



Кафедра ЭПЭЭСХ

Б1.В.09 Надежность электроснабжения
Методические указания
к практическим занятиям

Направление подготовки
2.13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Профиль подготовки
Электроснабжение

Квалификация (степень) выпускника
бакалавр

Уфа 2018

Рекомендовано к изданию методической комиссией энергетического факультета протокол № 3 от 25 октября 2018 г.

Составители:

д-р техн. наук, профессор

Андрианова Л.П.

канд. техн. наук

Атнагулов Д.Т.

Ответственный за выпуск:

Зав. кафедрой электроснабжения
и применения электроэнергии в
сельском хозяйстве, д-р техн. наук

Галиуллин Р.Р.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1 Расчет показателей надежности схемы системы передачи электроэнергии с последовательно соединенными элементами с независимыми отказами (4 часа)	5
2 Расчет показателей надежности схемы электроснабжения со взаимно резервированными цепями с учетом преднамеренных отключений (2 часа)	8
3 Расчет показателей надежности системы электроснабжения с резервированием и без учета резервирования схемы (4 часа)	9
4 Расчет показателей надежности двухцепных линий электропередачи (4 часа)	11
5 Расчет вероятностей несовместных событий с применением теорем теории вероятностей (2 часа)	13
6 Расчет показателей надежности электроустановок	15
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	20

ВВЕДЕНИЕ

Развитие основных областей науки и техники (автоматика, электроника, телемеханика и связь), определяющих технический прогресс, в настоящее время немыслимо без решения вопросов и расчетов надежности элементов и систем, входящих в комплексные функциональные устройства. Это послужило мощным стимулом развития общей теории надежности, выявлению и определению основных критериев и характеристик надежности, таких как функция надежности и отказа, среднего времени безотказной работы, интенсивности отказа и др.

Развитие теории и инженерных методов расчета надежности в электроэнергетических системах началось позже, чем в указанных областях. Механический перенос положений общей теории надежности на различные звенья электрических систем невозможен. Их необходимо уточнять и адаптировать в силу особенностей систем электроснабжения.

К таким особенностям относятся:

а) характер электроснабжения, учитывающий непрерывность и неразрывность процесса производства, передачи и потребления энергии;

б) многоцелевое использование электроэнергии при наличии категорий потребителей с различными требованиями к надежности и качеству электроэнергии;

в) пренебрежимо малая вероятность полного отказа систем, а также полного планового или непланового ремонта их вследствие большого количества источников и потребителей, потенциальной режимной избыточности элементов;

г) сами элементы систем электроснабжения (под ними понимаются виды оборудования, аппараты и части сетей), которые представляют из себя достаточно сложные системы, состоящие из элементов, характеристики которых по надежности выявлены недостаточно и зависят от конструктивных особенностей, вида и качества материалов, сборки, условий работы и т.п.;

д) трудность получения статистических материалов испытаний, которые практически невозможно воспроизвести в лабораторных и заводских условиях из-за трудностей в создании реальных условий работы и длительности среднего времени безотказной работы, исчисляемого годами, в течение которых элементы подвергаются профилактическим ремонтам и испытаниям, учесть влияние которых на характеристики надежности достаточно трудно.

Необходимо также иметь в виду, что взаимодействие между системой электроснабжения и внешней средой носит стохастический (вероятностный) характер и можно говорить лишь о некоторой вероятности достижения цели – передачи энергии потребителю в требуемом количестве в пределах допустимых показателей ее качества (напряжения, частоты и др.).

1 РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ СХЕМЫ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО СОЕДИНЕННЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ БЕЗ УЧЕТА ПРЕДНАМЕРЕННЫХ ОТКЛЮЧЕНИЙ

Цель – Определить показатели надежности системы передачи электроэнергии с последовательно соединенными элементами.

Задача 1.1. Определить параметр потока отказов (λ_c), среднюю вероятность отказа (q_c) и среднее время ее восстановления ($T_{вс}$) системы передачи электроэнергии (рисунок 1.1), состоящей из повышающего трансформатора Т1, линии электропередач Л и понижающего трансформатора Т2, отказы которых независимы. Параметры потоков отказов элементов и средние времена восстановления приведены в таблице 1.1.

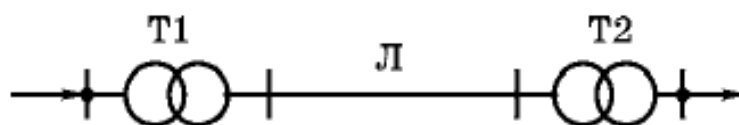


Рисунок 1.1 - Схема системы передачи электроэнергии

Таблица 1.1- Параметры надежности схемы электропередачи

Показатель надежности	на-	Элемент сети		
		Т ₁	Л	Т ₂
λ , 1/год		0,02	0,12	0,025
$T_{в}$, ч		526	8	400

Задача 1.2. Определить параметр потока отказов (λ_c), среднюю вероятность отказа (q_c) и среднее время ее восстановления ($T_{вс}$) системы передачи электроэнергии (рисунок 1.2), состоящей из генератора Г, повышающего трансформатора Т₁, линии электропередач Л и понижающего трансформатора Т₂, отказы которых независимы (без учета преднамеренных отключений). Параметры потоков отказов элементов и средние времена восстановления приведены в таблице 1.2.

