

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Рязанский институт (филиал)
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования
«Московский политехнический университет»

Кафедра «Механико-технологические дисциплины»

Е.И. Лопатин, А.Ю. Мельников

НАДЕЖНОСТЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Методические указания по выполнению практических занятий

**Рязань
2019**

УДК 621.311

ББК 31.28

Н17

Лопатин, Е.И.

Мельников, А.Ю.

Н17 Надежность электроэнергетических систем: Методические указания по выполнению практических занятий. – Рязань: Рязанский институт (филиал) Московского политехнического университета, 2019. – 20 с.

Методические указания предназначены для студентов направления подготовки 13.04.02 – «Электроэнергетика и электротехника» всех форм обучения. Они соответствуют рабочей программе и могут быть использованы для проведения практических занятий по дисциплине «Надежность электроэнергетических систем».

Методические указания содержат индивидуальные задания и методические рекомендации для самостоятельной работы студентов при подготовке к практическим занятиям.

Печатается по решению методического совета Рязанского института (филиала) Московского политехнического университета.

УДК 621.311

ББК 31.28

© Лопатин Е.И., Мельников А.Ю.

© Рязанский институт (филиал)

Московского политехнического

Университета, 2019

Содержание

Введение.....	3
1. Практическое задание №1.....	4
2. Практическое задание №2.....	7
3. Практическое задание №3.....	8
4. Практическое задание №4.....	12
5. Практическое задание №5.....	15
6. Библиографический список.....	20
7. Приложение.....	19

Введение

Электрическое оборудование систем электроснабжения в процессе эксплуатации оказывается под воздействием разнообразных дестабилизирующих факторов: повышенной влажности, агрессивных сред, пыли, неблагоприятных атмосферных явлений, а также механических и электрических нагрузок. При этом изменяются основные свойства материалов электроустановок, что приводит к возникновению коротких замыканий, вызывающих отключение электроустановок или электрических сетей, т.е. к перерывам в подаче электрической энергии.

В системах электроснабжения важнейшими задачами являются обеспечение надежной, безопасной и рациональной эксплуатации электроустановок и содержание их в исправном состоянии.

Низкая надежность электроэнергетических систем наносит народному хозяйству страны экономический и социальный ущерб. Проблема обеспечения надежности комплексная. Ее различные аспекты связаны с выбором показателей надежности и их оценкой и оценкой по результатам экспериментов, с поиском лучших схемных решений.

Научиться пользоваться методами теории надежности, применительно к системам электроснабжения, находить исходные данные для расчета показателей надежности, исходя из типа оборудования, условий его работы и эксплуатации, задача, поставленная перед студентом в курсе «Надежность электроснабжения» как перед будущим специалистом.

Выполнение практических занятий ставит целью закрепление изучаемого теоретического материала по курсу «Надежность электроснабжения», приобретение инженерных навыков расчёта надежности при проектировании электроэнергетических систем и сетей, развитие творческих способностей студента.

Содержание отчета о выполнении практического занятия должно включать: краткие теоретические сведения, постановку задачи, подробные численные расчеты, анализ результатов..

Вариант индивидуального задания задается преподавателем или принимается в соответствии с шифром зачётной книжки студента.

1 Практическое занятие №1

Цель занятия: освоить методику расчета показателей надежности невосстанавливаемых нерезервированных систем.

Задача. Расчет показателей надежности невосстанавливаемых нерезервированных систем.

Условие задачи и исходные данные.

Система состоит из n устройств. Вероятности безотказной работы каждого из них в течение времени t часов равны $p(t)$. Для системы справедлив экспоненциальный закон распределения надежности. Необходимо найти среднюю наработку до первого отказа системы. Исходные данные приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Исходные данные

Последняя цифра шифра										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
n	5	10	3	6	9	8	4	7	11	2
t , час.	100	150	80	120	140	220	280	90	200	300
$p(t)$	0,95	0,90	0,98	0,94	0,87	0,95	0,81	0,99	0,87	0,83

Методические указания к выполнению задачи

1 Краткие теоретические сведения

В зависимости от полноты учета факторов, влияющих на работу изделия, различают ориентировочный и полный расчет показателей надежности.

При ориентировочном расчете показателей надежности необходимо знать структуру системы, номенклатуру применяемых элементов и их количество. Ориентировочный расчет учитывает влияние на надежность только количества и типов, входящих в систему элементов, и основывается на следующих допущениях:

- все элементы данного типа равнонадежны, т.е. величины интенсивности отказов λ_i для этих элементов одинаковы;
- все элементы работают в номинальном (нормальном) режиме, предусмотренном техническими условиями;
- интенсивности отказов всех элементов не зависят от времени, т.е. в течение срока службы у элементов, входящих в изделие, отсутствует старение и износ, следовательно $\lambda_i(t) = \text{const}$;
- отказы элементов изделия являются событиями случайными и независимыми;
- все элементы изделия работают одновременно.

