_{U_{B4}}$	$K_{U_{B5}}$	$K_{U_{B6}}$	$K_{U_{B7}}$	$K_{U_{B8}}$	$K_{U_{B9}}$	$K_{U_{B10}}$
0,00488	0,0174	0,00786	0,00906	0,00087	0,0124	0,0133	0,0015	0,0178

Таблица П.71. (продолжение)

$K_{U_{B11}}$	$K_{U_{B12}}$	$K_{U_{B13}}$	$K_{U_{B14}}$	$K_{U_{B15}}$	$K_{U_{B16}}$	$K_{U_{B17}}$	$K_{U_{B18}}$	$K_{U_{B19}}$
0,0192	0,00212	0,0247	0,111	0,00127	0,138	0,0178	0,00311	0,0212

Таблица П.71. (продолжение)

$K_{U_{B20}}$	$K_{U_{B21}}$	$K_{U_{B22}}$	$K_{U_{B23}}$	$K_{U_{B24}}$	$K_{U_{B25}}$	$K_{U_{B26}}$	$K_{U_{B27}}$	$K_{U_{B28}}$
0,0192	0,00236	0,0244	0,0133	0,00641	0,0606	0,0254	0,0323	0,0291

Таблица П.71. (продолжение)

$K_{U_{B29}}$	$K_{U_{B30}}$	$K_{U_{B31}}$	$K_{U_{B32}}$	$K_{U_{B33}}$	$K_{U_{B34}}$	$K_{U_{B35}}$	$K_{U_{B36}}$	$K_{U_{B37}}$
0,108	0,0303	0,482	0,055	0,667	0,0514	0,747	0,0644	0,326

Таблица П.71. (продолжение)

$K_{U_{B38}}$	$K_{U_{B39}}$	$K_{U_{B40}}$	K_{U_B}	$U_B, В$	$U_{B0}, В$
0,24	0,0369	0,155	1,22	96,58	<0,1

Таблица П.72. Коэффициенты гармонических составляющих, коэффициент искажения напряжения и действующее значения напряжения фазы «С», при обрыве измерительного нулевого провода регулятора напряжения

$K_{U_{C2}}$	$K_{U_{C3}}$	$K_{U_{C4}}$	$K_{U_{C5}}$	$K_{U_{C6}}$	$K_{U_{C7}}$	$K_{U_{C8}}$	$K_{U_{C9}}$	$K_{U_{C10}}$
0,00485	0,0172	0,00803	0,0079	0,00066	0,0117	0,0143	0,00106	0,0177

Таблица П.72. (продолжение)

K_{UC11}	K_{UC12}	K_{UC13}	K_{UC14}	K_{UC15}	K_{UC16}	K_{UC17}	K_{UC18}	K_{UC19}
0,0183	0,0023	0,023	0,111	0,00247	0,138	0,0156	0,0043	0,0218

Таблица П.72. (продолжение)

K_{UC20}	K_{UC21}	K_{UC22}	K_{UC23}	K_{UC24}	K_{UC25}	K_{UC26}	K_{UC27}	K_{UC28}
0,0199	0,00415	0,0343	0,0118	0,018	0,0402	0,0233	0,0587	0,0213

Таблица П.72. (продолжение)

K_{UC29}	K_{UC30}	K_{UC31}	K_{UC32}	K_{UC33}	K_{UC34}	K_{UC35}	K_{UC36}	K_{UC37}
0,167	0,0122	0,257	0,0389	0,403	0,0223	0,661	0,109	0,378

Таблица П.72. (продолжение)

K_{UC38}	K_{UC39}	K_{UC40}	K_{UC}	$U_C, В$	$U_{C0}, В$
0,218	0,0635	0,164	0,985	96,57	<0,1

Значения $K_{UA_{h,S_{3,k}}}$, $K_{UB_{h,S_{3,k}}}$, $K_{UC_{h,S_{3,k}}}$, $K_{UA_{S_{3,k}}}$, $K_{UB_{S_{3,k}}}$, $K_{AS_{3,k}}$, $U_{AS_{3,k}}$, $U_{BS_{3,k}}$,

$U_{CS_{3,k}}$ приведены в таблицах П.1-П.72 для каждого технического состояния $S_{3,k}$.

Значения $\Delta K_{UA_{h,S_{3,k}}}$, $\Delta K_{UB_{h,S_{3,k}}}$, $\Delta K_{UC_{h,S_{3,k}}}$, $\Delta K_{UA_{S_{3,k}}}$, $\Delta K_{UB_{S_{3,k}}}$, $\Delta K_{AS_{3,k}}$,

$\Delta U_{AS_{3,k}}$, $\Delta U_{BS_{3,k}}$, $\Delta U_{CS_{3,k}}$ определены на основе графиков переходных процессов для

режима имитации погрешности, обусловленной неточностью исходных данных для каждого технического состояния $S_{3,k}$, как было показано в [82].

Для технических состояний $S_{3,8}$, $S_{3,9}$, $S_{3,10}$, $S_{3,11}$, $S_{3,12}$, $S_{3,13}$, $S_{3,14}$, $S_{3,16}$, $S_{3,17}$, $S_{3,18}$,

$S_{3,22}$, необходимо учитывать, что:

$$F_{3,8} \left(F_{AS_{3,8}}, F_{BS_{3,8}}, F_{CS_{3,8}} \right) = F_{3,8} \left(F_{BS_{3,8}}, F_{CS_{3,8}} \right) = F_{BS_{3,8}} \wedge F_{CS_{3,8}}, \quad (\text{П.1})$$

$$F_{3,9} \left(F_{AS_{3,9}}, F_{BS_{3,9}}, F_{CS_{3,9}} \right) = F_{3,9} \left(F_{AS_{3,9}}, F_{CS_{3,9}} \right) = F_{AS_{3,9}} \wedge F_{CS_{3,9}}, \quad (\text{П.2})$$

$$F_{3,10} \left(F_{AS_{3,10}}, F_{BS_{3,10}}, F_{CS_{3,10}} \right) = F_{3,10} \left(F_{AS_{3,10}}, F_{BS_{3,10}} \right) = F_{AS_{3,10}} \wedge F_{BS_{3,10}}, \quad (\text{П.3})$$

$$F_{3,11} \left(F_{AS_{3,11}}, F_{BS_{3,11}}, F_{CS_{3,11}} \right) = F_{3,11} \left(F_{CS_{3,11}} \right) = F_{CS_{3,11}}, \quad (\text{П.4})$$

$$F_{3,12} \left(F_{AS_{3,12}}, F_{BS_{3,12}}, F_{CS_{3,12}} \right) = F_{3,12} \left(F_{BS_{3,12}} \right) = F_{BS_{3,12}}, \quad (\text{П.5})$$

$$F_{3,13} \left(F_{AS_{3,13}}, F_{BS_{3,13}}, F_{CS_{3,13}} \right) = F_{3,13} \left(F_{CS_{3,13}} \right) = F_{CS_{3,13}}, \quad (\text{П.6})$$

$$F_{3,14} \left(F_{AS_{3,14}}, F_{BS_{3,14}}, F_{CS_{3,14}} \right) = (U_A < 0,1) \wedge (U_B < 0,1) \wedge (U_C < 0,1), \quad (\text{П.7})$$


$$F_{3,16} \left(F_{AS_{3,16}}, F_{BS_{3,16}}, F_{CS_{3,16}} \right) = F_{3,16} \left(F_{BS_{3,16}}, F_{CS_{3,16}} \right) = F_{BS_{3,16}} \wedge F_{CS_{3,16}}, \quad (\text{П.8})$$


$$F_{3,17} \left(F_{AS_{3,17}}, F_{BS_{3,17}}, F_{CS_{3,17}} \right) = F_{3,17} \left(F_{AS_{3,17}}, F_{CS_{3,17}} \right) = F_{AS_{3,17}} \wedge F_{CS_{3,17}}, \quad (\text{П.9})$$


$$F_{3,18} \left(F_{AS_{3,18}}, F_{BS_{3,18}}, F_{CS_{3,18}} \right) = F_{3,18} \left(F_{AS_{3,18}}, F_{BS_{3,18}} \right) = F_{AS_{3,18}} \wedge F_{BS_{3,18}}, \quad (\text{П.10})$$


$$F_{3,22} \left(F_{AS_{3,22}}, F_{BS_{3,22}}, F_{CS_{3,22}} \right) = (0,1 < U_A < 10) \wedge (0,1 < U_B < 10) \wedge (0,1 < U_C < 10). \quad (\text{П.11})$$


На рисунках П.1-П.3 приведены результаты имитационного моделирования по определению коэффициентов гармонических составляющих напряжений фаз «А», «В» и «С» в точке регулирования для случаев обрыва диода вращающегося выпрямителя генератора и при коротком замыкании фаз «А» и «В» между собой в результате моделирования каждого отдельного технического состояния $S_{3,1} - S_{3,30}$.