Таблица 1.2- Параметры надежности схемы электропередачи

Показатель надежности	на-	Элемент сети			
		Г	Т ₁	Л	Т ₂
λ , 1/год		2	0,02	0,12	0,025
$T_{в}$, ч		240	526	8	400

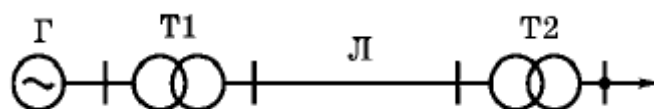


Рисунок 1.2- Схема системы передачи электроэнергии

Задача 1.3. Система передачи электроэнергии потребителю состоит генераторов Г1 и Г2, повышающего трансформатора Т1, линии электропередач Л и понижающего трансформатора Т2 (рисунок 1.3). Каждый генератор может выдать лишь 50% мощности, требуемой потребителю. Остальные элементы системы имеют пропускную способность 100% нагрузки потребителя. Параметры потоков отказов генераторов Г1 и Г2 одинаковы. Параметры потоков отказов и средние времена восстановления элементов схемы приведены в таблице 1.3.

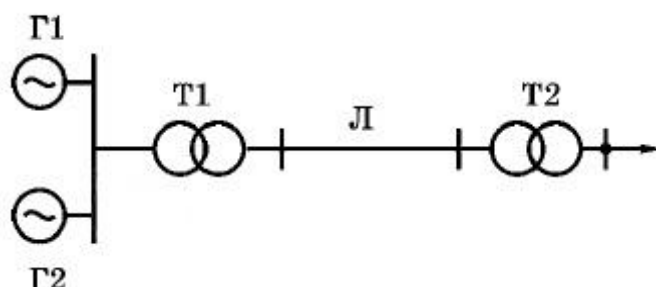


Рисунок 1.3- Схема системы передачи электроэнергии

Таблица 1.3- Параметры надежности схемы электропередачи

Показатель надежности	Элемент сети			
	Г1, Г2	Т ₁	Л	Т ₂
λ , 1/год	2	0,02	0,12	0,025
$T_{в}$, ч	240	526	8	400

Определить параметр потока отказов (λ_c), среднюю вероятность отказа (q_c) и среднее время ее восстановления ($T_{вс}$) системы передачи электроэнергии. Сделать анализ результатов полученных результатов.

Задача 1.4. Потребитель получает электроэнергию по линиям электропередачи Л1 и Л2 (рисунок 1.4), отказы которых независимы. Каждая линия пропускает всю необходимую мощность. Параметры потоков отказов линий и средние времена восстановления приведены в таблице 1.4.

Таблица 1.4 - Параметры надежности схемы электропередачи

Показатель надежности	Элемент сети	
	Л1	Л2
λ , 1/год	0,03	0,04
$T_{в}$, ч	12	8



Рисунок 1.4 - Схема системы передачи электроэнергии

Определить параметр потока отказов (λ_c), среднюю вероятность отказа (q_c) и среднее время ее восстановления ($T_{вс}$) системы передачи электроэнергии.

Задача 1.5. Решить задачу 1.2 при условии, что каждая линия пропускает только 50% мощности, требуемой потребителю. Дополнительно определить вероятность получения потребителем лишь 50 % мощности.

Провести анализ результатов решения задач 1.2 и 1.5.

Задача 1.6. Решить задачу 1.4 с учетом преднамеренных отключений. Параметр потока преднамеренных отключений первой линии $\omega_{пл1} = 0,3 \text{ год}^{-1}$, среднее время преднамеренного простоя $T_{пл1} = 40 \text{ ч}$; для второй линии $\omega_{пл2} = 0,4 \text{ год}^{-1}$, $T_{пл2} = 25 \text{ ч}$.

Задача 1.7. Потребитель получает электроэнергию по линиям Л1 и Л2 (рисунок 1.4), отказы которых независимы. Пропускная способность каждой линии - 50% мощности, требуемой потребителю. Параметры потоков отказов и средние времена преднамеренных отключений и аварийных восстановлений приведены в таблице 1.5. Определить параметр потока отказов системы, среднее время восстановления и вероятность получения потребителем лишь 50% мощности.