Ориентировочный метод расчета используется на этапе эскизного проектирования после разработки принципиальных электрических схем изделий и позволяет наметить пути повышения надежности изделия.

Отказы элементов есть независимые друг от друга события. Система работоспособна, если работоспособны все ее элементы, то согласно теореме об умножении вероятностей вероятность безотказной работы системы $P_c(t)$ равна произведению вероятностей безотказной работы ее элементов:

$$P_c(t) = p_1(t)p_2(t)\dots p_n(t) = \prod_{i=1}^n p_i(t), \quad (1.1)$$

где p_i - вероятность безотказной работы i -го элемента.

Пусть для элементов справедлив экспоненциальный закон распределения надежности и известны их интенсивности отказов. Тогда и для системы справедлив экспоненциальный закон распределения надежности:

$$P_c(t) = \prod_{i=1}^n e^{-\lambda_i t} = e^{-t \sum_{i=1}^n \lambda_i} = e^{-\lambda_c t}, \quad (1.2)$$

где λ_c - интенсивность отказов системы.

Интенсивность отказов нерезервированной системы равна сумме интенсивностей отказов ее элементов:

$$\lambda_c = \sum_{i=1}^n \lambda_i \quad (1.3)$$

Если все элементы данного типа равнонадежны, то интенсивность отказов системы будет:

$$\lambda_c = \sum_{i=1}^r N_i \lambda_i, \quad (1.4)$$

где N_i - число элементов i -го типа; r - число типов элементов.

Среднее время наработки до отказа и частота отказов системы соответственно равны:

$$T_{o.c.} = \frac{1}{\lambda_c}, \quad \alpha_c(t) = \lambda_c e^{-\lambda_c t}. \quad (1.5)$$

На практике очень часто приходится вычислять вероятность безотказной работы высоконадежных систем. При этом произведение $\lambda_c t$ значительно меньше единицы, а вероятность безотказной работы $P(t)$ близка к единице. В этом случае количественные характеристики надежности можно с достаточной для практики точностью вычислить по следующим приближенным формулам:

$$P_c(t) = 1 - \lambda_c t, \quad \lambda_c = \sum_{i=1}^r N_i \lambda_i, \quad \bar{T}_{o.c.} = \frac{1}{\lambda_c}, \quad \alpha_c(t) = \lambda_c (1 - \lambda_c t). \quad (1.6)$$

При расчете надежности систем часто приходится перемножать вероятности безотказной работы отдельных элементов расчета и возводить их в степень. При значениях вероятности $P(t)$, близких к единице, эти вычисления можно с достаточной для практики точностью выполнить по следующим приближенным формулам:

$$P_c(t) = \prod_{i=1}^n p_i(t) \approx 1 - \sum_{i=1}^n q_i(t), \quad (1.7)$$

где $q_i(t)$ - вероятность отказа i -го блока.

Полный расчет показателей надежности изделия выполняется тогда, когда известны реальные режимы работы элементов после испытания в лабораторных условиях макетов изделия.

Элементы изделия находятся обычно в различных режимах работы, сильно отличающихся от номинального режима. Это влияет на надежность как изделия в целом, так и отдельных его составляющих частей. Выполнение окончательного расчета параметров надежности возможно только при наличии данных о коэффициентах нагрузки отдельных элементов и при наличии графиков зависимости интенсивности отказов элементов от их электрической нагрузки, температуры окружающей среды и других факторов, т.е. для окончательного расчета необходимо знать зависимости

$$\lambda_c = f(K_n T^\circ, \dots). \quad (1.8)$$

Эти зависимости приводятся в виде графиков либо их можно рассчитать с помощью поправочных коэффициентов интенсивности отказов k_i .

При разработке и изготовлении элементов обычно предусматриваются определенные, так называемые «нормальные» условия работы. Интенсивность отказов элементов в «нормальном» режиме эксплуатации называется номинальной интенсивностью отказов λ_{ni} .

Интенсивность отказов элементов при эксплуатации в реальных условиях λ_i равна номинальной интенсивности отказов λ_{ni} , умноженной на поправочные коэффициенты k_i , т.е.

$$\lambda_i = \lambda_{ni} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot \dots \cdot k_n = \lambda_{ni} \prod_{i=1}^n k_i, \quad (1.9)$$

где: λ_{ni} - интенсивность отказов элемента, работающего в нормальных условиях при номинальной электрической нагрузке;

k_1, k_2, \dots, k_n - поправочные коэффициенты, зависящие от различных воздействующих факторов.

Полный расчет надежности применяется на этапе технического проектирования изделия.

2 Порядок выполнения и оформления задачи

1. Определяется вероятность отказа каждого устройства системы.
2. Вычисляется вероятность безотказной работы системы.
3. Вычисляется интенсивность отказов системы.
4. Определяются среднее время наработки до первого отказа системы.

2 Практическое занятие №2

Цель занятия: освоить методику расчета показателей надежности невосстанавливаемых резервированных систем.