Чёрным цветом () показаны переходные процессы по коэффициентам 1-ой, 6-ой, 11-ой, 16-ой, 21-ой, 26-ой, 31-ой, 36-ой гармонических составляющих напряжений фаз «А», «В» и «С».

Розовым цветом () показаны переходные процессы по коэффициентам 2-ой, 7-ой, 12-ой, 17-ой, 22-ой, 27-ой, 32-ой, 37-ой гармонических составляющих напряжений фаз «А», «В» и «С».

Бирюзовым цветом () показаны переходные процессы по коэффициентам 3-ей, 8-ой, 13-ой, 18-ой, 23-ей, 28-ой, 33-ей, 38-ой гармонических составляющих напряжений фаз «А», «В» и «С».

Красным цветом () показаны переходные процессы по коэффициентам 4-ой, 9-ой, 14-ой, 19-ой, 24-ой, 29-ой, 34-ой, 39-ой гармонических составляющих напряжений фаз «А», «В» и «С».

Зелёным цветом () показаны переходные процессы по коэффициентам 5-ой, 10-ой, 15-ой, 20-ой, 25-ой, 30-ой, 35-ой, 40-ой гармонических составляющих напряжений фаз «А», «В» и «С».

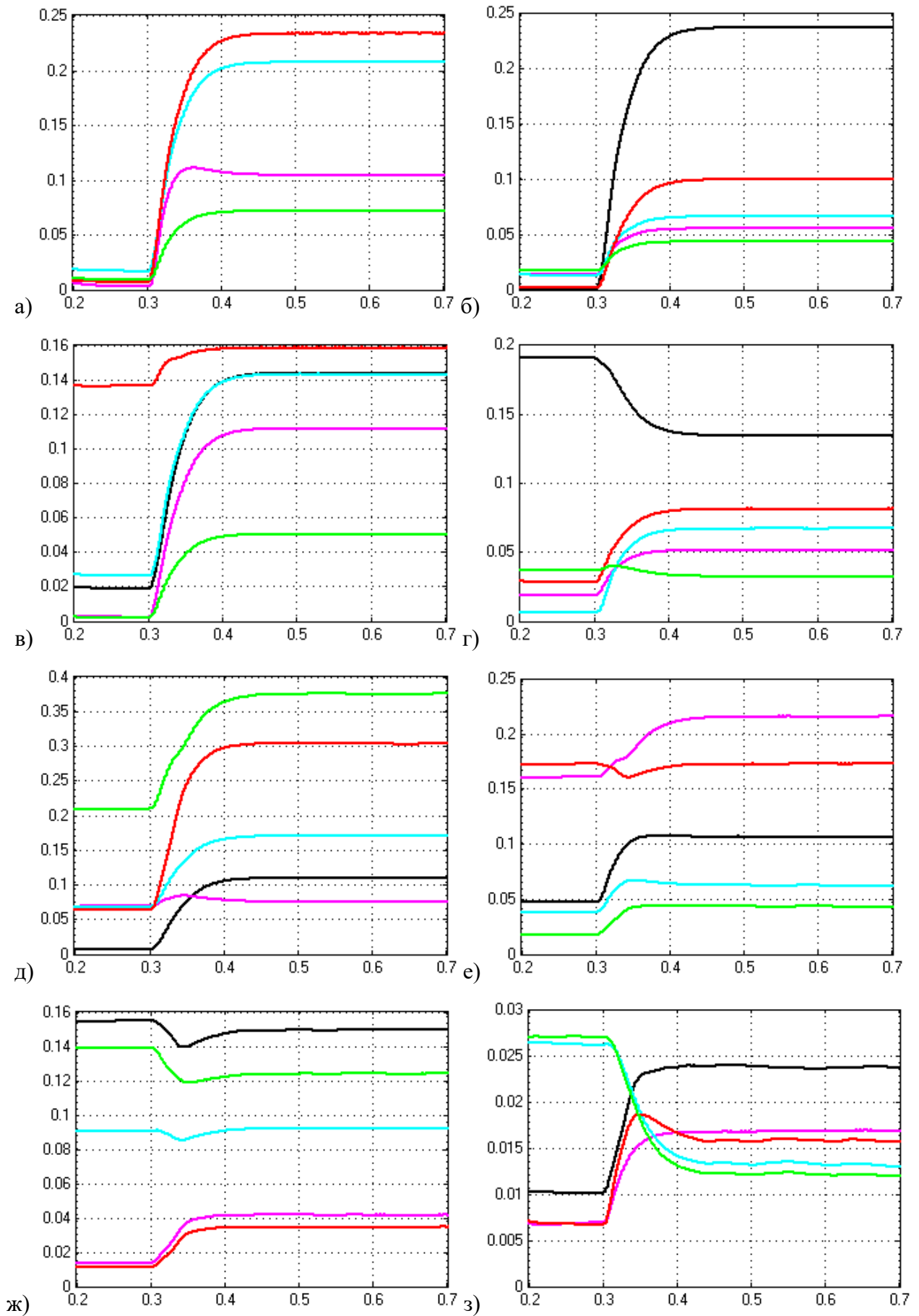


Рисунок П.1. Переходные процессы коэффициентов гармонических составляющих напряжения фазы «А» при обрыве диода вращающегося выпрямителя генератора

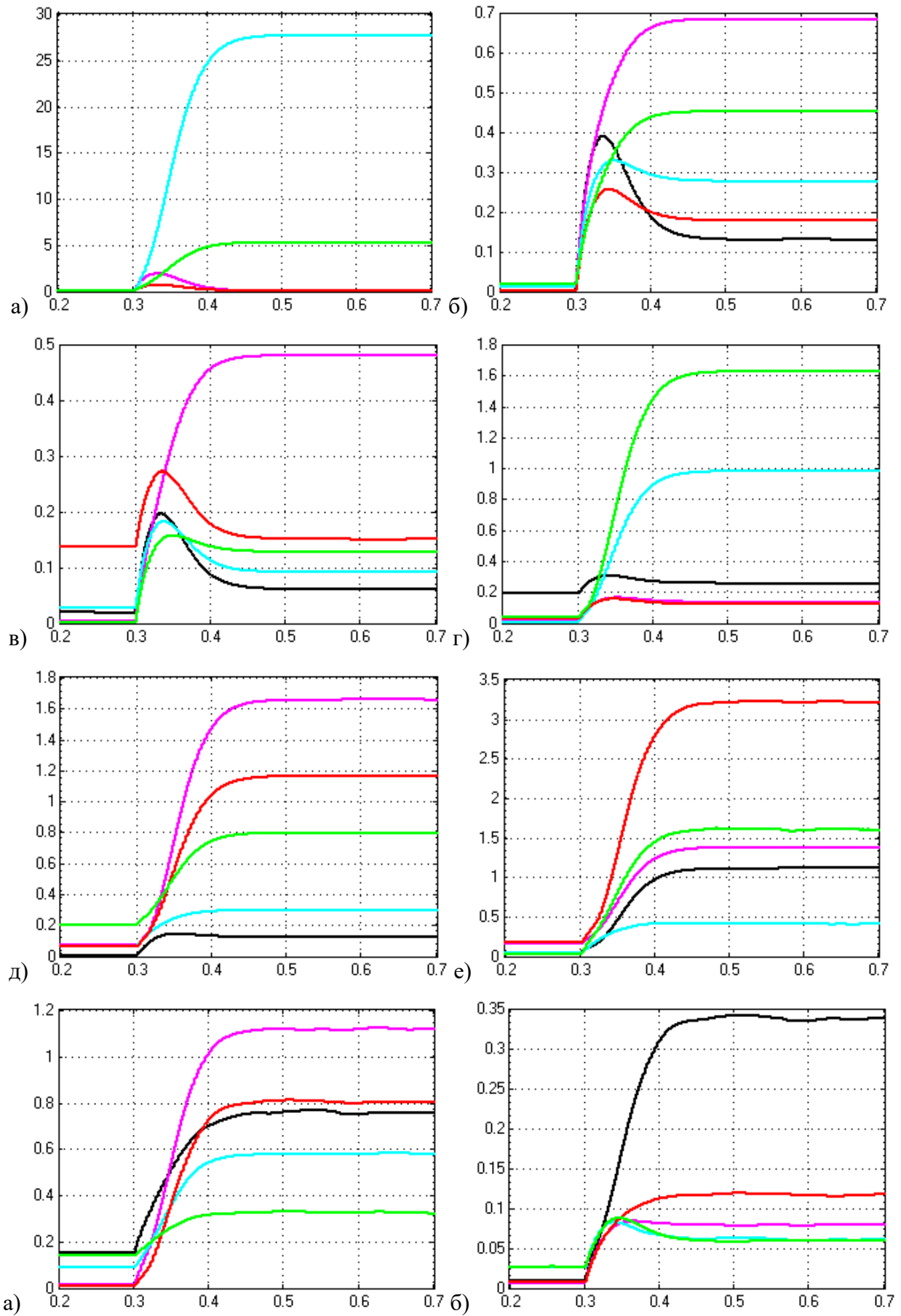


Рисунок П.2. Переходные процессы коэффициентов гармонических составляющих напряжения фазы «А» при коротком замыкании фаз «А» и «В» между собой