Таблица 1.5 Параметры надежности схемы электропередачи

Показатель надежности	на-	Элемент сети	
		Л1	Л2
λ , 1/год		0,03	0,04
$T_{в}$, ч		12	8
$\omega_{пл}$, 1/год		0,3	0,4
$T_{пл}$, ч		40	25

2 РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ СХЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ СО ВЗАИМНО РЕЗЕРВИРОВАННЫМИ ЦЕПЯМИ С УЧЕТОМ ПРЕДНАМЕРЕННЫХ ОТКЛЮЧЕНИЙ

Цель работы – Определить показатели надежности схемы электроснабжения

Задача 2.1. Предприятие получает электроэнергию от двух источников питания: ГРЭС и районной подстанции системы (рисунок 2.1). Каждая цепь может пропустить всю необходимую потребителю мощность. Параметры потоков отказов и преднамеренных отключений элементов системы электроснабжения, средние времена восстановления и длительности преднамеренных отключений приведены в таблице 2.1.

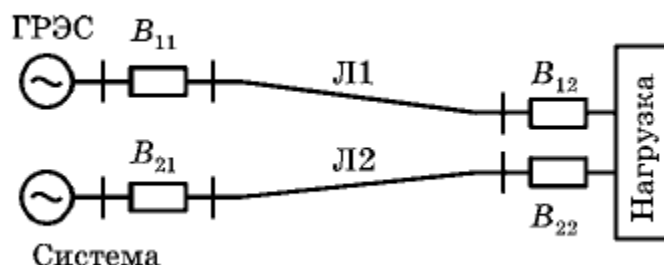


Рисунок 2.1 - Схема системы электроснабжения предприятия

Таблица 2.1- Параметры надежности схемы электропередачи

Показатель надежности	Элемент сети					
	B_{11}	Л1	B_{12}	B_{21}	Л2	B_{22}
$\lambda_0, 1/(\text{км}\cdot\text{год})$	-	0,023	-	-	0,019	-
$\lambda, 1/\text{год}$	0,099	-	0,048	0,137	-	0,137
$T_{в}, \text{ч}$	10	30	10	15	30	15
$\omega_{п}, 1/\text{год}$	0,4	0,3	0,4	0,4	0,3	0,4
$T_{п ср}, \text{ч}$	60	50	60	80	20	80

Определить параметр потока отказов системы электроснабжения, среднее время безотказной работы, среднюю вероятность отказа, среднее время восстановления, а также недоотпуск электроэнергии за год, считая, что среднегодовая мощность предприятия 30 МВт.

При расчете принять, что преднамеренные отключения последовательно включенных элементов цепей совмещаются по времени. Надежность источников не учитывать.

3 РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С РЕЗЕРВИРОВАНИЕМ И БЕЗ УЧЕТА РЕЗЕРВИРОВАНИЯ СХЕМЫ

Цель - Определить показатели надежности системы электроснабжения

Задача 3.1. Определить параметры потоков отказов и средние времена восстановления относительно шин низшего напряжения понижающих подстанций II и III, а также суммарный недоотпуск электроэнергии потребителям II и III систем (рисунок 3.1) без учета преднамеренных отключений элементов. Среднегодовая потребляемая мощность каждой подстанции составляет 100 МВт (таблица 3.1). Пропускная способность каждого элемента системы достаточна для пропуска всей необходимой мощности потребителям.

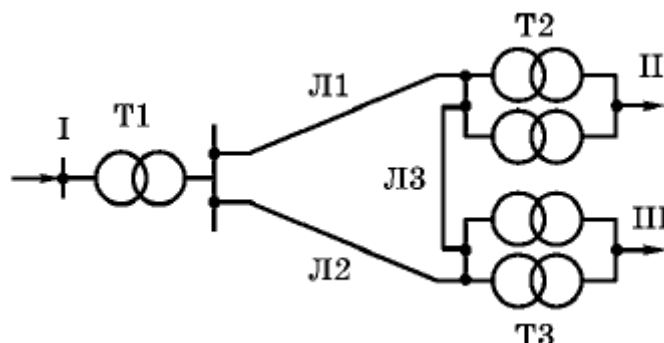


Рисунок 3.1 - Схема системы электроснабжения потребителей

Таблица 3.1 – Показатели надежности элементов системы

Показатель надежности	Элементы сети					
	Л1	Л2	Л3	Т1	Т2	Т3
$\lambda_0, 1/(\text{км} \cdot \text{год})$	0,006	0,006	0,006	—	—	—
$\lambda, 1/\text{год}$	—	—	—	0,02	0,02/0,02	0,02/0,02
$l, \text{км}$	150	180	120	—	—	—
$T_B, \text{ч}$	10	10	10	100	60/60	100/100

При расчете использовать расчетную схему, приведенную на рисунке 3.2.