Задача. Расчет показателей надежности невосстанавливаемых резервированных систем.

Условие задачи и исходные данные.

Система имеет кратность общего резервирования m . Основная нерезервированная система содержит n равнонадежных элементов с логически последовательным соединением. Интенсивность отказа одного элемента λ 1/ч. Исходные данные приведены в таблице 2.1.

Определить характеристики надежности системы за t часов.

Таблица 2.1 - Исходные данные

Последняя цифра шифра										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
m	5	3	2	5	4	6	7	5	3	4
n	10	13	8	12	4	6	5	9	7	5
$\lambda \cdot 10^{-3},$ 1/ч	0,20	0,25	0,15	0,41	0,12	0,28	0,31	0,29	0,37	0,17
t , час.	1000	800	1200	900	700	1300	1400	1500	800	1100

Методические указания к выполнению задачи

1 Краткие теоретические сведения

В резервированной системе отказ какого-либо элемента не обязательно приводит к отказу всей системы. Система отказывает тогда, когда отказывают все ее элементы. Такой тип резервирования называют постоянным или нагруженным m -кратным резервированием.

В этом случае все элементы выполняют одну и ту же функцию, работают одновременно и равнонадежны. По теореме умножения вероятностей имеют место следующие выражения:

$$P_c(t) = 1 - Q_c(t) = 1 - q^{m+1}(t) = 1 - [1 - p(t)]^{m+1}, \quad (2.1)$$

где $q(t)$, $p(t)$ – соответственно вероятности отказа и безотказной работы одного элемента.

Если для элементов справедлив экспоненциальный закон распределения надежности, то:

$$P_c(t) = 1 - (1 - e^{-\lambda t})^{m+1}. \quad (2.2)$$

Для высоконадежных систем, у которых $\lambda t < 0,1$ и $e^{-\lambda t} = 1 - \lambda t$, имеем:

$$P_c(t) = 1 - (\lambda t)^{m+1}. \quad (2.3)$$

Среднее время наработки до отказа резервированной системы:

$$\overline{T}_c = \frac{1}{\lambda_o} \sum_{i=0}^m \frac{1}{i+1}. \quad (2.4)$$

Интенсивность отказов резервированной систем определяется по формуле:

$$\lambda_c(t) = \frac{\lambda_o(m+1)e^{-\lambda_o t}(1 - e^{-\lambda_o t})^m}{1 - (1 - e^{-\lambda_o t})^{m+1}}. \quad (2.5)$$

где $\lambda_o = \sum_{i=1}^n \lambda_i$ – интенсивность отказов основной системы или любой из резервных систем..

Вероятность безотказной работы такой системы возрастает с увеличением кратности резервирования m . Этот вид резервирования наиболее целесообразно использовать для резервирования достаточно надежных систем разового использования с коротким временем непрерывной работы.

2 Порядок выполнения и оформления задачи

1. Определяется интенсивность отказов основной системы.
2. Вычисляется вероятность безотказной работы системы .
3. Вычисляется среднее время наработки на отказ.
4. Вычисляется интенсивность отказов системы.

3 Практическое занятие № 3

Цель занятия: освоить методику расчета показателей надежности системы при последовательном соединении элементов с учетом преднамеренных отключений.

Задача. Расчет показателей надежности системы при последовательном соединении элементов с учетом преднамеренных отключений.

Условие задачи и исходные данные.

Определить показатели надежности участка электросети (рисунок 3.1). Длина ВЛ 110кВ берется из таблицы 3.1 исходных данных

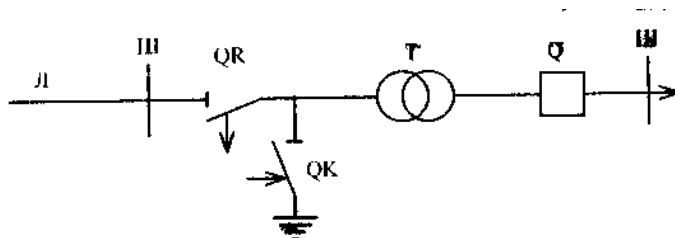


Рисунок 3.1 – Схема участка электросети
QR-отделитель, QK-короткозамыкатель, Q-выключатель.

Таблица 3.1 – Исходные данные

Длина ВЛ 110кВ, км	Последняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
	15	25	12	30	40	45	24	35	27	39

Методические указания к выполнению задачи

Краткие теоретические сведения

Преднамеренные отключения СЭС влияют на надежность электроснабжения потребителей. С одной стороны, при преднамеренных отключениях выполняются планово-предупредительные ремонтные работы, например, направленные на повышение надежности СЭС, а с другой стороны преднамеренные отключения понижают надежность электроснабжения потребителей, так как создают нерезервированные схемы.