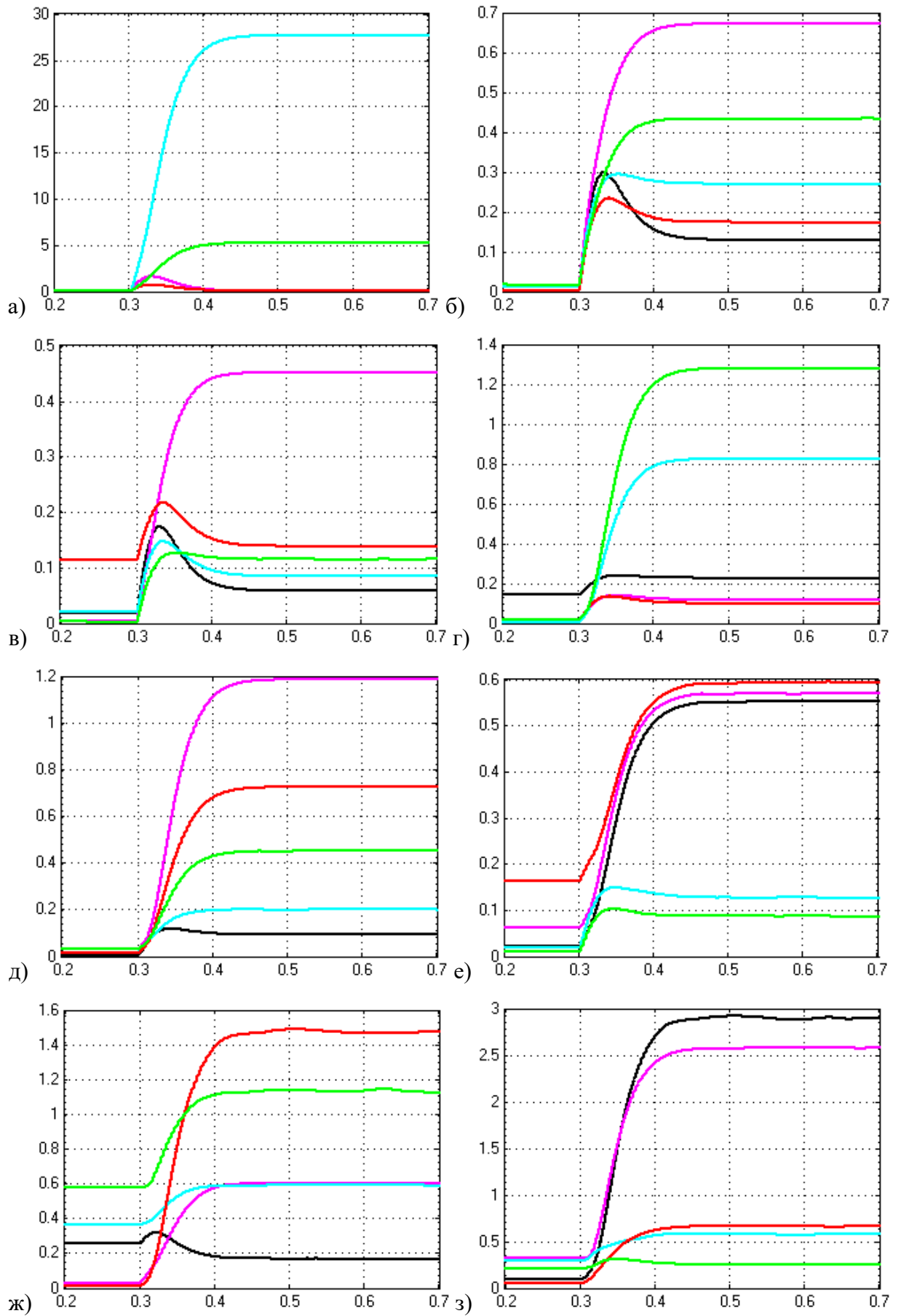


Рисунок П.3. Переходные процессы коэффициентов гармонических составляющих напряжения фазы «С» при коротком замыкании фаз «А» и «В» между собой

На рисунках П.4-П.23 представлены переходные процессы в точке регулирования, полученные на имитационной модели канала режима работы бортовой СЭС ВС переменного тока постоянной частоты.

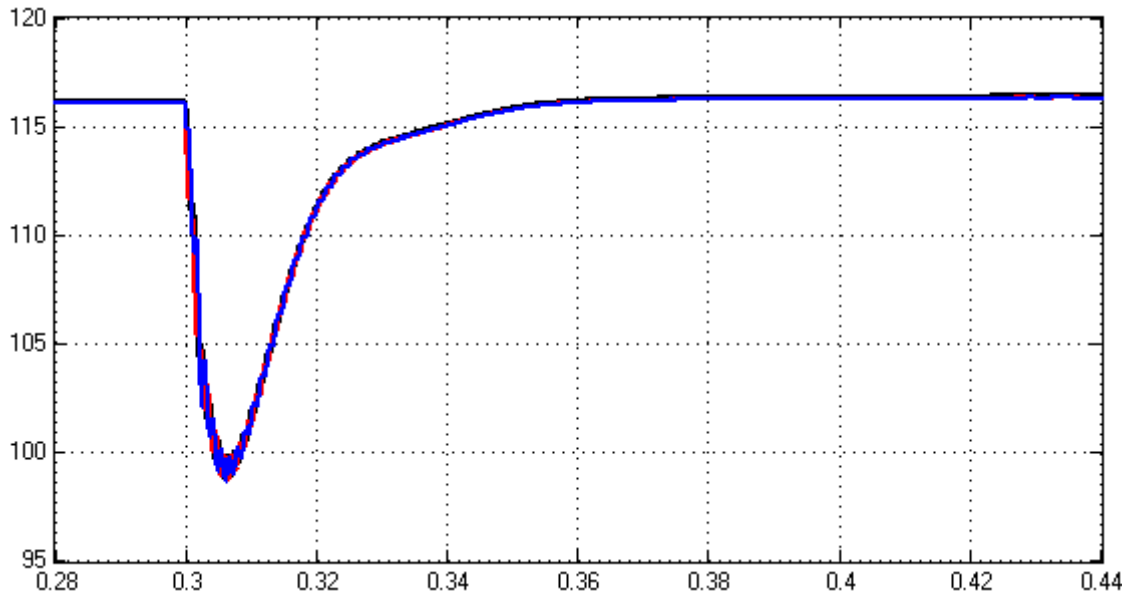


Рисунок П.4. Переходные процессы действующих значений напряжений фаз «А», «В», «С» при коммутации номинальной статической активно-индуктивной нагрузки с $\cos \varphi = 0,8$

