

устойчивый спрос и находят применение как для уличного, так и для интерьерного освещения. Привлекательным интерес направлением является формирование крупномасштабных источников излучения, равномерно распределяющих свет по всему объему пространства, исключая зоны с избытком или недостатком освещения. Данная технология изготовления композита позволит расширить температурный интервал работы светодиода, повысить индекс светопередачи и в целом увеличить мощность испускаемого излучения. Кроме того, облегчается регулирование мощности и цветового рассеяния таких светодиодов [3].

Список использованных источников

1. Полищук А. Г., Туркин А. Н. Светодиодные светильники – эффективный метод решения проблемы энергосбережения // Энергосбережение. 2008. № 3. [Электронный ресурс] URL: http://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=3968 (дата обращения: 12.11.2015).
2. Шуберт Ф. Е. Светодиоды. М. : ФИЗМАТЛИТ, 2008. 497 с.
3. Асеев В. А., Тузова Ю. В., Бибик А. Ю. [и др.]. Неорганический композит «стеклолюминофор» на основе свинцово-силикатной матрицы для белых светодиодов. Научно-технический вестник. СПб. : Университет ИТМО, 2014. № 5. С. 242-247.

УДК 621.316

Сандаков Я. В., Котов О. М.
Уральский федеральный университет
yan.sandakov@yandex.ru

ОЦЕНКА МОДЕЛЕЙ ТРЕХОБМОТОЧНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ В ЗАДАЧЕ АНАЛИЗА СТРУКТУРНОЙ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Аннотация. В докладе рассмотрена специфика моделирования трехобмоточных трансформаторов в расчетах показателей структурной надежности электрической сети. Показана причина появления погрешности и предложены модели, повышающие точность и объективность результатов. Сформулированы рекомендации по использованию моделей в практических расчетах.

1. Постановка задачи. Расчеты структурной надежности электрических сетей являются одной из подзадач комплексной оценки надежности энергообеспечения потребителей [1]. Достаточно эффективным инструментом для подобных расчетов является программа «Струна». Опыт её практического применения позволил сделать вывод о завышенной в ряде случаев оценке структурной надежности отдельных узлов и фрагментов. Как выяснилось, связано это с моделированием силовых трехобмоточных трансформаторов узлом расчетной схемы. Причиной погрешности является избыточный учёт реально не существующих путей электроснабжения, проходящих через эти узлы. Подобного не происходит, если исследуемая схема содержит двухобмоточные трансформаторы, которые

моделируются ветвью, позволяющей учесть передачу электроэнергии только в одном направлении.

Погрешность в оценке показателей надежности, обусловленная присутствием в расчётной схеме узлов – трансформаторов, различна для секций низшего напряжения рассматриваемой подстанции и смежных районов. Ранее были предложены модели трёхобмоточных трансформаторов, позволяющие учесть направленность передачи электроэнергии, а также выполнена оценка эффективности их использования для повышения точности оценки надежности смежных районов [2].

Настоящая работа продолжает исследование моделей трёхобмоточных трансформаторов с целью оценки эффективности их использования для оценки надежности секций низшего напряжения рассматриваемой подстанции.

Расчетные модели. Фрагмент электрической сети (рисунок, а) представляет собой двухтрансформаторную транзитную понизительную подстанцию 110/10 кВ на линии с двухсторонним питанием. В рассматриваемом эксплуатационном режиме линия секционируется выключателем 102-2. Секции 10 кВ, в свою очередь, секционируются выключателями с автоматикой ввода резерва (АВР). При этом нормально отключенный выключатель с АВР в расчетной схеме представлен включенным выключателем с вероятностью отказа, увеличенной на вероятность несрабатывания автоматики ввода резерва.

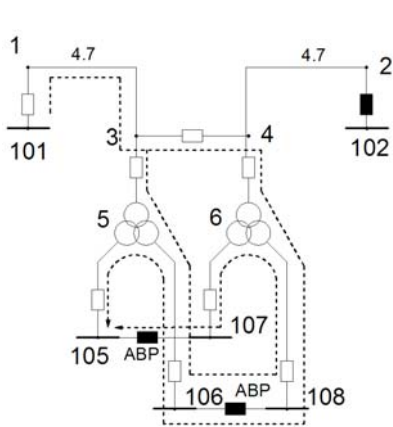
Модель № 1 (рисунок, а), в которой трехобмоточные трансформаторы подстанции моделируются узлами 5 и 6, - по сути вариант, рекомендованный инструкцией пользователя «Струны». Пунктирными линиями на рисунке показаны избыточные пути электроснабжения, учет которых и вносит погрешность в показатели надежности узла 105.

Модель № 2 (рисунок, б) основана на включении в расчётную схему ветви - трансформатора. Данное решение исключает погрешность в расчетах для смежного района [2], но ничего не меняет для узлов рассматриваемой подстанции (пунктирные линии на рисунке, б).

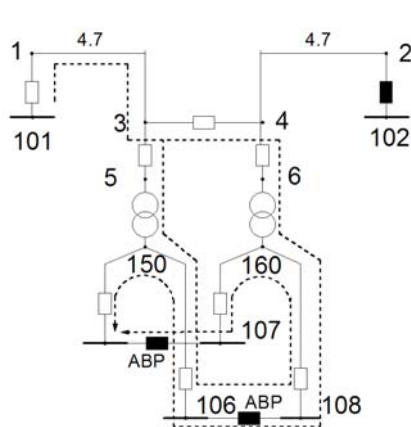
Модель № 3 оставляет в расчётной схеме узлы – трансформаторы и добавляет специальные ветви (рисунок, в). Эти ветви обладают абсолютной надёжностью, но исключают транзит мощности в направлении от конца ветви в начало (показаны на рисунке перечеркнутыми стрелками). Вследствие этого избыточные пути электроснабжения в данном случае отсутствуют.