Преднамеренные отключения создают поток событий, не являющихся случайными, поскольку они вызываются направленным действием обслуживающего персонала. При определении надежности на короткий период времени, например, при решении в сетях оперативных задач, связанных с изменением режимов, преднамеренные отключения считаются детерминированными событиями, и надежность рассчитывается для различных режимов работы СЭС, соответствующих преднамеренным отключениям элементов.

Если надежность анализируется за длительный промежуток времени, например при проектировании СЭС, то заранее предусмотреть число и длительность преднамеренных отключений сложно. В этом случае последние рассматриваются как поток случайных событий и используются положения теории

вероятностей и математической статистики. Анализ большого объема статистических данных показал, что преднамеренные отключения можно считать случайными событиями, если временной период решения задачи составляет не менее года.

Полагая преднамеренные отключения независимыми случайными событиями, характеризуем их показателями, определяющим интенсивность отказов и среднее время восстановления системы.

Интенсивность преднамеренных отключений последовательно соединенных n элементов

$$\nu_C = \sum_{i=1}^n \nu_i = \nu_1 + \nu_2 + \dots + \nu_n, \quad (3.1)$$

где ν_i – интенсивность преднамеренных отключений i -го элемента.

Среднее время обслуживания данной схемы после преднамеренного отключения, т.е. продолжительности планово-предупредительного ремонта

$$T_{0C} = \nu_C^{-1} \sum_{i=1}^n \nu_i T_{0i}, \quad (3.2)$$

где T_{0i} – продолжительность планово-предупредительного ремонта i -го элемента.

Однако при ремонте электрооборудования обычно отключаются одновременно несколько взаимосвязанных элементов, например ЛЭП и понизительная подстанция, питающаяся по данной линии, трансформатор и шины распрестройства. Поэтому суммарная интенсивность преднамеренных отключений цепочки меньше суммы интенсивностей частот отдельных элементов.

Один из элементов цепочки, который чаще отключается, называется *базовым*, а относительная частота преднамеренных отключений остальных элементов по отношению к базовому – *коэффициентом совпадения*. Статистически он определяется как

$$g_i = \frac{m_i(t)}{M_i(t)}, \quad (3.3)$$

где $m_i(t)$ – число преднамеренных отключений i -го элемента, произведенных совместно с преднамеренным отключением базового элемента за период t ; $M_i(t)$ – общее число преднамеренных отключений i -го элемента за тот же период времени.

Ориентировочные значения коэффициентов совпадения основных элементов электрической сети приведены в таблице 3.2.

С учетом коэффициента совпадения формула (3.1), (3.2) для определения показателей преднамеренных отключений последовательно включенных элементов принимают вид:

- для интенсивности преднамеренных отключений

$$\nu_C = \nu_B + \sum_{i=1, i \neq B}^n \nu_i (1 - g_i); \quad (3.4)$$

- для среднего времени восстановления после преднамеренного отключения

$$T_{0C} = \nu_C^{-1} [\nu_B T_{0B} + \nu_{\max} (T_{0\max} - T_{0B}) + \sum_{i=1, i \neq B}^n \nu_i T_{0i} (1 - g_i)], \quad (3.5)$$

где ν_B, T_{0B} – интенсивность преднамеренных отключений и среднее время обслуживания базового элемента;

$\nu_{\max}, T_{0\max}$ – то же для элемента цепочки, у которого максимальное время обслуживания.

Таблица 3.2 – Ориентировочные значения коэффициентов совпадения основных элементов электрической сети

№ элемента	Элемент системы	Базовые элементы			
		ВЛ (КЛ)	ВЛ (КЛ)	Тр-р 110,	Тр-р 6,
		35, 110 кВ	6, 10 кВ	35/10 кВ	10/0,4 кВ
1	Воздушная линия (ВЛ) 6, 10 кВ	0,7	1	0,6	-
2	Кабельная линия (КЛ) 6, 10 кВ	0,6	1	0,5	-
3	Ячейка РУ 6, 10 кВ	0,3	0,6	0,4	1
4	Ячейка РУ 35, 110 кВ	0,8	-	0,6	-
5	Ячейка выключателя 6, 10 кВ	0,8	0,8	0,7	-
6	Трансформатор 35, 110/10 кВ	0,6	-	1	-
7	Трансформатор 6, 10/0,4 кВ	0,3	0,6	0,4	1
8	Шины 35, 110 кВ	0,6	-	0,8	-
9	Шины 6, 10 кВ	0,75	-	0,7	0,8
10	Сборка НН ТП	-	0,4	-	0,8

Формулами (3.4) и (3.5) пользуются, когда система не эквивалентирована. После эквивалентирования элементов преднамеренные отключения считаются независимыми событиями и применяются формулы (3.1) и (3.2).

2 Порядок выполнения и оформления задачи

1. Составляется схема замещения участка электросети по надежности.

2. Исходные данные о надежности элементов взяты из таблицы П1 (Приложения), коэффициенты совпадения преднамеренных отключений элементов из таблицы 3.2.