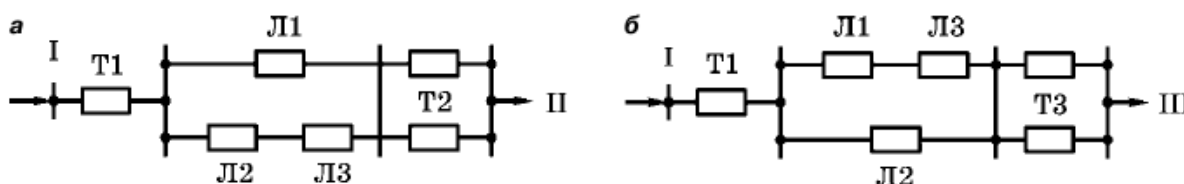


Рисунок 3.2 - Расчетная схема для вычисления показателей надежности:
а - для узла II; б - для узла III.

Результаты расчетов показателей надежности схемы от недоотпуска электроэнергии с учетом и без учета резервированной части схемы (только с учетом Т1) привести в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Результаты расчета показателей надежности

Степень учета элементов схемы	Показатели надежности						
	$\lambda_{СП}$, 1/год	$\lambda_{СП}$, 1/год	$T_{ВСП}$, ч	$T_{ВСП}$, ч	$\Delta Э_{II}$, кВт·ч	$\Delta Э_{III}$, кВт·ч	$\Delta Э_{I}$, кВт·ч
Учет всех элементов							
Учет только Т1							
Разница, %							

Задача 3.2. Решить задачу 3.1 при условии, что каждая из линий Л1 и Л2 пропускает только 50% мощности нагрузки в узле II или в узле III. Дополнительно определить показатели надежности схемы относительно узлов II и III при условии получения потребителями от каждой из подстанций менее 100% требуемой мощности.

Контрольные вопросы

1. Что понимается в теории вероятностей под определением «Событие. Вероятность события»?
2. Какие события образуют полную группу событий?
3. Дайте определение несовместным и равновозможным событиям.
4. Как определяется частота, или статистическая вероятность, события и ее связь с вероятностью события?
5. Чем отличаются понятия случайной величины и события?
6. Какие основные теоремы теории вероятностей используются в расчетах надежности систем электроснабжения, и каково их назначение?
7. Что называют суммой и произведением событий?
8. Как определяется вероятность суммы несовместных и равновозможных событий?
9. Как определяется вероятность произведения зависимых и независимых событий?
10. В чем заключается сущность формулы полной вероятности?
11. Какое назначение в теории вероятностей имеет теорема гипотез (формула Байеса) и как ею пользоваться?

4 РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ДВУХЦЕПНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Цель – Определить показатели надежности двухцепных линий электропередач

Задача 4.1. Двухцепная линия электропередачи напряжением 110 кВ, длиной 80 км, сооруженная на двухцепных опорах, имеет среднее значение параметра потока отказов одной цепи $\lambda_{01} = 0,01$ (км год)⁻¹. Доля отказов линии из-за отключения двух цепей по одной причине $\nu = 0,3$. Среднее время аварийного восстановления одной цепи $T_{B1} = 15$ ч, двух цепей $T_{B2} = 100$ ч на отказ. Суммарная продолжительность преднамеренного отключения одной цепи $T_{П2} = 140$ ч при их частоте $\omega_{П} = 4$ год⁻¹. Пропускная способность каждой линии - 100% мощности нагрузки. Расчетная схема по надежности двухцепной ЛЭП приведена на рисунке 4.1.

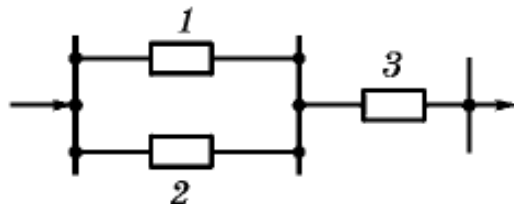


Рисунок 4.1 - Расчетная схема по надежности двухцепной ЛЭП:

1, 2 – элементы, характеризующие отказ одной цепи; 3- элемент, характеризующий отказ обеих цепей по одной причине

Определить параметр потока отказов и вероятность отказа двухцепной ЛЭП, среднее время восстановления и среднее время безотказной работы.

Задача 4.2. Система передачи электроэнергии потребителю состоит из трансформатора Т1, двухцепной ЛЭП (на двухцепных опорах) и трансформатора Т2 (рисунок 4.2). Параметры надежности ЛЭП те же, что и в задаче 4.1.

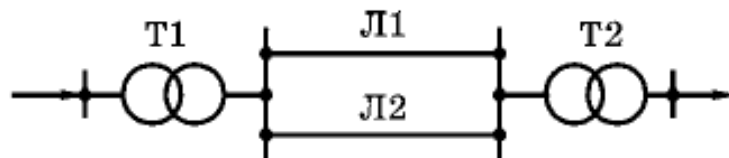


Рисунок 4.2 - Схема системы передачи электроэнергии

Определить параметр потока отказов системы, среднее время ее восстановления, среднее время безотказной работы и среднюю вероятность отказа системы.

