

И. В. Новаш  
Ф. А. Романюк  
В. Ю. Румянцев  
Ю. В. Румянцев

**ИСПЫТАНИЯ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ  
ТОКОВЫХ ЗАЩИТ:  
ТЕОРИЯ, МОДЕЛИРОВАНИЕ, ПРАКТИКА**

Минск  
БНТУ  
2021

## ОГЛАВЛЕНИЕ

### ОГЛАВЛЕНИЕ

ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ.....	3
ПРЕДИСЛОВИЕ.....	4
ВВЕДЕНИЕ.....	6
<b>1. ИСПЫТАТЕЛЬНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ДЛЯ ПРОВЕРКИ УСТРОЙСТВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ.....</b>	<b>10</b>
1.1. Испытательные программно-аппаратные комплексы.....	13
1.1.1. Моделирование энергосистемы и испытание устройств релейной защиты в режиме реального времени.....	16
1.1.2. Моделирование энергосистемы и испытание устройств релейной защиты в автономном режиме модельного времени.....	18
1.2. Испытательные программные комплексы релейных защит.....	20
1.2.1. Математическое моделирование – основа вычислительного эксперимента.....	20
1.2.2. Математические модели с жесткой структурой.....	22
1.2.3. Математические модели с гибкой структурой.....	24
1.2.4. Компьютерные программные комплексы с жесткой структурой модели обобщенного электроэнергетического объекта.....	25
1.2.5. Компьютерные программные комплексы с гибкой структурой модели обобщенного электроэнергетического объекта.....	28
<b>2. КОМПЬЮТЕРНЫЕ ПРОГРАММНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ВЫРАБОТКИ ТЕСТОВЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ РЕЛЕЙНЫХ ЗАЩИТ.....</b>	<b>29</b>
2.1. Компьютерный программный комплекс UKZLINE.....	30
2.1.1. Назначение и состав комплекса.....	30
2.1.2. Исходные данные к расчетам.....	33
2.1.3. Параметры вычислительного процесса.....	35
2.1.4. Параметры исходного режима.....	40
2.1.5. Параметры системы на стороне ВН.....	41
2.1.6. Параметры трансформаторов тока.....	42
2.1.7. Параметры силового трансформатора.....	43
2.1.8. Параметры эквивалентного электродвигателя.....	44
2.1.9. Расчет входных сигналов защиты от замыканий на землю.....	44

## ОГЛАВЛЕНИЕ

---

2.1.10. Расчет входных сигналов защиты от междуфазных замыканий .....	47
2.2. Компьютерный программный комплекс KZTRANS2 .....	51
2.3. Компьютерный программный комплекс KZTRANS3 .....	54
2.4. Компьютерный программный комплекс РежимыАД .....	56
2.5. Компьютерные программные комплексы для расчета режимов комплектной трансформаторной подстанции .....	61
2.5.1. КПК РежимыКТП для расчета аварийных режимов комплектной трансформаторной подстанции .....	61
2.5.2 КПК ВключениеКТП .....	63
2.6. Проведение испытаний с помощью ИПАК .....	66
2.6.1. Преобразование результатов расчета КПК в формат COMTRADE .....	66
2.6.2. Функциональные испытания токовой защиты в составе микропроцессорной защиты МР801 .....	71
3. ИСПЫТАТЕЛЬНЫЕ ПРОГРАММНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МОДЕЛЕЙ РЕЛЕЙНЫХ ЗАЩИТ .....	74
3.1. Испытательный программный комплекс TransformerDIFF .....	75
3.1.1. Моделирование микропроцессорной токовой дифференциальной защиты силового трансформатора .....	76
3.1.2. Исследование работы микропроцессорной токовой дифференциальной защиты трансформатора .....	81
3.2. Испытательный программный комплекс для исследования цифровых фильтров .....	91
3.3. Испытательный программный комплекс для исследования токовых защит асинхронного двигателя .....	93
4. РАЗРАБОТКА И РЕАЛИЗАЦИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ С ГИБКОЙ СТРУКТУРОЙ .....	99
4.1. Расчет параметров библиотечных блоков моделей пакета SimPowerSystems .....	99
4.1.1. Методика расчета параметров блока модели трехфазного силового трансформатора .....	100
4.1.2. Методика расчета параметров, описывающих нелинейные свойства магнитопровода .....	106
4.1.3. Окно задания значений параметров модели трехфазного двухобмоточного трансформатора .....	109

## ОГЛАВЛЕНИЕ

---

4.1.4. Сравнение результатов моделирования режимов трехфазного трансформатора с помощью модели библиотеки <i>SimPowerSystems</i> и КПК <i>KZTRANS2</i> .....	112
4.2. Разработка и реализация в <i>Simulink</i> блоков модели трехфазной группы трансформаторов тока .....	114
4.2.1. Блок модели трехфазной группы трансформаторов тока на основе геометрических параметров магнитной системы <i>ТТ</i> .....	115
4.2.2. Блок модели трехфазной группы трансформаторов тока на основе каталожных данных <i>ТТ</i> .....	117
4.2.3. Сравнение результатов моделирования трехфазной группы трансформаторов тока с помощью модели библиотеки <i>SimPowerSystems</i> и КПК <i>UKZLINE</i> .....	126
4.3. Разработка и реализация в <i>Simulink</i> блоков моделей цифровых фильтров в составе измерительных органов тока .....	128
4.3.1. Математические модели цифровых фильтров .....	128
4.3.2. Реализация моделей измерительных органов тока в <i>Simulink</i> .....	137
4.3.3. Блок модели измерительного органа тока для функционирования в условиях глубокого насыщения магнитопровода трансформаторов тока .....	141
4.4. Функциональные испытания моделей измерительных органов тока .....	146
4.4.1. Испытания блоков моделей цифровых фильтров в составе типового измерительного органа тока, разработанных в <i>Simulink</i> .....	146
4.4.2. Испытания блока модели измерительного органа тока для функционирования в условиях глубокого насыщения трансформаторов тока .....	150
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	154
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....	156
ОГЛАВЛЕНИЕ .....	166