3. Определяются интенсивность отказов и среднее время восстановления схемы.

4. Рассчитываются интенсивность преднамеренных отключений.

5. Определяется среднее время обслуживания, т.е. восстановления данного участка сети после преднамеренного отключения без учета взаимного влияния преднамеренных отключений элементов,

4 Практическое занятие №4

Цель занятия: освоить методику расчета показателей надежности системы с учетом влияния надежности коммутационной аппаратуры и устройств релейной защиты и автоматики на надежность схем.

Задача. Расчет показателей надежности системы с учетом влияния надежности коммутационной аппаратуры и устройств релейной защиты и автоматики на надежность схем.

Условие задачи и исходные данные.

Требуется определить показатели надежности в расчетной точке А схемы (рисунок 4.1). Длина ВЛ1 и ВЛ2 (в километрах) берутся из таблицы 4.1. Показатели надежности элементов приведены в таблице П1 (Приложение) Надежность выключателей (интенсивность отказов в статическом состоянии) и шин РУ не учитывается. РУ 110 кВ обслуживается ОВБ и расположено в сельской местности.

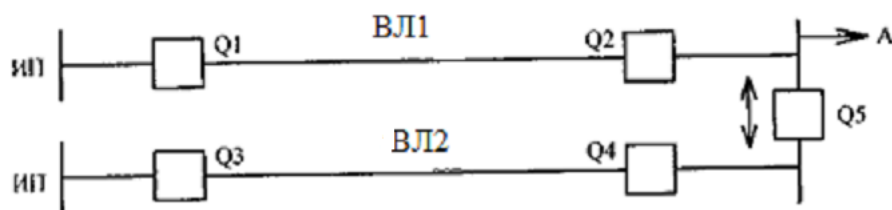


Рисунок 4.1 – Схема системы

Таблица 4.1 – Исходные данные

Последняя цифра шифра										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
ВЛ1 l, км	5	25	15	20	14	8	14	12	10	15
Предпоследняя цифра шифра										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
ВЛ2 L, км	4	29	11	15	10	5	10	8	6	12

Методические указания к выполнению задачи

1 Краткие теоретические сведения

Для локализации отказавшего элемента и подачи в узел нагрузки питания от резервного источника необходимо, чтобы сработали устройства релейной защиты и автоматики (УРЗА), а также коммутационные аппараты (КА), на ко-

торые воздействуют эти устройства.

Рассмотрим операции отключения поврежденной линии и подачу резервного питания в расчетный узел нагрузки (рисунок 4.1). Имеется распределительное устройство с двумя секциями шин, между которыми установлен секционный выключатель с устройством автоматического ввода резерва (АВР) двустороннего действия. В нормальном режиме каждая секция питается по своей линии, а секционный выключатель отключен.

При поврежденной линии ВЛ1 происходит следующее: релейная защита на выключателе Q1 подает команду на его отключение; срабатывает Q1, отключающий ВЛ1 от ИП, релейная защита на Q2 подает команду на отключение Q2; срабатывает Q2, отключающий Л1 от узла нагрузки А; от исчезновения напряжения на секции шин срабатывает устройство АВР и подает команду на включение Q5; срабатывает Q5 и напряжение от Л2 через секцию шин и Q5 подается в точку А.

Таким образом, для обеспечения питания узла нагрузки понадобилось выполнить шесть операций. В действительности количество операций значительно больше, поскольку каждый комплект УРЗА состоит из нескольких элементов (реле, контакторов и др.). При этом на каждой из операций работающая аппаратура может отказать. Поэтому для точной оценки надежности электроснабжения узла нагрузки нужно учитывать надежность УРЗА и КА.

С одной стороны, КА является элементом силовой электрической цепи и несет нагрузку (электрическую, механическую) в нормальном режиме. Поэтому КА, как и другие элементы электрической сети, может отказать в нормальном режиме. Такие отказы называют *статическими* (например, перекрытие опорной изоляции, перегрев контактов). С другой стороны, на КА воздействуют УРЗА для выполнения основных функций по включению (отключению). Возможен отказ в удовлетворении требованиям на срабатывание. С этой точки зрения КА можно рассматривать как элемент комплекта УРЗА. Такие отказы называются отказами функционирования.

Отказы функционирования УРЗА и КА бывают трех видов:

- отказы в срабатывании (невыполнение УРЗА и КА требований на срабатывание);
- неселективные срабатывания (срабатывание УРЗА и КА при требовании на срабатывание, поступающем не на данное, а на другое срабатывание);
- ложные срабатывания (срабатывание УРЗА и КА при отсутствии требований на срабатывание).

