

Таблица 5.3

№	п	т	l	r	№	Трефазная мостовая схема					
						п	т	l	r	п	r
1	7	4	3	2	16	7	6	3	3	3	
2	8	5	3	2	17	6	5	3	3	2	
3	6	4	2	2	18	7	5	3	3	2	
4	7	5	2	2	19	9	5	2	2	2	
5	6	5	3	2	20	8	6	2	2	3	
6	7	6	3	2	21	6	5	2	2	2	
7	8	5	3	2	22	5	4	3	1	1	
8	9	5	3	2	23	7	4	2	2	3	
9	6	5	2	2	24	7	5	2	2	2	
10	5	6	2	2	25	8	5	2	2	2	
11	6	4	3	3	26	9	6	3	3	3	
12	7	5	3	3	27	6	4	3	3	3	
13	8	4	2	3	28	5	5	3	2	2	
14	6	5	2	3	29	7	4	3	2	2	
15	7	5	3	3	30	8	5	2	2	3	

Двухполюсная схема

1	7	4	3	2	16	6	5	2	2	2
2	8	5	3	2	17	5	4	3	3	2
3	6	4	2	2	18	7	4	2	2	3
4	7	5	2	2	19	7	5	2	2	2
5	7	4	3	2	20	8	5	2	2	2
6	8	5	3	2	21	6	5	3	2	2
7	6	4	2	2	22	7	5	3	2	2
8	7	5	2	2	23	9	5	2	2	2
9	6	4	3	3	24	8	6	3	3	3
10	5	5	2	2	25	7	5	2	2	2
11	6	4	3	3	26	9	6	3	3	3
12	7	5	3	3	27	6	4	3	3	3
13	8	4	2	3	28	5	5	3	2	2
14	6	5	2	3	29	7	4	3	2	2
15	7	4	3	2	30	8	5	2	2	2

6. Определение вероятности безотказной работы системы электроснабжения

Определить вероятность безотказной работы системы электроснабжения от вводов 110–220 кВ до электроподстанции или электроподвижного состава, получающего энергию от шин тяговой

подстанции по заданной схеме. Электроподстанции постоянного тока подключаются к линиям через трехфазный мостовой выпрямитель. Данные об интенсивности отказов элементов системы приведены в табл. 6.1, варианты задания с указанием номера схемы в табл. 6.2, схемы в приложении 1.

Таблица 6.1
Интенсивности отказов элементов системы электроснабжения λ , 1/год

Уровень напряжения, кВ	220	110	20-35	6-10	3,3	0,4
Вводы В	0	0	0,01	0,01		
Трансформаторы (Т, ТОН), 1 шт.	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Воздушная линия ВЛ на 1 км		0,011	0,011	0,04		0,095
Кабельные линии на 1 км		0,001	0,08	0,078		0,1
Масляные выключатели (Q), 1 шт.		0,06	0,02	0,02		
Быстродействующие выключатели, (Q), 1 шт.					0,01	
Разъединители (QD), 1 шт.		0,008	0,008	0,008	0,008	0,01
Контактная сеть переменного тока на 1 км			0,0112			
Контактная сеть постоянного тока на 1 км					0,009	

Данные о вероятности безотказной работы выпрямителя берутся из пункта 5 (табл. 5.1), о вероятности безотказной работы устройств защиты (БЗ) из пункта 4, о вероятности безотказной работы масляных выключателей на напряжение 6–10 кВ из пункта 1 (табл. 1.2) как средние величины.

$$P = e^{-\lambda t},$$

где t – расчетное время, $t = 1$ год.

Для воздушных и кабельных линий

$$P = e^{-\lambda \cdot l \cdot t},$$

где l – длина линии, км.

Таблица 6.2

Варианты задания

№ вар.	Номер схемы	Номер ЭПС	l_1 , км	l_2 , км	l_3 , км	l_4 , км	l_5 , км	Напряжения вводов, кВ		
								V_1	V_2	V_3
1	1	-	30	30	0,8	60	-	110	-	-
2	4	-	35	25	0,25	24	36	110	-	-
3	2	-	5	45	0,2	-	-	220	-	-
4	7	1	14	12	15	13	-	110	-	-
5	5	4	10	15	12	13	-	220	-	-
6	11	1	7	4	8	4	-	35	-	-
7	3	-	40	20	0,5	0,4	8	220	10	10
8	13	1	5,5	7	8	4	-	110	-	-
9	4	-	30	20	0,6	25	25	220	-	-
10	9	-	10	15	0,7	12	-	35	35	35
11	6	1	18	12	15	15	-	110	-	-
12	1	-	45	15	0,7	60	-	220	-	-
13	11	2	5	6	4	6	-	110	-	-
14	15	-	8	22	0,8	10	-	35	10	10
15	2	-	15	35	0,4	-	-	110	-	-
16	14	1	5	6	6	6	-	110	-	-
17	9	-	15	16	0,6	3	-	220	0,4	0,4
18	3	-	35	15	0,6	0,3	10	110	35	35
19	7	2	12	13	14	16	-	220	-	-
20	10	1	6	5	7	4	-	35	-	-
21	12	1	6	6	7	5	-	220	-	-
22	1	-	55	5	0,6	60	-	110	-	-
23	11	3	6	3	5	5	-	220	-	-
24	5	2	12	18	15	15	-	110	-	-
25	2	-	17	31	0,12	-	-	220	-	-
26	13	2	6	7	5,5	6,5	-	220	-	-
27	8	1	17	16	15	15	-	110	-	-
28	7	3	15	15	12	17	-	110	-	-
29	17	-	30	15	0,7	-	-	220	35	35
30	9	-	15	17	0,3	11	-	110	10	10
31	5	3	14	14	13	15	-	220	-	-
32	12	2	7	4	6	6	-	35	-	-
33	10	2	5	5	6	4	-	110	-	-
34	3	-	30	25	0,8	0,5	12	220	-	-
35	14	2	5	6	7	5	-	35	-	-
36	6	2	13	13	14	12	-	220	-	-
37	10	3	4	6	5	6	-	35	-	-
38	15	-	9	25	0,9	12	-	110	35	35