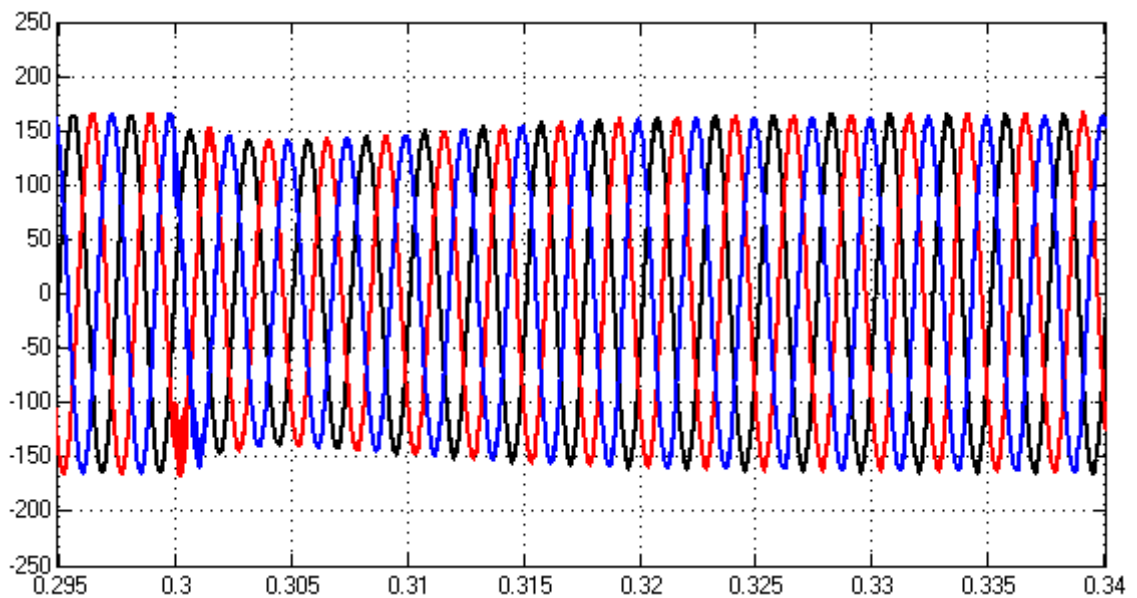


Рисунок П.5. Переходные процессы мгновенных значений напряжений фаз «А», «В», «С» при коммутации номинальной статической активно-индуктивной нагрузки с $\cos \varphi = 0,8$

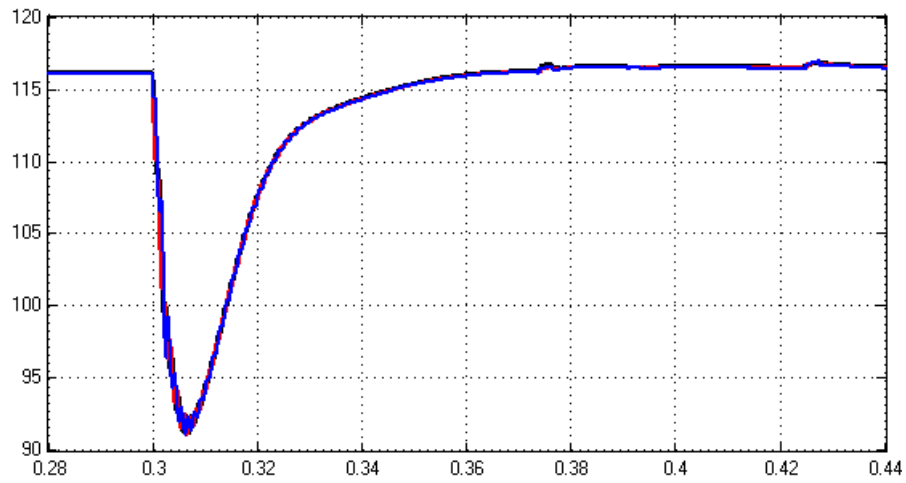


Рисунок П.6. Переходные процессы действующих значений напряжений фаз «А», «В», «С» при коммутации полуторакратной статической активно-индуктивной нагрузки с $\cos \varphi = 0,8$

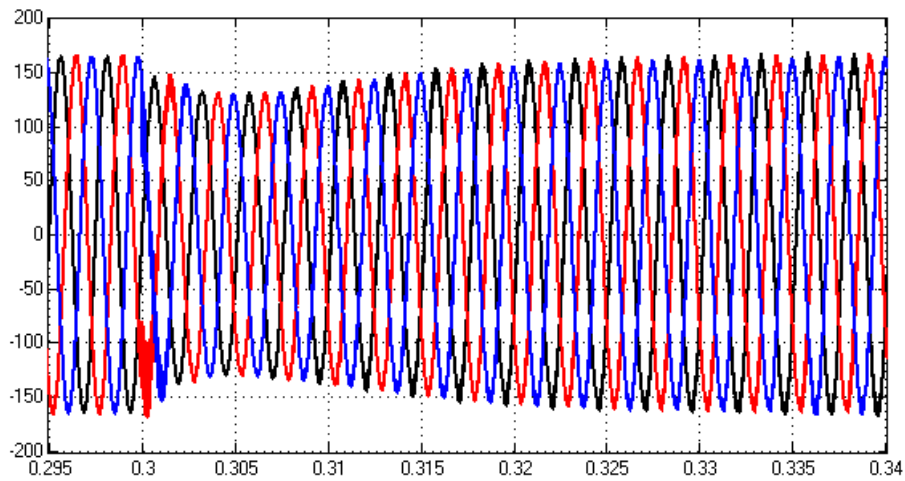


Рисунок П.7. Переходные процессы мгновенных значений напряжений фаз «А», «В», «С» при коммутации полуторакратной статической активно-индуктивной нагрузки с $\cos \varphi = 0,8$

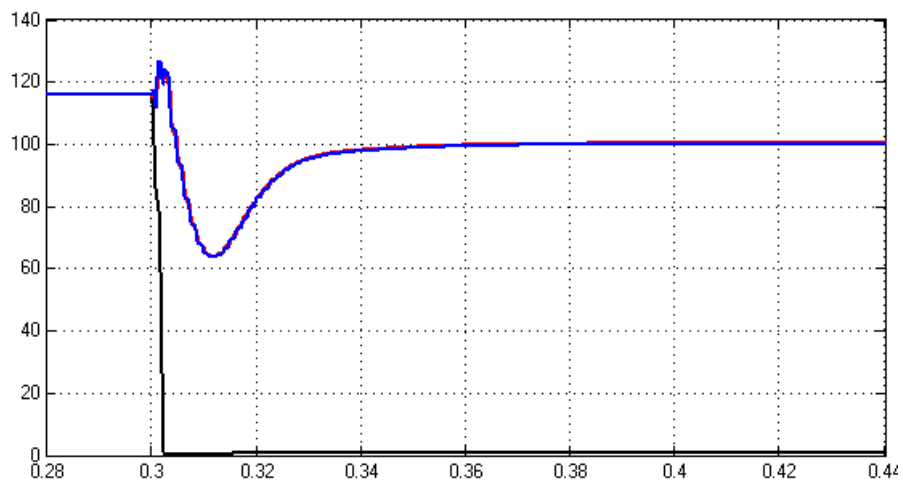


Рисунок П.8. Переходные процессы действующих значений напряжений фаз «А», «В», «С» при коротком замыкании фаз «А» фидера генератора на корпус

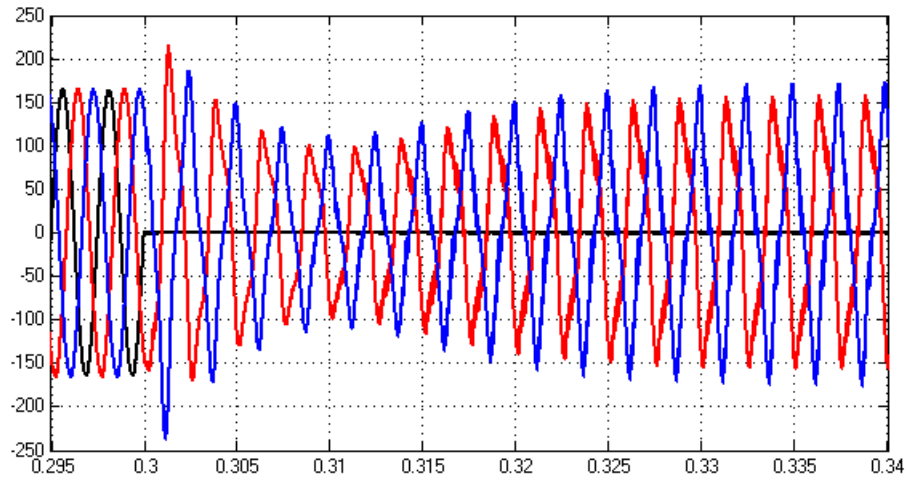


Рисунок П.9. Переходные процессы мгновенных значений напряжений фаз «А», «В», «С» при коротком замыкании фазы «А» фидера генератора на корпус