Если рассматривать надежность коммутационных операций, производимых по командам от УРЗА, то элементы релейной защиты, автоматики, исполнительных органов коммутационного аппарата эквивалентированы системой последовательно соединенных элементов, каждый из которых может отказать. Отказ любого из элементов приводит к отказу КА, количественной характеристикой которого является вероятность несрабатывания $q_{КА}$, определяемая как отношение числа несрабатываний $m_{УРЗА}$ устройства релейной защиты и автоматики и числа несрабатываний $m_{ИКА}$ исполнительного органа коммутационного аппарата к общему числу требований $M(t)$ на работу этих устройств за период

наблюдений t :

$$q_{KA} = \frac{1}{M(t)} [m_{УРЗА}(t) + m_{ИКА}(t)]. \quad (4.1)$$

Ориентировочные значения вероятности несрабатывания типичных схем релейной защиты и устройств автоматического ввода резерва приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 Значения вероятности несрабатывания типичных схем РЗА

Наименование устройства	Вероятность несрабатывания q_{KA}	
	$U=6, 10 \text{ кВ}$	$U=35, 110 \text{ кВ}$
Релейная защита линии (вместе с КА)	0,020	0,015
Релейная защита трансформатора (вместе с КА)	-	0,010
Автоматический ввод резерва	0,022	0,020

Интенсивность отказов в расчетной точке схемы электрических соединений, зависящая от надежности работы УРЗА и КА, составит

$$\lambda_{KA} = \alpha q_{KA}, \quad (4.2)$$

где α – интенсивность требований, поступающих на УРЗА и КА.

Требованиями считаются устойчивые отказы, которые фиксируются как отказы в электроснабжении, и неустойчивые отказы, которые ликвидируются при исчезновении напряжения. Неустойчивые отказы для воздушных ЛЭП составляют 50-70 % от всех отказов. Для других видов основного оборудования СЭС число неустойчивых отказов меньше и в расчетах надежности их можно не учитывать.

Для ВЛ ожидаемая интенсивность требований на срабатывание УРЗА и КА

$$\alpha_{Л} = k_H \lambda_{Л}^0 l_{Л}, \quad (4.3)$$

где: k_H - коэффициент увеличения числа требований на срабатывание за счет учета неустойчивых отказов;

$\lambda_{Л}^0$ – удельная интенсивность отказов ВЛ;

$l_{Л}$ – длина защищаемой ВЛ.

Примерные величины: $k_H = 1,6$ для ВЛ 35, 110 кВ и $k_H = 1,5$ для ВЛ 6, 10 кВ.

При отказе в срабатывании УРЗА и КА управляющая команда поступает на срабатывание соответствующих устройств более высокого структурного уровня.

2 Порядок выполнения и оформления задачи

1. Составляется схема замещения.
2. Численные значения показателей надежности берутся из таблицы 4.2 и таблицы П1.
3. Рассчитываются показатели надежности элементов по формам для параллельно соединенных элементов с учетом преднамеренных отключений.

5 Практическое занятие №5

Цель занятия: освоить методику расчета показателей надежности системы с учетом влияния надежности коммутационной аппаратуры и устройств релейной защиты и автоматики на надежность схем.

Задача. Расчет показателей надежности системы с учетом влияния надежности коммутационной аппаратуры и устройств релейной защиты и автоматики на надежность схем.

Условие задачи и исходные данные

Определить показатели надежности на шинах 10 кВ понизительной подстанции 110/10 кВ (рисунок 5.1). Подстанция с закрытым РУ 10 кВ обслуживается без дежурного персонала и имеет четыре отходящие линии 10 кВ, общая длина которых l и длина питающей ВЛ 110 кВ берутся из таблицы 5.1. Показатели надежности элементов приведены в таблицах 4.2 и П1 (Приложение).

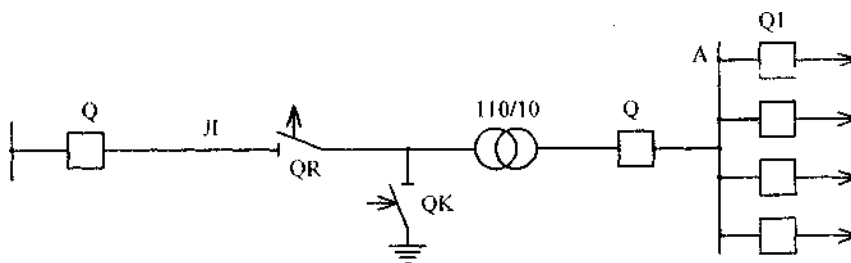


Рисунок 5.1–Схема понизительной подстанции

Таблица 5.1 -Исходные данные

Последняя цифра шифра										
ВЛ 10 кВ (общая) L , км	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
	15	20	35	20	25	18	24	32	28	50
Предпоследняя цифра шифра										
ВЛ 110 кВ. l , км	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
	3	5	4	2	1	2	3	4	5	2

1 Краткие теоретические сведения

В схеме электрической цепи требуется определить показатели надежности соединений представляется схемой замещения по надежности. При этом следует учитывать режим работы системы, действия коммутационной аппаратуры (КА) и устройств релейной защиты и автоматики (УРЗА) при отказах, пропускную способность элементов в послеаварийных режимах. Входы в систему выбираются таким образом, чтобы их надежность была абсолютной, т.е. значительно выше надежности данной схемы. При расчетах надежности СЭС общего назначения источниками питания являются распределительные устройства электростанций и узловых подстанций, имеющие не менее двух систем шин высшего напряжения и не менее двух трансформаторов.

