



А. В. Малафеев
Е. А. Панова

РЕЖИМЫ АВАРИЙНОЙ НЕСИММЕТРИИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

А. В. Малафеев, Е. А. Панова

**РЕЖИМЫ АВАРИЙНОЙ НЕСИММЕТРИИ
СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ**

Монография

Москва Вологда
«Инфра-Инженерия»
2022

УДК 621.311
ББК 31.277
М18

Рецензент:

начальник цеха электрических сетей и подстанций
ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат»
кандидат технических наук *Николаев Николай Александрович*

Малафеев, А. В.

М18 Режимы аварийной несимметрии систем электроснабжения : монография / А. В. Малафеев, Е. А. Панова. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2022. – 148 с. : ил., табл.
ISBN 978-5-9729-1055-7

Рассмотрены основные результаты исследований в области расчета и анализа несимметричных режимов систем электроснабжения на уровне напряжения 110 кВ и выше, вызванных короткими замыканиями, обрывами проводов воздушных линий и ошиновки. Осуществлена адаптация математических моделей основных электроприемников промышленного предприятия в условиях металлургического производства – нерегулируемых асинхронных и синхронных двигателей, электропривода постоянного тока, регулируемого электропривода переменного тока на основе непосредственных и двухзвенных преобразователей частоты, а также дуговых сталеплавильных печей – к условиям несимметричных аварийных режимов. Разработан алгоритм расчета сверхпереходных параметров сложносимметричных аварийных режимов, неполнофазных режимов и режимов несимметричных коротких замыканий, предназначенный для проверки по чувствительности устройств релейной защиты.

Для специалистов в области электроснабжения. Может быть полезно студентам направления 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника».

УДК 621.311
ББК 31.277

ISBN 978-5-9729-1055-7

© Малафеев А. В., Панова Е. А., 2022

© Издательство «Инфра-Инженерия», 2022

© Оформление. Издательство «Инфра-Инженерия», 2022

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1. СОСТОЯНИЕ ДЕЛ В ОБЛАСТИ РАСЧЕТА НЕСИММЕТРИЧНЫХ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ	7
1.1. Обзор публикаций, посвященных моделированию несимметричных режимов работы электрических сетей и их потребителей	7
1.2. Характеристика программных комплексов расчета аварийных несимметричных режимов	13
2. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ В РАСЧЕТЕ НЕСИММЕТРИЧНОГО РЕЖИМА	23
2.1. Схемы замещения элементов промышленных электрических сетей	23
2.2. Математическое моделирование электроприемников промышленного предприятия в условиях аварийной несимметрии	28
2.2.1. Нерегулируемый электропривод переменного тока	28
2.2.2. Электропривод постоянного тока	32
2.2.3. Электропривод на базе непосредственного преобразователя частоты	35
2.2.4. Электропривод на базе двухзвенного преобразователя частоты	39
2.2.5. Дуговые сталеплавильные печи	44
3. АЛГОРИТМ РАСЧЕТА СВЕРХПЕРЕХОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМОВ АВАРИЙНОЙ НЕСИММЕТРИИ	46
3.1. Общая характеристика задачи	46
3.2. Расчет установившегося режима	47
3.3. Расчет неполнофазного режима	50
3.4. Режим несимметричного короткого замыкания	59
3.5. Сложнонесимметричные режимы	62
4. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ НАГРУЗКИ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ В УСЛОВИЯХ НЕСИММЕТРИИ ПИТАЮЩЕГО НАПРЯЖЕНИЯ	68
5. РАСЧЕТ И АНАЛИЗ РЕЖИМОВ АВАРИЙНОЙ НЕСИММЕТРИИ В УСЛОВИЯХ ПРОМЫШЛЕННОГО ЭНЕРГООУЗЛА	78
5.1. Характеристика объекта исследования	78
5.2. Описание пользовательского интерфейса разработанного программного продукта	81

5.3. Оценка загрузки электрооборудования в неполнофазных режимах	84
5.4. Анализ уровней токов короткого замыкания в сети 35-220 кВ	97
5.4.1. Существующая конфигурация и режим заземления нейтралей в сети 110 кВ ЭУ	98
5.4.2. Существующая конфигурация схемы, полное разземление нейтралей сети 110 кВ ЭУ	99
5.4.3. Существующая конфигурация схемы, полное заземление нейтралей сети 110 кВ ЭУ	100
5.4.4. Кольцевая схема, существующий режим заземления нейтралей в сети 110 кВ ЭУ	100
5.4.5. Кольцевая схема, полное разземление нейтралей сети 110 кВ ЭУ	101
5.4.6. Кольцевая схема, полное заземление нейтралей сети 110 кВ ЭУ	102
5.5. Расчет токов аварийных сложносимметричных режимов сетей 110-220 кВ	112
5.6. Оценка уровней остаточных напряжений в различных режимах аварийной несимметрии	112
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	140
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	141