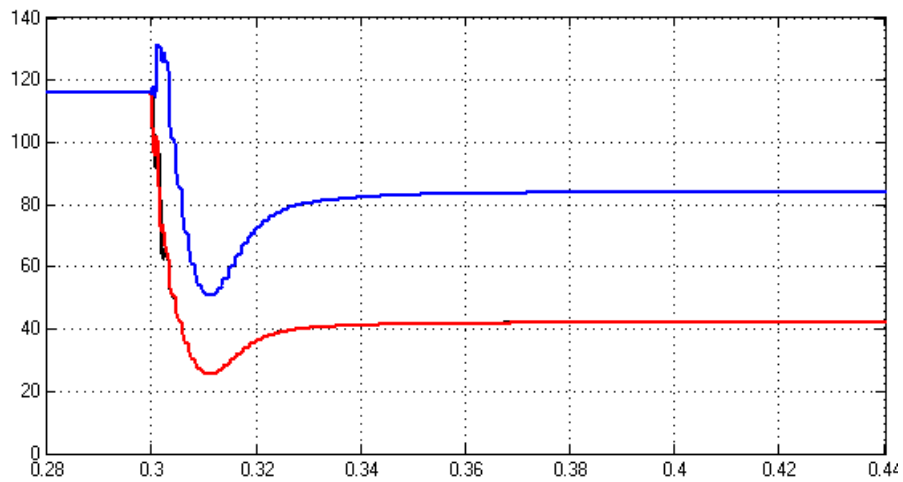


Рисунок П.10. Переходные процессы действующих значений напряжений фаз «А», «В», «С» при коротком замыкании фаз «А» и «В» фидера генератора между собой

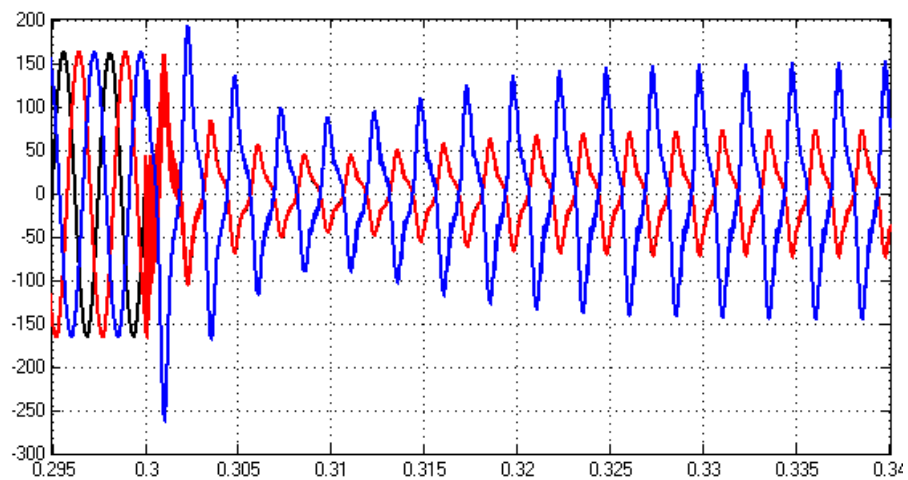


Рисунок П.11. Переходные процессы мгновенных значений напряжений фаз «А», «В», «С» при коротком замыкании фаз «А» и «В» фидера генератора между собой

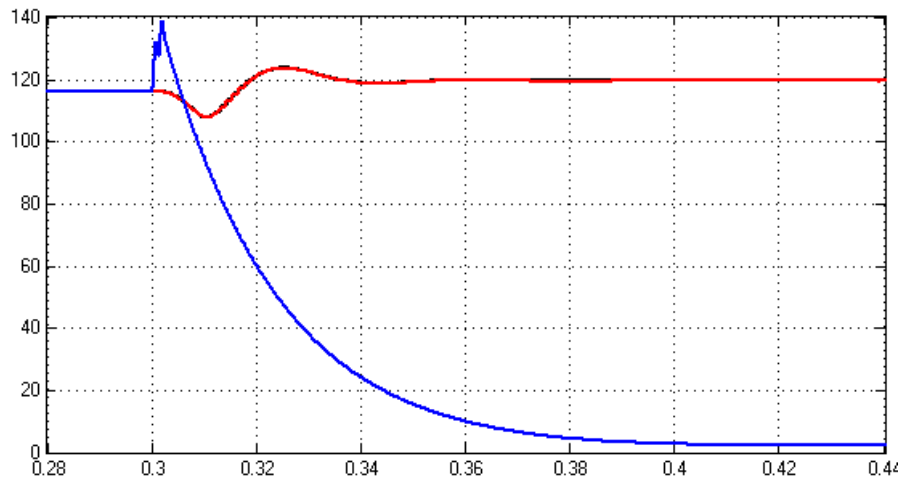


Рисунок П.12. Переходные процессы действующих значений напряжений фаз «А», «В», «С» при обрыве фазы «С» фидера генератора

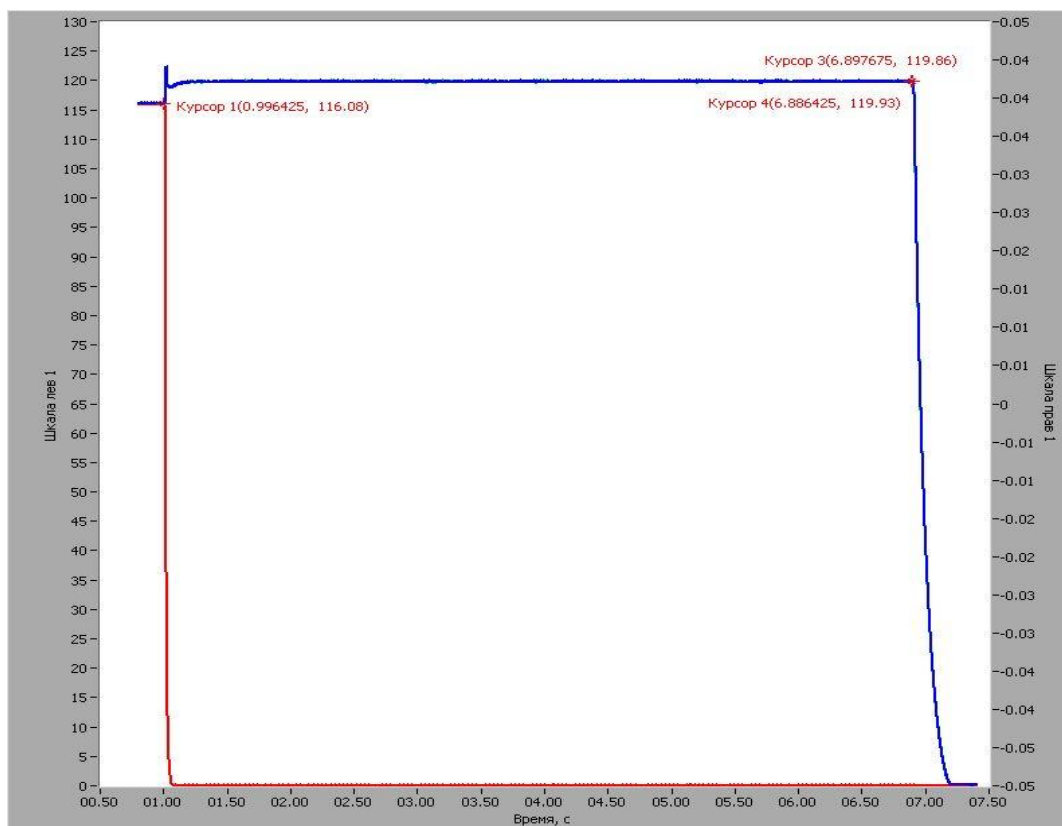


Рисунок П.13. Переходные процессы действующих значений напряжений фаз «А», «В», «С» при обрыве фазы «С» фидера генератора, полученные при испытаниях

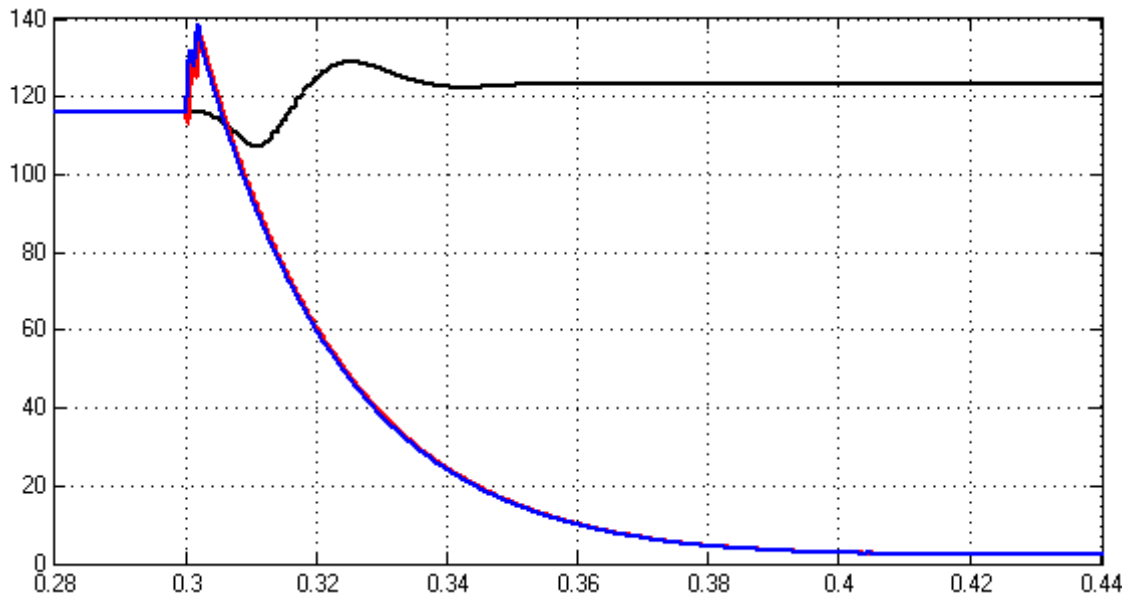


Рисунок П.14. Переходные процессы действующих значений напряжений фаз «А», «В», «С» при обрыве фаз «А» и «В» фидера генератора