Задача 4.3. Потребитель получает электроэнергию по системе электропередачи, состоящей из повышающего трансформатора Т1, линий электропередачи Л1 и Л2, проходящих по разным трассам, и понижающего трансфор-

матора Т2 (рисунок 4.3). Показатели надежности элементов системы те же, что и в задачах 4.1, 4.2.

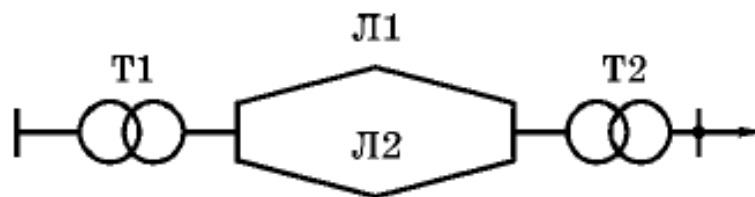


Рисунок 4.3 - Схема системы передачи электроэнергии

Определить параметр потока отказов системы, среднее время ее восстановления, среднюю вероятность отказа системы и среднее время ее безотказной работы.

Задача 4.4. Потребитель получает электроэнергию по двум параллельным цепям ЛЭП, проходящим по разным трассам. Условия работы ЛЭП с точки зрения надежности можно подразделить на благоприятные и неблагоприятные (гроза, гололед, ветер). Продолжительность работы ЛЭП в неблагоприятных условиях - 3 месяца в году. Вероятности отказа цепей в неблагоприятных условиях $q'_{л1} = 0,02$ и $q'_{л2} = 0,05, 0,005$.

Определить среднюю вероятность отказа системы за год и среднюю вероятность ее безотказной работы.

Задача 4.5. Промышленное предприятие получает электроэнергию от двух источников питания: ИП1 и ИП2 (рисунок 4.4а). Вероятность безотказной работы первого источника 0,998, второго - 0,997. Каждый элемент может пропустить всю необходимую потребителю мощность. Линия Л1 сооружена на одних опорах, условная вероятность отказа второй цепи при отказе первой равна 0,75, вероятность отказа одной цепи 0,009. Вероятности отказов остальных элементов схемы: $q_{т1} = 0,004$; $q_{т2} = q_{т4} = 0,005$; $q_{т3} = 0,003$; $q_{л2} = 0,008$.

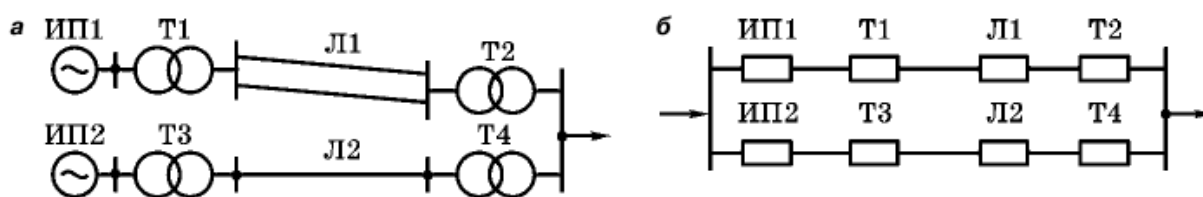


Рисунок 4.4 - Схема электроснабжения промышленного предприятия (а), расчетная схема по надежности (б)

Определить вероятность полной потери питания потребителями, считая отказы элементов независимыми (кроме двухцепной ЛЭП).

5 РАСЧЕТ ВЕРОЯТНОСТЕЙ НЕСОВМЕСТНЫХ СОБЫТИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕОРЕМ ТЕОРИИ ВЕРОЯТНОСТЕЙ

Цель работы - Определить вероятности несовместных событий.

На практике сравнительно редко встречаются задачи, в которых нужно применять только теорему сложения или только теорему умножения вероятностей. Обычно обе теоремы приходится применять совместно. При этом чаще всего событие, вероятность которого требуется определить, представляется в виде суммы нескольких несовместных событий (вариантов данного события), каждое из которых, в свою очередь, является произведением событий.

Задача 5.1. Экскаватор производит вскрытие кабельной траншеи. При этом он три раза ковшом зацепил кабель. Вероятность повреждения кабеля при первом зацеплении $P_1 = 0,4$; при втором – $P_2 = 0,5$; при третьем – $P_3 = 0,7$. Найти вероятность того, что в результате этих трех зацеплений кабель будет поврежден: а) ровно один раз; б) хотя бы один раз.

Задача 5.2. Вдоль линии электропередач (ЛЭП) происходит три грозовых разряда. Вероятность попадания в ЛЭП первого грозового разряда равна 0,4; второго – 0,5; третьего – 0,7. ЛЭП выходит из строя при одном попадании молнии с вероятностью 0,2; при двух попаданиях – с вероятностью 0,6 и при трех попаданиях - с вероятностью 1,0.

При определении вероятности следует рассмотреть четыре гипотезы:

H_0 – в ЛЭП не попало ни одного грозового разряда;

H_1 – в ЛЭП попал один разряд молнии;

H_2 – в ЛЭП попало два разряда молнии;

H_3 – в ЛЭП попало три разряда молнии.

