

УДК 621.3

## ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЁЖНОСТИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

## RESEARCH OF THE RELIABILITY OF SWITCHGEAR

К.Д. Борщевская, И.С. Малашенко

Научный руководитель – А.Л. Старжинский, к.т.н., доцент  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь  
astarginsky@bntu.by

K. Borshchevskaya, I. Malashenko

Supervisor – A. Starzhinsky, Candidate of Technical Sciences, Docent  
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

**Аннотация:** В системе электроснабжения некоторые элементы могут быть некачественно спроектированы, что негативно скажется на надёжности работы системы. Надёжность распределительных систем является важным показателем при их разработке. При анализе изменения этих показателей можно определить, какие элементы имеют большее влияние на надёжность системы.

**Abstract:** In the power system, some elements may be poorly designed, that will negatively affect the reliability of the system. The reliability of distribution systems is an important factor in their design. In the analysis of changes in these factors, you can determine which elements have a greater impact on system reliability.

**Ключевые слова:** схема, надёжность, электроустановки, распределительное устройство.

**Keywords:** network, reliability, electrical installations, switchgear.

### Введение

Система электроснабжения представляет собой совокупность электроустановок, которые служат для производства, передачи и распределения электроэнергии. К ним могут относиться: генераторы, трансформаторы, реакторы, линии электропередач, средства автоматики и защиты, различные приёмники энергии. Каждое из этих устройств должно отвечать установленным требованиям и обладать надёжностью.

Для обеспечения надёжного электроснабжения необходима бесперебойная работа всех элементов электроустановок. Это способствует бесперебойному электроснабжению потребителей электроэнергией требуемого качества и количества. Также не маловажным свойством надёжности является способность сохранять ограниченную работоспособность при отказе некоторых элементов системы, вызванным наличием дефектов или повреждений.

Для расчёта исходной схемы будем использовать комплекс Toras.

### Основная часть

В качестве исследуемой схемы распределительного устройства примем ОРУ 220 кВ КЭС 300 МВт. Составим основную и расчётную схемы РУ (рисунок 1). Расчётная схема состоит из узлов и ветвей, где ветвями являются

выключатели, а узлами – другие элементы. Все узлы и ветви нумеруются последовательно, начиная с единицы.

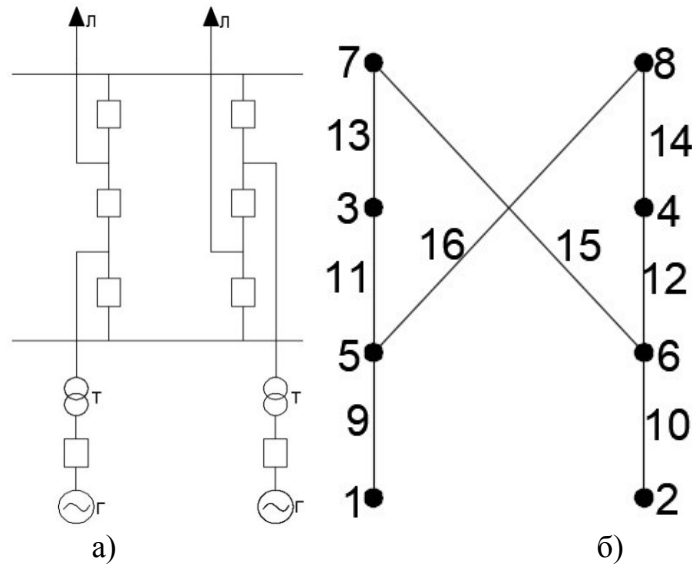


Рисунок 1 – а) основная схема ОРУ, б) расчётная схема (1, 2 – генераторы; 3, 4 – линии; 5, 6 – блочные трансформаторы; 7, 8 – сборные шины 220 кВ)

Составим матрицу связей узлов и ветвей, в которой для каждой ветви в порядке увеличения их номеров записываются номера двух примыкающих к ней узлов (таблица 1).

Таблица 1 – Матрица связей узлов и ветвей

Номер КА	9	10	11	12	13	14	15	16
1-ый узел	1	2	3	4	3	4	6	5
2-ой узел	5	6	5	6	7	8	7	8

Для каждой группы элементов запишем исходные данные для последующего расчёта в комплексе Торас (таблица 2).

Таблица 2 – Показатели надежности оборудования

Элементы схемы	Частота отказа, 1/год	Время п-авар. восст., ч	Частота план-го рем-та, 1/год	Длит. план-го рем-та, ч	Вероятн. отказа при откл. КЗ, о.е.	Вероятн. отказа в сраб- нии РЗ, о.е.
1-2	0,55	91,0	1,0	540,0	-	0,001
3-4	0,0015	8,0	0,5	17,0	-	0,001
5-6	0,02	60,0	0,4	8,5	-	0,001
7-8	0,039	4,0	0,498	9,0	-	0,001
9-10	0,01	10,0	0,2	10,0	0,012	-
11-16	0,01	25,0	0,2	24,0	0,003	-

Расчётные режимы данной схемы описываются характеристиками, представленными в таблице 3.