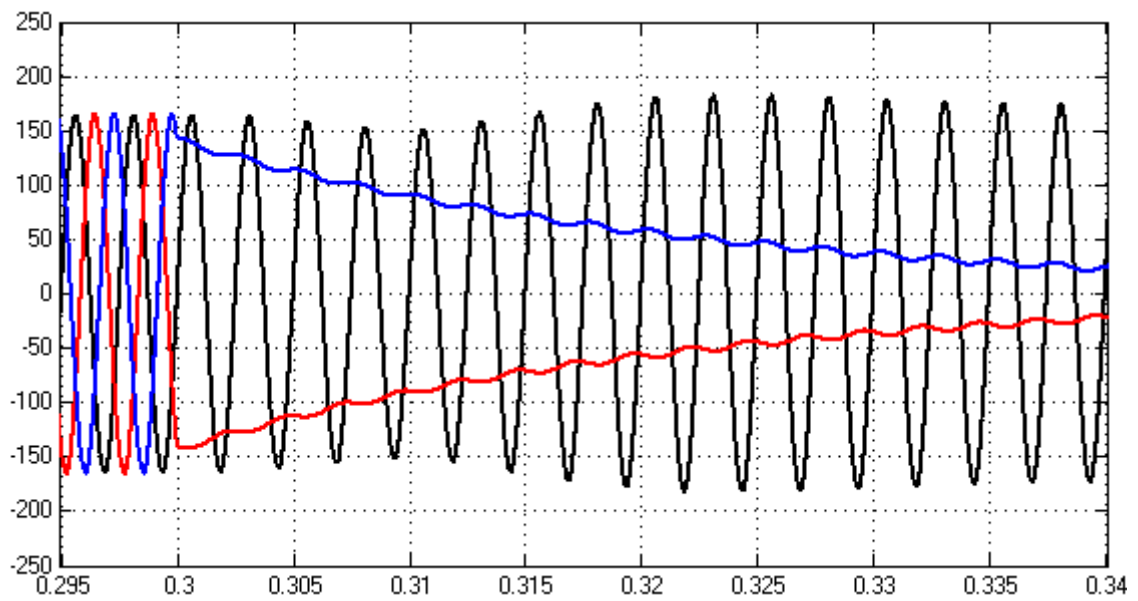


Рисунок П.15. Переходные процессы мгновенных значений напряжений фаз «А», «В», «С» при обрыве фаз «А» и «В» фидера генератора

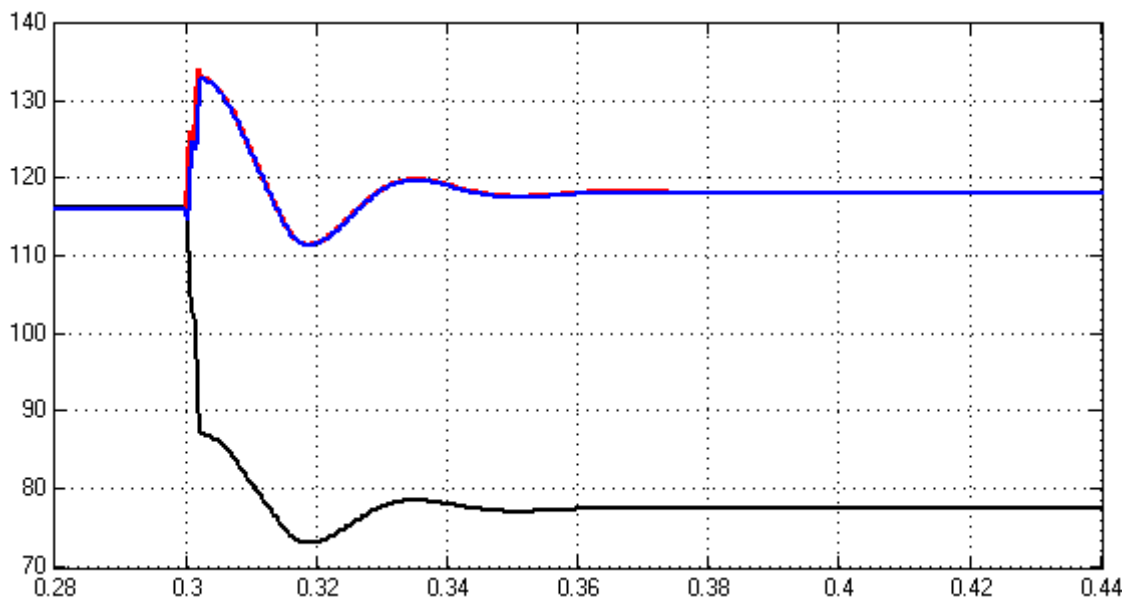


Рисунок П.16. Переходные процессы действующих значений напряжений фаз «А», «В», «С» при обрыве силовой нейтрали фидера генератора

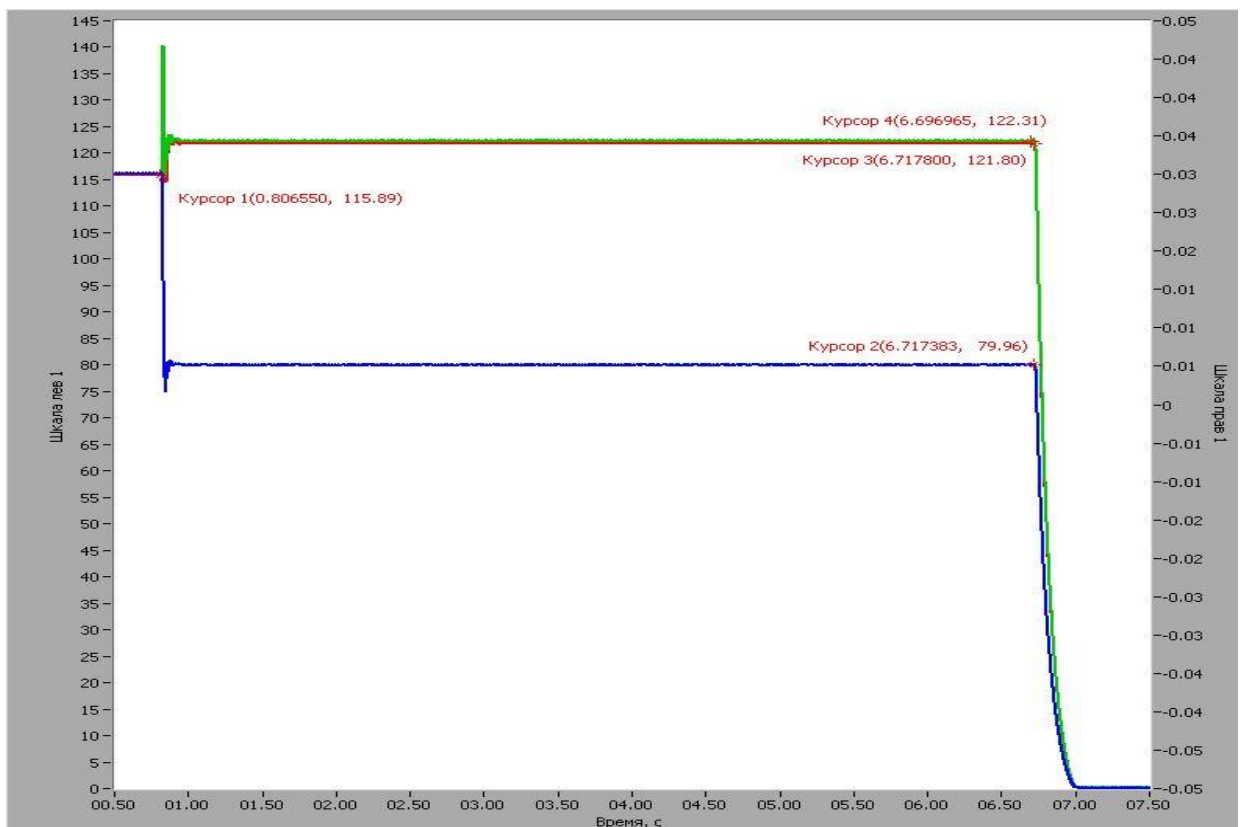


Рисунок П.17. Переходные процессы действующих значений напряжений фаз «А», «В», «С» при обрыве силовой нейтрали фидера генератора, полученные при испытаниях