Эти гипотезы имеют место при следующих сочетаниях событий, образующих несколько несовместных вариантов:

$$H_0 = \bar{B}_1 \bar{B}_2 \bar{B}_3;$$

$$H_1 = B_1 \bar{B}_2 \bar{B}_3 + \bar{B}_1 B_2 \bar{B}_3 + \bar{B}_1 \bar{B}_2 B_3;$$

$$H_2 = \bar{B}_1 B_2 B_3 + B_1 \bar{B}_2 B_3 + B_1 B_2 \bar{B}_3;$$

$$H_3 = B_1 B_2 B_3,$$

где B_1, B_2, B_3 – попадание молнии в ЛЭП при первом, втором и третьем грозовом разряде соответственно.

Пользуясь теоремами сложения, умножения и свойством противоположных событий, найти вероятности этих гипотез.

Применяя формулу полной вероятности, определить вероятность того, что в результате грозовых разрядов ЛЭП вышла из строя.

Теорема гипотез (формула Байеса)

Следствием теоремы умножения и формулы полной вероятности является так называемая теорема гипотез, или формула Бейеса. Поставим задачу. Имеется полная группа несовместных гипотез H_1, H_2, \dots, H_n . Вероятности этих гипотез до опыта известны и равны соответственно $P(H_1), P(H_2), \dots, P(H_n)$. Произведен опыт, в результате которого имело место событие A . Спрашивается, как следует изменить вероятности гипотез в связи с появлением этого события? Речь идет о том, чтобы найти условную вероятность $P(H_i/A)$ для каждой гипотезы. Из теоремы умножения имеем

$$P(AH_i) = P(A)P(H_i/A) = P(H_i)P(A/H_i),$$

где $i = 1, 2, \dots, n$.

Из последнего уравнения, отбрасывая левую часть, находим

$$P(H_i/A) = \frac{P(H_i)P(A/H_i)}{P(A)}.$$

Выражая $P(A)$ с помощью формулы полной вероятности (1.14), имеем

$$P(H_i/A) = \frac{P(H_i)P(A/H_i)}{\sum_{i=1}^n P(H_i)P(A/H_i)}. \quad (1.15)$$

Формула (1.15) носит название формулы Бейеса, или теоремы гипотез.

Задача 5.3. Кабель, питающий трансформаторную подстанцию, работает в двух режимах: а) номинальном; б) с перегрузкой. Первый режим работы составляет 80 % времени эксплуатации, второй – 20 %. Вероятность выхода кабеля из строя в течение времени t в номинальном режиме равна 0,1; во втором – 0,7. Найти:

- 1) Вероятность выхода кабеля из строя в течение времени t ;
- 2) Кабель вышел из строя. Какова вероятность того, что он вышел из строя, работая в первом режиме?

Контрольные вопросы

1. Что понимается в теории вероятностей под определением «Событие. Вероятность события»?
2. Какие события образуют полную группу событий?
3. Дайте определение несовместным и равновозможным событиям.
4. Как определяется частота, или статистическая вероятность, события и ее связь с вероятностью события?
5. Чем отличаются понятия случайной величины и события?
6. Какие основные теоремы теории вероятностей используются в расчетах надежности систем электроснабжения, и каково их назначение?
7. Что называют суммой и произведением событий?
8. Как определяется вероятность суммы несовместных и равновозможных событий?

6 РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

Цель работы – Определить показатели надежности электроустановок

6.1 Расчет показателей надежности схем электроснабжения

В схеме электрической цепи требуется определить показатели надежности электроснабжения в расчетной ее точке. Выполняется это следующим образом. 1. Технологическая схема электрических соединений представляется схемой замещения по надежности. При этом следует учитывать режим работы системы, действия УРЗА и КА при отказах, пропускную способность элементов в послеаварийных режимах. Необходимо ограничивать объем решаемой задачи. Если снизу схема ограничивается расчетной точкой - выходом из системы, то сверху выделяются входы - источники питания. 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:

1) 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;

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

3) Схема замещения поэтапно эквивалентруется 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. Например, показатели надежности участка, имеющего линию и два выключателя на передающей и приемной подстанции (имеются в виду статические показатели надежности выключателей, а не показатели надежности их функционирования) рассчитываются по формулам для последовательно соединенных элементов:

$$\lambda_{уч} = 2\lambda_{В} + \lambda_{Л}^0 I_{Л}; \quad T_{Вуч} = \lambda_{уч}^{-1} (2\lambda_{В} T_{ВВ} + \lambda_{Л}^0 I_{Л} T_{ВЛ}),$$

где $\lambda_{В}$ - интенсивность отказов выключателя;

$\lambda_{\text{л}}^0$ - удельная интенсивность отказов линии;

$l_{\text{д}}$ - длина линии, км;

$T_{\text{ВВ}}$ - среднее время восстановления выключателя;

$T_{\text{ВЛ}}$ - среднее время восстановления линии.