Таблица 3 – Характеристики расчётных режимов

Номер отключаемого элемента	Длительность режима, ч/год
Г1	7121,75
Г2	540,0
Г1-Г2	540,0
Т5	540,0
Т6	3,4
Т5-Т6	3,4
Г1-Т5	3,4
Г2-Т6	3,4
В9	0,1
В10	0,1
В9-В10	0,1
В11	0,25
В12	0,25
В11-В12	0,25
В9-В11	0,1
В10-В12	0,1

По исходным данным произведём расчёт надёжности схемы по отключаемым элементам (таблица 4) и по количеству отключаемых элементов (таблица 5).

Таблица 4 – Результаты анализа надёжности по отключаемым элементам

Код аварии	Для событий, зависящих от структуры схемы						Суммарная частота, 1/год	Среднее время восст., ч
	На время восст. рем.			На время опер. перекл.				
	Частота, 1/год	Длит., ч	Число к-ций	Частота, 1/год	Длит., ч	Число к-ций		
Г1	0,447	91	1	0,0244	43,3	18	0,48	87,02
Г1-Л3-Л4	0,0341	91	2	0,00186	43,33	4	0,0372	85,56
Г1-Г2-Л3-Л4	0,893E-3	90,89	14	0,674E-4	4,16	26	0,975E-3	83,53
Г1-Л4	0,164E-4	87,65	5	0,711E-5	6,44	8	0,771E-4	19,2
Г2	0,447	91	1	0,0244	43,3	18	0,48	87,02
Г2-Л3-Л4	0,0341	91	2	0,00186	43,33	4	0,0372	85,56
Г2-Л3	0,164E-4	87,65	5	0,711E-5	6,44	8	0,771E-4	19,2
Л3	0,00141	8	1	0,285E-4	12,76	7	0,0115	1,01
Г1-Л3	0,616E-6	8	3	0,236E-4	4,09	6	0,00828	0,01
Л3-Л4	0,185E-3	8	2	0,0122	22,28	12	0,0124	22,07
Л4	0,00141	8	1	0,285E-4	12,76	7	0,0115	1,01
Г2-Л4	0,616E-6	8	3	0,236E-4	4,09	6	0,00828	0,01

Таблица 5 – Результаты анализа надежности по количеству отключаемых элементов

Код аварии	Для событий, зависящих от структуры схемы						Суммарная частота, 1/год	Среднее время восст., ч
	На время восст. рем.			На время опер. перекл.				
	Частота, 1/год	Длит., ч	Число к-ций	Частота, 1/год	Длит., ч	Число к-ций		
1Г	0,895	91	2	0,0488	43,3	36	0,96	87,02
1Г 2Л	0,0682	91	4	0,00372	43,33	8	0,0745	85,56
2Г 2Л	0,893E-3	90,89	14	0,647E-4	4,16	26	0,975E-3	83,53
1Г 1Л	0,339E-4	84,76	16	0,614E-4	4,64	28	0,0167	0,19
1Л	0,00281	8	2	0,569E-4	12,76	14	0,023	1,01
2Л	0,185E-3	8	2	0,0122	22,28	12	0,0124	22,07

### Заключение

Как видно из результатов расчёта наиболее уязвимыми по показателям надёжности являются генераторы, так как при их авариях мы получили наибольшее среднее время восстановления и наибольшую частоту отключения, по сравнению с остальными элементами. При отключении разного количества элементов показатели надёжности схемы также изменяются. Так, при отключении одного генератора среднее время восстановления и вероятность данного события наибольшее, что доказывает то, что генератор является наиболее уязвимым элементом системы.

Для улучшения показателей надёжности системы необходимо применять такие мероприятия как улучшение защиты электрооборудования, применение современных методов по контролю изоляции, сокращение времени восстановления электрооборудования после аварий, замена электрооборудования на более надёжное.

### Литература

1. Надёжность и качество электроснабжения предприятий: учебное А 46 пособие / Д. С. Александров, Е. Ф. Щербаков. – Ульяновск: УлГТУ, 2010. – 155 с.
2. Надёжность электроснабжения потребителей агропромышленного комплекса: учеб. пособие / Т. В. Алферова, О. Ю. Пухальская, А. А. Алферов; М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого. – Гомель: ГГТУ им. П. О. Сухого, 2017. – 112 с.