

А. И. Агафонов, Т. Ю. Бростилова, Н. Б. Джазовский

# СОВРЕМЕННАЯ РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

*Учебное пособие*

*3-е издание, переработанное и дополненное*

Москва Вологда  
«Инфра-Инженерия»  
2025

# СОДЕРЖАНИЕ

|                   |   |
|-------------------|---|
| ПРЕДИСЛОВИЕ ..... | 3 |
|-------------------|---|

|                |   |
|----------------|---|
| ВВЕДЕНИЕ ..... | 4 |
|----------------|---|

## 1. ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ О РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЕ И АВТОМАТИКЕ

|                                                    |   |
|----------------------------------------------------|---|
| 1.1. НАЗНАЧЕНИЕ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ ..... | 5 |
|----------------------------------------------------|---|

|                                                                                    |   |
|------------------------------------------------------------------------------------|---|
| 1.2. ВИДЫ ПОВРЕЖДЕНИЙ В ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ<br>И ОСНОВНЫЕ ПРИЧИНЫ ИХ ПОЯВЛЕНИЯ ..... | 7 |
|------------------------------------------------------------------------------------|---|

|                                                                                                                                  |   |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
| 1.3. КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВЛИЯНИЯ КОРОТКИХ<br>ЗАМЫКАНИЙ НА РАБОТУ ГЕНЕРАТОРОВ, ТРАНСФОРМАТОРОВ<br>И ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ ..... | 8 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|

|                                                    |    |
|----------------------------------------------------|----|
| 1.4. НЕНОРМАЛЬНЫЕ РЕЖИМЫ В ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ ..... | 11 |
|----------------------------------------------------|----|

|                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.5. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ<br>К РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЕ И АВТОМАТИКЕ ..... | 13 |
|---------------------------------------------------------------------------------|----|

|                                       |    |
|---------------------------------------|----|
| <i>Вопросы для самопроверки</i> ..... | 16 |
|---------------------------------------|----|

## 2. ЭЛЕМЕНТНАЯ БАЗА СОВРЕМЕННОЙ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ

|                                           |    |
|-------------------------------------------|----|
| 2.1. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ВЫПОЛНЕНИЯ РЕЛЕ ..... | 17 |
|-------------------------------------------|----|

|                                     |    |
|-------------------------------------|----|
| 2.2. ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ РЕЛЕ ..... | 18 |
|-------------------------------------|----|

|                                                     |    |
|-----------------------------------------------------|----|
| 2.3. СОВРЕМЕННЫЕ МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ УСТРОЙСТВА ..... | 23 |
|-----------------------------------------------------|----|

|                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.4. ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ<br>ЗАЩИТ И АВТОМАТИКИ ..... | 47 |
|-----------------------------------------------------------------------------|----|

|                                       |    |
|---------------------------------------|----|
| <i>Вопросы для самоконтроля</i> ..... | 63 |
|---------------------------------------|----|

## 3. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ЗАЩИТНЫХ УСТРОЙСТВ

|                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.1. ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ЗАЩИТНЫХ УСТРОЙСТВ<br>И ИХ СОСТАВНЫЕ ЧАСТИ ..... | 64 |
|------------------------------------------------------------------------------|----|

|                                               |    |
|-----------------------------------------------|----|
| 3.2. ПРИНЦИПЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ СЕЛЕКТИВНОСТИ ..... | 65 |
|-----------------------------------------------|----|

|                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------|----|
| 3.3. ТОКОВЫЕ ЗАЩИТЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ<br>ПАРАМЕТРОВ ТОКОВЫХ ЗАЩИТ ..... | 66 |
|---------------------------------------------------------------------|----|

|                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------|----|
| 3.4. СХЕМЫ СОЕДИНЕНИЯ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА<br>И РЕЛЕ ТОКА ..... | 67 |
|-----------------------------------------------------------------|----|

|                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.5. СПОСОБЫ ВКЛЮЧЕНИЯ РЕЛЕ И ВОЗДЕЙСТВИЯ ЗАЩИТЫ<br>НА ВЫКЛЮЧАТЕЛЬ НАГРУЗКИ ..... | 73 |
| Вопросы для самопроверки.....                                                     | 76 |

## **4. ИСТОЧНИКИ ОПЕРАТИВНОГО ТОКА**

|                                                                                                         |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.1. НАЗНАЧЕНИЕ И ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ .....                                                                | 77 |
| 4.2. ХАРАКТЕРИСТИКА И СХЕМЫ ПИТАНИЯ ОПЕРАТИВНЫХ<br>ЦЕПЕЙ ИСТОЧНИКОВ ПОСТОЯННОГО ОПЕРАТИВНОГО ТОКА ..... | 78 |
| 4.3. ВИДЫ И ПАРАМЕТРЫ ИСТОЧНИКОВ ПЕРЕМЕННОГО<br>ОПЕРАТИВНОГО ТОКА .....                                 | 81 |
| 4.4. ПИТАНИЕ ЦЕПЕЙ УПРАВЛЕНИЯ ВЫКЛЮЧАТЕЛЯМИ.....                                                        | 82 |
| Вопросы для самопроверки.....                                                                           | 90 |