Исключением являются двухцепные линии и кабели, проложенные в одной траншее. Их отказы нельзя полагать независимыми событиями, поскольку поломка двухцепной опоры ВЛ приводит к одновременному отказу обеих цепей, а два проложенных в одной траншее кабеля обычно повреждаются строительными механизмами при выполнении земляных работ одновременно.

Для учета одновременности отказов двухцепные линии или кабели в одной траншее на рисунке 6.1 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.

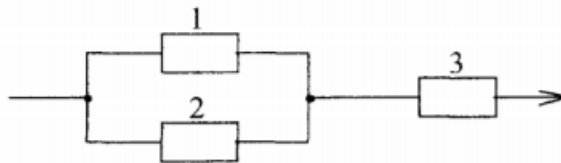


Рисунок 6.1- Система со смешанным соединением элементов

Показатели надежности шин распределительных устройств (узлов) также определяются расчетами. Рассмотрим надежность узла - секции шин распределительного устройства (рисунок 6.2).

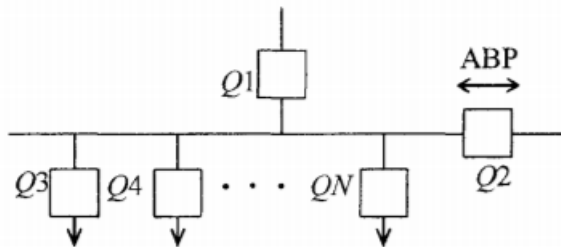


Рисунок 6.2 – Схема секции шин распределительного устройства

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 $N_{\text{ПР}}$:

$$\lambda_{\text{ш}} = \lambda_{\text{ш}}^0 N_{\text{ПР}},$$

где $\lambda_{\text{ш}}^0$ - интенсивность отказов одного присоединения;

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

$$\lambda = \sum_{i=1}^N \lambda_{Q_i},$$

где λ_{Qi} - интенсивность отказов ячейки РУ (выключателя);

N - число отходящих линий, включая трансформатор собственных нужд;

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

$$\lambda_{P3A} = \lambda_{\text{раб}}(q_{P3} + q_{\text{ABP}});$$

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

$$\lambda_{\text{отх}} = \sum_{i=1}^{n_{\text{л}}} \lambda_{\text{ли}} k_{\text{НИ}} q_{P3i},$$

где $n_{\text{л}}$ - число отходящих линий.

Схема замещения по надежности рассмотренного узла представлена на рисунке 6.3.



Рисунок 6.3 Схема замещения по надежности распределительного устройства

Расчет показателей надежности схем электроустановок (ЭУ) относится 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 их строя любого из элементов нерезервированной электроустановки или установки с ручным резервированием приводит к исчезновению напряжения на шинах РУ:

- в случае нерезервированной ЭУ - на время ремонта отказавшего элемента;

- для ЭУ, резервированных вручную, - на время подключения резервного питания.

Таким образом, схема замещения этих ЭУ представляет собой систему последовательно соединенных элементов.

6.2 Задание для проведения исследования

Определить показатели надежности на шинах 10 кВ понизительной подстанции 110/10 кВ (рисунок 6.4). Подстанция с закрытым РУ 10 кВ обслуживается без дежурного персонала и имеет четыре отходящие линии 10 кВ, общая длина которых l_{Σ} составляет 50 км. Длина питающей ВЛ 110 кВ

$l_{110} = 25$ км. Показатели надежности элементов приведены в таблицах 3.1 и 3.2.

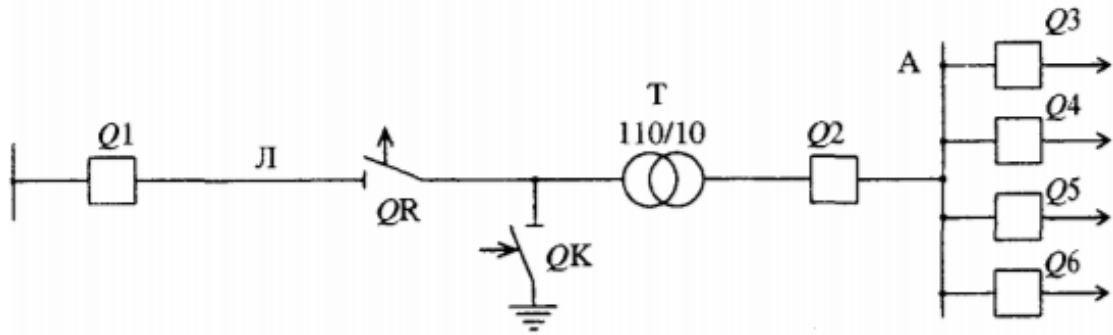


Рисунок 6.4 – Схема системы электроснабжения узла А

Для расчета показателей надежности СЭС использовать схему замещения последовательной структуры, приведенную на рисунке 6.5.