Элементы схемы представляются в виде участков и узлов. На схеме замещения проставляют также направления движения электроэнергии по элементам от высшего напряжения к низшему, от источников питания к потребителю. По транзитным элементам, связывающим промежуточные узлы схемы, энергия может передаваться в обоих направлениях.

Определяются численные значения показателей надежности элементов (узлов и участков) схемы, часть из которых находится непосредственно по статистическим данным о повреждаемости оборудования, а часть рассчитывается.

Схема замещения поэтапно эквивалентизируется объединением последовательно и параллельно соединенных элементов. В результате схема преобразуется в двухполюсную неразделимую структуру (граф), входом в которую являются источники, а выходом – расчетная точка сети.

Показатели надежности участков, представляющих совокупность тесно связанного оборудования, определяются расчетами.

Для учета одновременности отказов двухцепные линии или кабели в одной траншее на рисунке. 5.1 принимаются как система со смешанным соединением элементов, где параллельно соединенные элементы 1, 2 – показатели надежности отдельных цепей (двух кабелей) и их отказы – независимые события, а общий элемент 3 характеризует одновременный отказ обеих цепей (линий), которые можно определить также по статистическим данным.

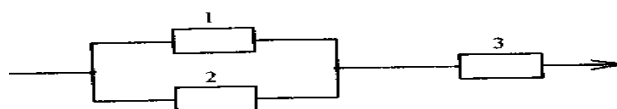


Рисунок 5.1 – Смешанное соединение элементов

Показатели надежности шин распределительных устройств (узлов) также определяются расчетами. Рассмотрим надежность узла – секции шин распределительного устройства (рисунок. 5.2).

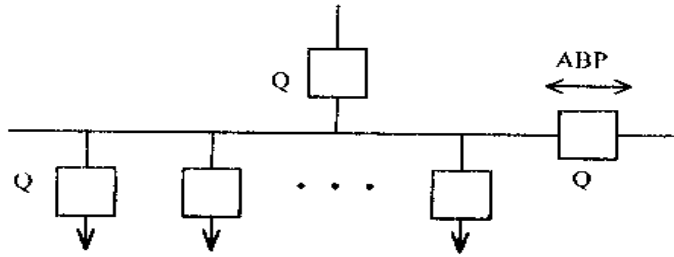


Рисунок 5.2 – Схема узла

Шины могут быть обесточены в следующих случаях:

1) при отказе самих шин на время ремонта, при этом интенсивность отказов шин принимается прямо пропорциональной количеству присоединений N_{np} :

$$\lambda_{ш} = \lambda_{ш}^0 N_{np}, \quad (5.1)$$

где $\lambda_{ш}^0$ – интенсивность отказов одного соединения;

2) при отказе присоединения (ячейки РУ) на время, необходимое для отсоединения этой ячейки и подачи питания на шины;

3) при отказе рабочего питания секции и несрабатывании УРЗ и КА на питающей линии или АВР и КА секционного выключателя на время, необходимое для подачи питания на секцию шин вручную:

$$\lambda_{P3A} = \lambda_{pab}(q_{P3} + q_{ABP}); \quad (5.2)$$

где q_{P3} , q_{ABP} – вероятность несрабатывания РЗ и АВР (Таблица 4.2).

4) при отказе в срабатывании УРЗ и КА отходящих линий на время отсоединения ячейки и подачи питания на шины:

$$\lambda_{omx} = \sum_{i=1}^{n_{л}} \lambda_{ли} k_{Hi} q_{P3i}, \quad (5.3)$$

где $n_{л}$ – число отходящих линий.

Схема замещения по надежности рассмотренного узла представлена на рисунке 5.3.

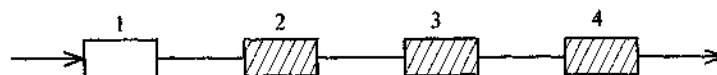


Рисунок 5.3 – Схема замещения

Расчет показателей надежности схем электростановок (ЭУ) относится прежде всего к понизительным подстанциям и распределительным пунктам. Электроустановки различаются схемой построения, способом ввода резервного питания, применяемым оборудованием. Показатели надежности для подстанций, как правило, определяются на шинах РУ низшего напряжения.

Выход из строя любого из элементов нерезервированной электроустанов-

ки или установки с ручным резервированием приводит к исчезновению напряжения на шинах РУ: в случае нерезервированной ЭУ – на время ремонта отказавшего элемента, а для ЭУ, резервированных вручную, – на время подключения резервного питания. Таким образом, схема замещения этих ЭУ представляет собой систему последовательно соединенных элементов.