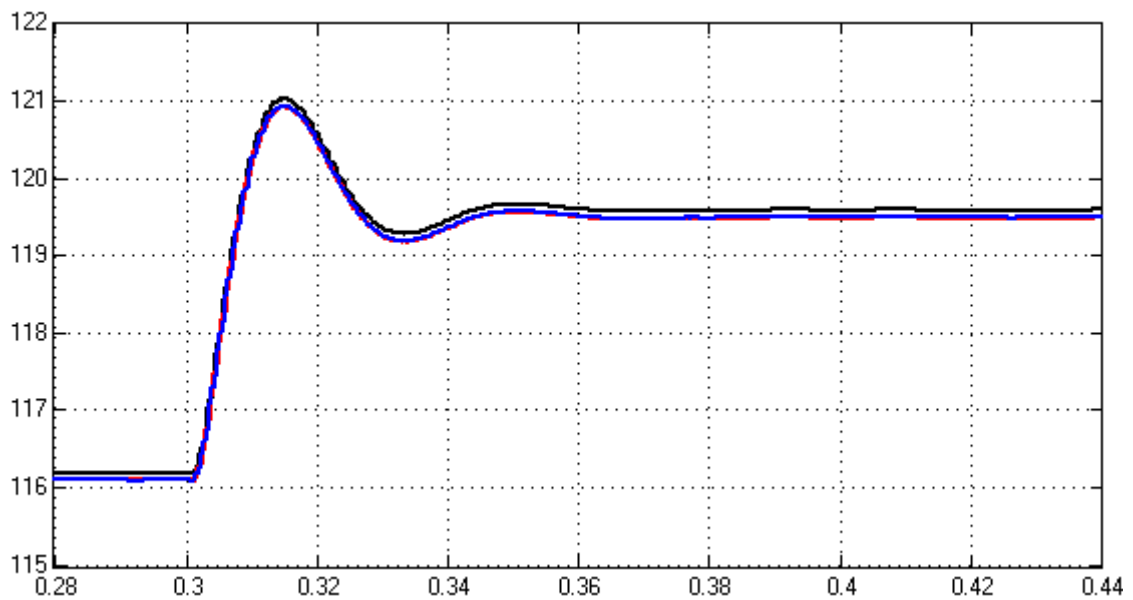


Рисунок П.18. Переходные процессы действующих значений напряжений фаз «А», «В», «С» при обрыве измерительного провода фазы «А» регулятора напряжения



Рисунок П.19. Переходные процессы действующих значений напряжений фаз «А», «В», «С» при обрыве измерительного провода фазы «А» регулятора напряжения, полученные при испытаниях

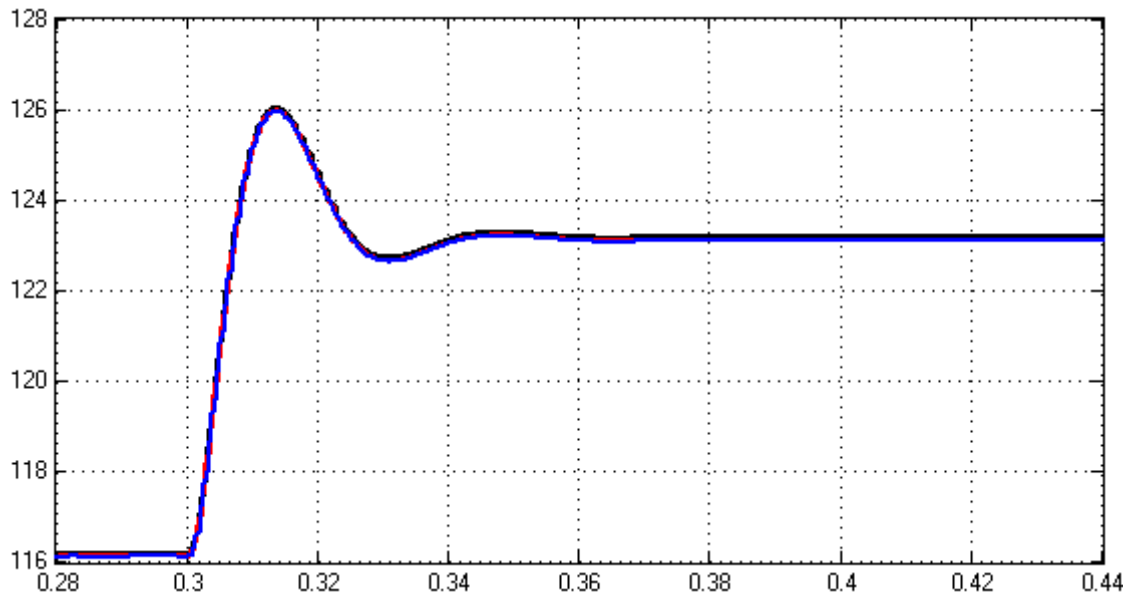


Рисунок П.20. Переходные процессы действующих значений напряжений фаз «А», «В», «С» при обрыве измерительных проводов фаз «В» и «С» регулятора напряжения

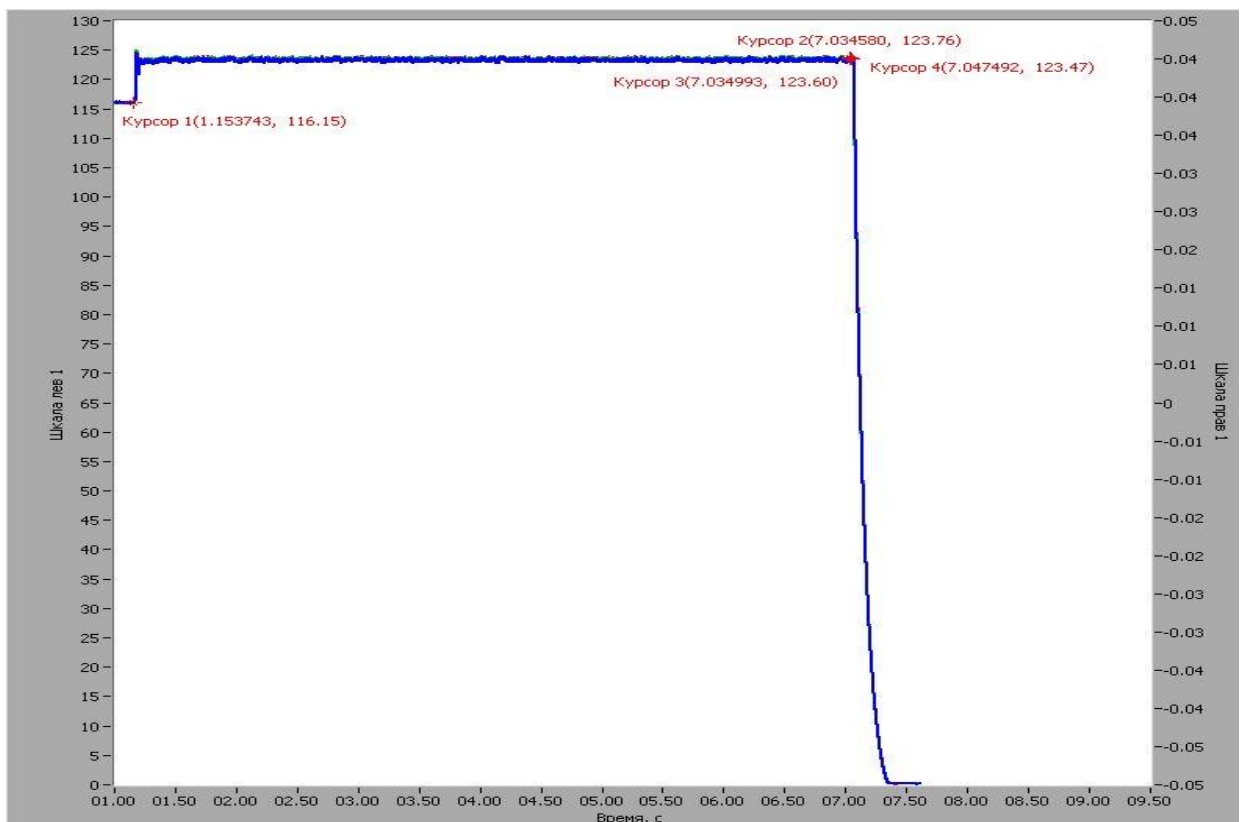


Рисунок П.21. Переходные процессы действующих значений напряжений фаз «А», «В», «С» при обрыве измерительных проводов фаз «В» и «С» регулятора напряжения, полученные в ходе испытаний