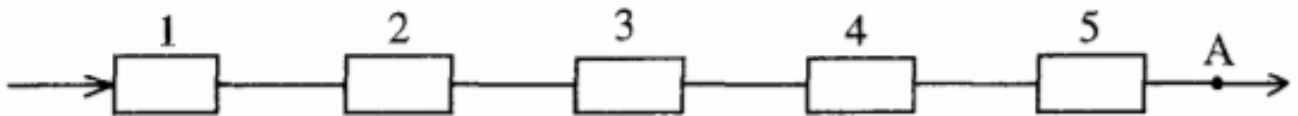


Рисунок 6.5 – Схема замещения по надежности

Порядок выполнения задания:

- определить показатели надежности элемента 1 (ВЛ110 кВ);
- определить показатели надежности элемента 2 (отделителя QR);
- определить показатели надежности элемента 3 (короткозамыкателя QK):
- определить показатели надежности элемента 4 (трансформатора 110/10 кВ с выключателем 10 кВ);
- определить показатели надежности элемента 5 (секция шин ЗРУ 10 кВ):
 - а) отказ шин секции (четыре присоединения - отходящие линии, одно - выключатель трансформатора 110/10 кВ, одно - трансформатор собственных нужд 10/0,4кВ);
 - б) отказ присоединения;
 - в) отказ в срабатывании РЗ отходящих ВЛ10 кВ;
 - г) итоговые показатели надежности элемента 5.

Примечание. При определении показателей надежности электроустановок с автоматическим вводом резерва следует учитывать вероятность выхода из строя резервного питания при простое рабочего питания. Поэтому схема замещения обычно представляет собой систему со смешанным (последовательно-параллельным) соединением элементов.

6.3 Контрольные вопросы

1. Как определяется вероятность произведения зависимых и независимых событий?
2. В чем заключается сущность формулы полной вероятности?
3. Какое назначение в теории вероятностей имеет теорема гипотез (формула Байеса) и как ею пользоваться?
4. Что понимают под законом распределения случайной величины и как они представляются для дискретных случайных величин?
5. Что такое функция распределения случайной величины и чем она отличается от закона распределения дискретных случайных величин?
6. Как определяется вероятность попадания случайной величины в заданный диапазон ее изменений с помощью функции распределения?
7. Что представляет собой плотность распределения случайной величины и как она определяется?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Анищенко В.А. Основы надежности систем электроснабжения: пособие по дисциплине «Надежность систем электроснабжения» / В.А. Анищенко, И.В. Колосова. – Минск.: БНТУ, 2007. -151 с.
2. Аполлонский С.М. : Надежность и эффективность электрических аппаратов: учеб. пособие / С. М. Аполлонский, Ю.В. Куклев. - Санкт-Петербург; Краснодар: Лань, 2011. - 448 с.
3. Малафеев С. И. Надежность технических систем. Примеры и задачи: учеб. пособие / С.И. Малафеев, А.И. Копейкин. - Санкт-Петербург: Лань, 2012. - 320 с.
4. Оценка надежности машин и оборудования: теория и практика: учебник / И. Н. Кравченко [и др.]; под ред. И. Н. Кравченко. - М.: Альфа-М: ИНФРА-М, 2012. - 336 с.
5. Алферова Т.В. Надежность электроснабжения потребителей агропромышленного комплекса: учеб. пособие / Т.В. Алферова, О.Ю. Пухальская, А.А. Алферов. – Гомель: ГГТУ им. П.О. Сухого, 2017. – 112 с.
6. Герасименко А.А. Передача и распределение электрической энергии: учеб. пособие/ А.А. Герасименко, В.Т. Федин. – Ростов-н/Д.: Феникс, Красноярск: Издательские проекты, 2009. – 720 с.
7. Киреева Э. А. Справочник энергетика предприятий, учреждений и организаций / Э. А. Киреева, Г. Ф. Быстрицкий. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Колос, 2010. - 804 с.
8. Курбацкий В.Г. Прикладные задачи теории вероятностей и случайных процессов /: учеб. пособие / В.Г. Курбацкий. – Благовещенск: Амурский государственный университет, 2013. – 192с.
9. Сафонов В.И. Надежность систем электроснабжения: учеб. пособие / В.И. Сафонов, П.В. Лонзингер – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2014. – 90 с.
10. Хорольский В. Я. Надежность электроснабжения: учеб. пособие / В. Я. Хорольский, М. А. Таранов. - СтГАУ. - Ставрополь: АГРУС, 2013. - 108 с.
11. Электроэнергетика: учебное пособие для студентов высш. учеб. заведений, обучающихся по направлению подготовки 140200 «Электроэнергетика» / Ю. В. Шаров [и др.]. - Москва: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2013. - 383 с.