2 Порядок выполнения и оформления задачи

1. Составляется схема замещения понизительной подстанции 110/10 кВ по надежности.
2. Исходные данные о надежности элементов взяты из таблицы 5.1, коэффициенты совпадения преднамеренных отключений элементов – из таблицы П1 (Приложение).
3. Определяются интенсивность отказов и среднее время восстановления всех элементов подстанции.
4. Рассчитываются окончательно показатели надежности на шинах 10 кВ подстанции.
5. Рассчитываются характеристики надежности подстанции с учетом преднамеренных отключений (за базовый принимаем элемент 1 – ВЛ 110 кВ).

Библиографический список

Основная литература:

1. Надежность и эффективность электроснабжения: учебное пособие / Уфимс. гос. авиац. техн. ун-т; сост.: Б.В. Папков, Д.Ю. Пашали. – Уфа, 2005.
2. Савина, Н.В. Надежность систем электроэнергетики: учеб. пособие / Н.В. Савина. – Благовещенск: Изд-во Амурского гос. ун-та, 2011.
3. Тремясов, В.А. Надежность электроснабжения: учеб. пособие / В. А. Тремясов. – Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2006.
4. Анищенко, В.А. Надёжность систем электроснабжения / В.А. Анищенко. – Минск: УП Технопринт, 2001.

Дополнительная литература:

5. Половко, А.М. Основы теории надежности: практикум: рек. УМО/ А. М. Половко, С.В. Гуров. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006.
6. Волков, Н.Г. Надежность электроснабжения: учеб. пособие / Р.Г. Волков. – Томский политех. ун-т. – Томск, 2003.
7. Китушин, В. Г. Надежность энергетических систем : учеб. пособие / В. Г. Китушин Ч.1: Теоретические основы. – Новосибирск: изд-во НГТУ, 2003.
8. Конюхова, Е.А., Киреева, Э.А. Надёжность электроснабжения промышленных предприятий / Е.А. Конюхов, Э.А. Киреева. – М.: НТФ Энергопрогресс, 2001.
9. Киреева, Э.А. Повышение надёжности, экономичности и безопасности систем цехового электроснабжения / Э.А. Киреева. – М.: НТФ Энергопрогресс, 2002.

Приложение

Таблица П1 - Расчетные значения показателей надежности основных элементов СЭС для экспоненциального закона надежности

Элемент	Условное обозначение на схемах	Интенсивность отказов, год ⁻¹	Среднее время восстановления Тв, ч	Интенсивность преднамеренных отключений, год ⁻¹	Среднее время обслуживания Т0, ч
Воздушная линия 35, 110 кВ одноцепная, на 1 км длины	Л	0,08	8	0,15	8
Воздушная линия 35, 110 кВ двухцепная, на 1 км длины	2Л	0,008	10	0,01	8
Воздушная линия 6, 10 кВ одноцепная, на 1 км длины	Л	0,25	6	0,25	5,8
Кабельная линия 6, 10 кВ на 1 км длины	К	0,10	25	0,5	3
Две кабельные линии в одной траншее, на 1 км длины	2К	0,05	15	0,05	3
Воздушная линия 0,38 кВ, на 1 км длины	Л	0,20	4	0,3	5
Трансформатор с высшим напряжением 35, 110 кВ	Т	0,03	30	0,4	22
Трансформатор с высшим напряжением 6, 10 кВ	Т	0,035	8	0,3	8
Ячейка выключателя 35, 110 кВ	Q	0,02	7	0,3	6
Ячейка выключателя 6, 10 кВ внутренней установки	Q	0,015	6	0,2	6
Ячейка выключателя 6, 10 кВ КРУН наружной установки	Q	0,05	5	0,3	5
Ячейка отделителя (ОД) или короткозамыкателя (КЗ) 35, 110	QR (QK)	0,05	4	0,3	5
Ячейка разъединителя 35, 110 кВ	QS	0,005	4	0,25	4
Ячейка разъединителя 6, 10 кВ внутренней установки	QS	0,002	3	0,2	3,5
Ячейка разъединителя 6, 10 кВ КРУН наружной установки	QS	0,01	3	0,2	3,5
Ячейка предохранителя 6, 10 кВ	FU	0,05	2,5	0,2	3
Линейный разъединитель 6, 10 кВ	QS	0,08	4,5	-	-
Шины ОРУ 35, 110 кВ, на одно присоединение	Ш	0,001	5	0,15	6
Шины РУ 6, 10 кВ на одно присоединение	Ш	0,001	4	0,16	5
Сборка НН-0,4 кВ ТП	С 0,4	0,007	4	0,2	5

Учебное издание

Лопатин Игорь Евгеньевич

Мельников Александр Юрьевич

Надежность электроэнергетических систем

Методические указания по выполнению практических занятий

Подписано в печать _____. Тираж 30 экз.

Рязанский институт (филиал) Московского политехнического университета