## **5. МАКСИМАЛЬНАЯ ТОКОВАЯ ЗАЩИТА**

|                                                                                                  |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 5.1. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ТОКОВЫХ ЗАЩИТ .....                                                        | 91  |
| 5.2. МАКСИМАЛЬНАЯ ТОКОВАЯ ЗАЩИТА ЛЭП .....                                                       | 93  |
| 5.3. СХЕМЫ МАКСИМАЛЬНОЙ ТОКОВОЙ ЗАЩИТЫ НА<br>ПОСТОЯННОМ ОПЕРАТИВНОМ ТОКЕ .....                   | 95  |
| 5.4. ВЫБОР ТОКА СРАБАТЫВАНИЯ ЗАЩИТ .....                                                         | 100 |
| 5.5. ВЫБОР СТУПЕНИ И ВРЕМЕНИ ДЕЙСТВИЯ ЗАЩИТЫ ВЫДЕРЖКИ... ..                                      | 105 |
| 5.6. МАКСИМАЛЬНАЯ ТОКОВАЯ ЗАЩИТА С ПУСКОМ<br>(БЛОКИРОВКОЙ) ОТ РЕЛЕ МИНИМАЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ ..... | 108 |
| 5.7. МАКСИМАЛЬНЫЕ ТОКОВЫЕ ЗАЩИТЫ НА ПЕРЕМЕННОМ ТОКЕ....                                          | 112 |
| 5.8. МАКСИМАЛЬНЫЕ ТОКОВЫЕ ЗАЩИТЫ С РЕЛЕ ПРЯМОГО<br>ДЕЙСТВИЯ .....                                | 133 |
| 5.9. ОБЩАЯ ОЦЕНКА И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ<br>МАКСИМАЛЬНОЙ ТОКОВОЙ ЗАЩИТЫ.....                       | 134 |
| Вопросы для самопроверки.....                                                                    | 134 |

## **6. ТОКОВЫЕ ОТСЕЧКИ**

|                                                           |     |
|-----------------------------------------------------------|-----|
| 6.1. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ОТСЕЧЕК .....                       | 135 |
| 6.2. ОСНОВНЫЕ СХЕМЫ ОТСЕЧЕК.....                          | 136 |
| 6.3. ПАРАМЕТРЫ ТОКОВЫХ ОТСЕЧЕК МГНОВЕННОГО ДЕЙСТВИЯ ..... | 137 |
| 6.4. НЕСЕЛЕКТИВНЫЕ ОТСЕЧКИ И ОБЛАСТИ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ .....  | 140 |

|                                                             |     |
|-------------------------------------------------------------|-----|
| 6.5. ТОКОВЫЕ ОТСЕЧКИ НА ЛИНИЯХ С ДВУСТОРОННИМ ПИТАНИЕМ..... | 141 |
| 6.6. ТОКОВЫЕ ОТСЕЧКИ С ВЫДЕРЖКОЙ ВРЕМЕНИ.....               | 143 |
| Вопросы для самопроверки .....                              | 145 |

## **7. МАКСИМАЛЬНАЯ ТОКОВАЯ НАПРАВЛЕННАЯ ЗАЩИТА**

|                                                                                       |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 7.1. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ И ПАРАМЕТРЫ ЗАЩИТЫ.....                                         | 146 |
| 7.2. ТРЕБОВАНИЯ К ОРГАНАМ НАПРАВЛЕНИЯ МОЩНОСТИ, ИХ УСТРОЙСТВО И СХЕМЫ ВКЛЮЧЕНИЯ ..... | 151 |
| 7.3. СХЕМЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ОРГАНОВ НАПРАВЛЕНИЯ МОЩНОСТИ И ИХ РАЗНОВИДНОСТИ .....           | 163 |
| 7.4. ОЦЕНКА И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ТОКОВЫХ НАПРАВЛЕННЫХ ЗАЩИТ .....                     | 166 |
| Вопросы для самопроверки .....                                                        | 167 |

## **8. ПРОДОЛЬНЫЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ ЗАЩИТЫ**

|                                                               |     |
|---------------------------------------------------------------|-----|
| 8.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ .....                                     | 168 |
| 8.2. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ПРОДОЛЬНЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ЗАЩИТ ..... | 169 |
| 8.3. ОЦЕНКА ПРОДОЛЬНОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ .....          | 174 |
| Вопросы для самопроверки .....                                | 175 |

## **9. ПОПЕРЕЧНЫЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ ЗАЩИТЫ**

|                                                                                                            |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 9.1. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ И ВИДЫ ПОПЕРЕЧНЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ЗАЩИТ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ.....                     | 176 |
| 9.2. ТОКОВАЯ ПОПЕРЕЧНАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ЗАЩИТА.....                                                       | 177 |
| 9.3. НАПРАВЛЕННАЯ ПОПЕРЕЧНАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ЗАЩИТА .....                                                 | 182 |
| 9.4. ВЫБОР УСТАВОК НАПРАВЛЕННОЙ ПОПЕРЕЧНОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ, ВКЛЮЧЕННОЙ НА ФАЗНЫЕ ТОКИ..            | 191 |
| 9.5. ВЫБОР УСТАВОК ПОПЕРЕЧНОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ТОКОВОЙ НАПРАВЛЕННОЙ ЗАЩИТЫ НУЛЕВОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ..... | 196 |
| 9.6. ОЦЕНКА НАПРАВЛЕННЫХ ПОПЕРЕЧНЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ЗАЩИТ .....                                           | 196 |
| Вопросы для самопроверки .....                                                                             | 197 |

## **10. ДИСТАНЦИОННАЯ ЗАЩИТА**

|                                                                                                         |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 10.1. НАЗНАЧЕНИЕ И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ<br>ДИСТАНЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ .....                                       | 198 |
| 10.2. ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЫДЕРЖКИ ВРЕМЕНИ<br>ДИСТАНЦИОННЫХ ЗАЩИТ .....                                      | 201 |
| 10.3. ПРИНЦИПЫ ВЫПОЛНЕНИЯ СЕЛЕКТИВНОЙ ЗАЩИТЫ СЕТИ<br>С ПОМОЩЬЮ СТУПЕНЧАТОЙ ДИСТАНЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ.....    | 201 |
| 10.4. СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ДИСТАНЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ<br>СО СТУПЕНЧАТОЙ ХАРАКТЕРИСТИКОЙ .....                    | 203 |
| 10.5. СХЕМЫ ВКЛЮЧЕНИЯ ДИСТАНЦИОННЫХ И ПУСКОВЫХ<br>ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ОРГАНОВ НА НАПРЯЖЕНИЕ И ТОК СЕТИ.....   | 207 |
| 10.6. ХАРАКТЕРИСТИКИ СРАБАТЫВАНИЯ РЕЛЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ<br>И ИХ ИЗОБРАЖЕНИЕ НА КОМПЛЕКСНОЙ ПЛОСКОСТИ ..... | 215 |
| 10.7. ОЦЕНКА ДИСТАНЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ .....                                                                 | 221 |
| Вопросы для самопроверки.....                                                                           | 222 |

## **11. АВТОМАТИКА ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

|                                                                           |     |
|---------------------------------------------------------------------------|-----|
| 11.1. АВТОМАТИЧЕСКОЕ ПОВТОРНОЕ ВКЛЮЧЕНИЕ .....                            | 223 |
| 11.2. АВТОМАТИЧЕСКОЕ ВКЛЮЧЕНИЕ РЕЗЕРВНОГО ПИТАНИЯ<br>И ОБОРУДОВАНИЯ ..... | 233 |
| 11.3. АВТОМАТИЧЕСКАЯ ЧАСТОТНАЯ РАЗГРУЗКА .....                            | 238 |
| Вопросы для самопроверки.....                                             | 248 |

## **12. МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ ИНТЕГРИРОВАННАЯ РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА БАЗОВЫХ УСТАНОВОК ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

|                                                                                                              |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 12.1. ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ<br>ИНТЕГРИРОВАННОЙ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ .....         | 250 |
| 12.2. МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ ИНТЕГРИРОВАННАЯ РЕЛЕЙНАЯ<br>ЗАЩИТА ГЕНЕРАТОРОВ И БЛОКА ГЕНЕРАТОР-ТРАНСФОРМАТОР ..... | 251 |
| 12.3. ИНТЕГРИРОВАННАЯ РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И<br>ПРОТИВОАВАРИЙНАЯ АВТОМАТИКА ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ ....            | 256 |
| 12.4. ОСОБЕННОСТИ ЗАЩИТЫ ТРАНСФОРМАТОРОВ,<br>ВКЛЮЧАЯ МИКРОПРОЦЕССОРНУЮ ЗАЩИТУ .....                          | 261 |
| Вопросы для самопроверки.....                                                                                | 288 |
| БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....                                                                               | 290 |