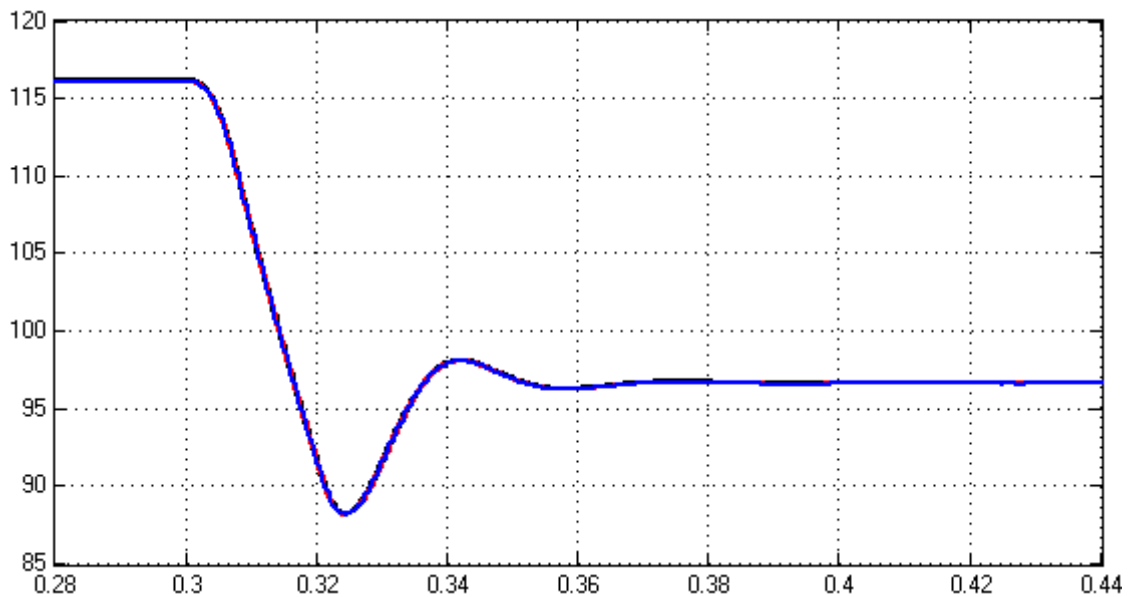


Рисунок П.22. Переходные процессы действующих значений напряжений фаз «А», «В», «С» при обрыве измерительного нулевого провода регулятора напряжения

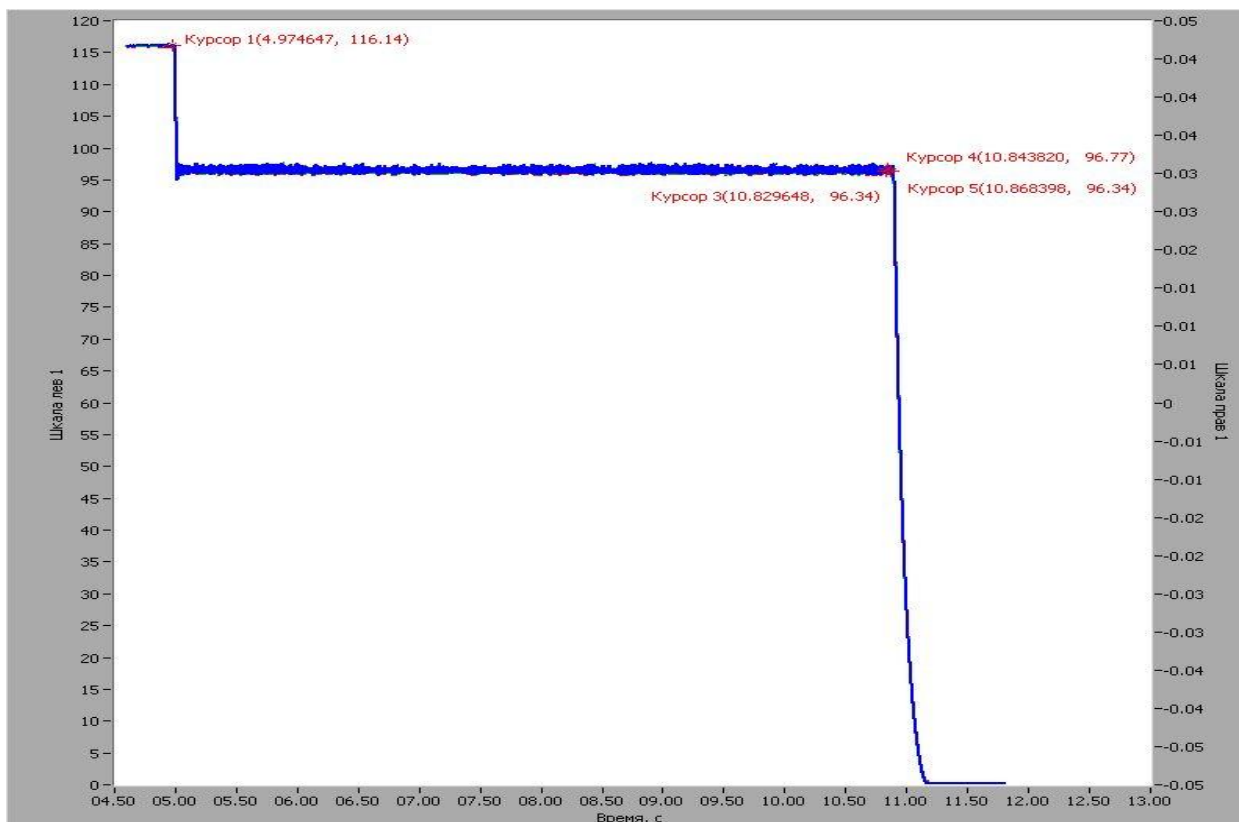


Рисунок П.23. Переходные процессы действующих значений напряжений фаз «А», «В», «С» при обрыве измерительного нулевого провода регулятора напряжения, полученные при ИСПЫТАНИЯХ

В таблицах П.73 и П.74 приведены параметры основного генератора и возбудителя, используемые при разработке имитационных моделей основного генератора и возбудителя.

Таблица П.73. Параметры основного генератора

1.	Номинальная мощность, кВА	30
2.	Номинальное напряжение фазы обмотки статора, В	120
3.	Номинальный ток фазы обмотки статора, А	83,3
4.	Номинальная частота напряжения синхронного генератора, Гц	400
5.	Число фаз обмотки статора	3
6.	Номинальная частота вращения, $\text{об}/\text{мин}$	12000
7.	Число пар полюсов	2
8.	Активное сопротивление фазы обмотки статора, Ом	0,04855
9.	Активное сопротивление обмотки возбуждения, Ом	5,615
10.	Активное сопротивление продольного демпферного контура, Ом	0,23539
11.	Активное сопротивление поперечного демпферного контура, Ом	0,04633
12.	Индуктивность реакции якоря по продольной оси, Гн	0,00109
13.	Индуктивность реакции якоря по поперечной оси, Гн	0,000509
14.	Индуктивность рассеяния фазы обмотки статора, Гн	0,00004386
15.	Индуктивность рассеяния обмотки возбуждения, Гн	0,000102
16.	Индуктивность рассеяния продольного демпферного контура, Гн	0,000114
17.	Индуктивность рассеяния поперечного демпферного контура, Гн	0,00002473

Таблица П.74. Параметры возбудителя

1.	Номинальная мощность, кВА	0,8
2.	Номинальное напряжение фазы обмотки статора, В	31
3.	Номинальный ток фазы обмотки статора, А	8,7
4.	Номинальная частота напряжения синхронного генератора, Гц	1000
5.	Число фаз обмотки статора	3
6.	Номинальная частота вращения, $\text{об}/\text{мин}$	12000
7.	Число пар полюсов	5
8.	Активное сопротивление фазы обмотки статора, Ом	0,35178
9.	Активное сопротивление обмотки возбуждения, Ом	6
10.	Индуктивность реакции якоря по продольной оси, Гн	0,000611
11.	Индуктивность реакции якоря по поперечной оси, Гн	0,00031
12.	Индуктивность рассеяния фазы обмотки статора, Гн	0,00009442
13.	Индуктивность рассеяния обмотки возбуждения, Гн	0,000111