Расчеты показателей надежности. Для каждой из моделей с помощью «Струны» были выполнены расчеты вероятностей и интенсивностей отказов типа «обрыв» секций шин рассматриваемой подстанции [3]. Результаты программных расчетов были сопоставлены с ручной оценкой, произведенной для узла 105.

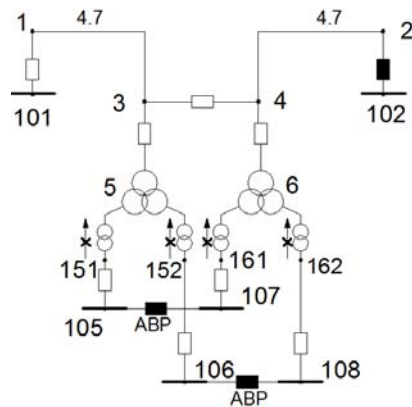
На первом этапе ручной оценки выполнялось упрощение расчетных схем с помощью последовательно-параллельных преобразований. Для модели № 3 этого достаточно для получения искомого результата. Для моделей № 1 и № 2 необходим дополнительный этап расчета с применением декомпозиции [3].



а) Модель № 1:
узел – трансформатор



б) Модель № 2:
ветвь – трансформатор
Расчетная схема фрагмента сети



в) Модель № 3:
идеальный трансформатор

Собственная аварийность узлов 5 и 6 определяет необходимость декомпозиции структуры типа «мостик» в три этапа (табл. 1).

Таблица 1

Этапы ручного расчета для модели № 1

Шаг расчёта	Декомпозируемый элемент (ДЭ)	Состояние ДЭ: 1 - абсолютно надежен, 0 - абсолютно ненадёжен	Вероятность отказа, Q, о.е.	Интенсивность отказа, L, год ⁻¹	Фрагмент расчетной схемы	Следующий шаг расчета
1	Последовательно-параллельные преобразования расчетной схемы. Увеличенной толщиной выделены эквивалентные ветви					2
2	6	1	-	-		3
		0	$6,47 \cdot 10^{-4}$	$3,00 \cdot 10^{-2}$		-
3	5	1	-	-		4
		0	$1,20093 \cdot 10^{-1}$	$1,00 \cdot 10^{-1}$		-
4	5-6	1	$2,64234 \cdot 10^{-6}$	$1,20302 \cdot 10^{-3}$		-
		0	$5,64432 \cdot 10^{-6}$	$2,40590 \cdot 10^{-3}$		-
Результат			$7,54002 \cdot 10^{-5}$	$2,62348 \cdot 10^{-3}$	-	-

Проверочные расчеты подтвердили отсутствие погрешности в результирующих показателях надежности, полученных с использованием программы «Струна» и модели № 3 (табл. 2).

Таблица 2

Результаты автоматизированного и ручного расчетов для узла 105

Способ расчёта	Модель №1: Узел - трансформатор		Модель №2: Ветвь – трансформатор		Модель №3: Идеальный трансформатор	
	Q, о.е.	L, год ⁻¹	Q, о.е.	L, год ⁻¹	Q, о.е.	L, год ⁻¹
«Струна»	$1,513 \cdot 10^{-4}$	$1,534 \cdot 10^{-1}$	$7,894 \cdot 10^{-5}$	$1,520 \cdot 10^{-1}$	$1,539 \cdot 10^{-4}$	$1,545 \cdot 10^{-1}$
Ручной	$1,513 \cdot 10^{-4}$	$1,534 \cdot 10^{-1}$	$8,795 \cdot 10^{-5}$	$1,523 \cdot 10^{-1}$	$1,539 \cdot 10^{-4}$	$1,545 \cdot 10^{-1}$

Выводы. Сопоставление результатов расчетов позволяет рекомендовать для практического использования модель №3, в которой исключены избыточные пути электроснабжения, как для смежных районов, так и для узлов рассматриваемой подстанции.

Список использованных источников

1. Вероятностное эквивалентирование при оценке структурной, режимной и балансовой надежности ЭЭС / И. Л. Кирпикова, О. М. Котов, В. П. Обоскалов // Проблемы развития и функционирования электроэнергетических систем. Екатеринбург : УГТУ. 2000. С. 159-165.

2. Котов О. М., Сандаков Я. В. Моделирование трехобмоточных трансформаторов в расчетах структурной надежности электрических сетей // Эффективное и качественное снабжение и использование электроэнергии : 4-ая науч.-практ. конф. Екатеринбург: Издательство УМЦ УПИ, 2015. С. 59-62.

3. Обоскалов В. П. Структурная надёжность электроэнергетических систем: учеб. пособие. Екатеринбург : УрФУ, 2012. 196 с.

УДК 621.313.333

Сафин Н. Р., Прахт В. А., Дмитриевский В. А.
Уральский федеральный университет
emf2010@mail.ru

МОНИТОРИНГ И ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЛЬТ-АМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИ МЕЖВИТКОВОМ ЗАМЫКАНИИ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы диагностики межвитковых замыканий асинхронных двигателей (АД) с использованием вольт-амперных характеристик. Представлены вольт-амперные характеристики исправного и неисправного электродвигателей. Приведены основные результаты исследований и анализ полученных данных.