Таблица 5.2

Элемент	Днод	Цепочка	Плечо	Выпрямительный блок	Выпрямитель	
					$P = 1 - Q_3$	$P^B = 1 - Q_3^B$
Вероятность замыкания	$Q_3 = \lambda_3 t$	$Q_{3n} = 1 - P_{3n}$	$Q_{3n} = 1 - P_{3n}$	$Q_{36n} = 1 - P_{36n}$	$Q^B = Q_{36n} + Q_{06n} - Q_{36n} \cdot Q_{06n}$	
Вероятность надёжной работы по замыканию	$P_3 = 1 - Q_3$	$P_{3n} = \sum_{i=1}^n C_i^i Q_i^i P_i^{n-i}$	$P_{3n} = P_{3n}$	$P_{36n} = P_{36n}$	$P^B = 1 - Q^B$	
Вероятность отказа по обрыву	$Q_0 = \lambda_0 t$	$Q_{0n} = 1 - P_{0n}$	$Q_{0n} = 1 - P_{0n}$	$Q_{06n} = 1 - P_{06n}$		
Вероятность надёжной работы по обрыву	$P_0 = 1 - Q_0$	$P_{0n} = \sum_{i=1}^n C_i^i Q_i^i P_i^{n-i}$	$P_{0n} = \sum_{i=1}^n C_i^i Q_i^i P_i^{n-i}$	$P_{06n} = P_{06n}$		
Схема						

5. Расчет вероятности безотказной работы выпрямительного агрегата

Определить вероятность безотказной работы выпрямительного агрегата с учетом двух видов отказов диодов: обрыв и короткое замыкание. Каждое плечо выпрямителя имеет m цепочек с n последовательно соединенными диодами. Число резервных диодов в цепочке равно l , а число резервных цепочек равно r .

Интенсивность отказов диодов $\lambda = 0,61 \cdot 10^{-6} 1/ч$, причем 80% отказов диодов происходит по замыканию, 20 % по обрыву. Следовательно:

интенсивность отказов диодов по обрыву $\lambda_o = 0,2\lambda$;

интенсивность отказов диодов по замыканию $\lambda_z = 0,8\lambda$

Время работы $t = 8760$ часов (1 год).

Исходные данные приведены в табл. 5.3

Расчетные формулы приведены в табл. 5.2. Результаты расчетов заносятся в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Результаты расчетов

Элемент	Q по замыканию	P по замыканию	Q по обрыву	P по обрыву
Диод				
Цепочка				
Плечо				
Выпрямит. блок				
Выпрямитель	Q=			P=

$$\text{В табл. 5.2 } C_m^i = \frac{m!}{i!(m-i)!}$$

Продолжение табл. 6.2.1

№ вар. схемы	Номер ЭПС	l_1 , км	l_2 , км	l_3 , км	l_4 , км	l_5 , км	Напряжение вводов, кВ	
							V_1, V_2	V_3
39	8	2	16	15	14	17	—	—
40	13	3	5	7	8	5	—	—
41	5	1	12	18	16	14	—	—
42	10	4	6	5	4	8	—	—
43	6	4	14	16	12	18	—	—
44	12	4	6	4	5	7	—	—
45	16	—	20	5	0,3	7	—	—
46	4	—	25	25	15	35	0,7	—
47	17	—	20	15	0,7	—	—	—
48	16	—	22	8	0,4	10	—	—
49	14	4	7	5	6	5	—	—
50	11	4	6	4	9	3	—	—
51	8	3	16	13	19	12	—	—
52	1	—	25	35	0,25	60	—	—
53	9	—	20	22	0,21	4	—	—
54	5	4	14	13	16	12	—	—
55	11	3	7	4	5	5	—	—
56	14	4	6	5	7	7	—	—
57	2	—	15	26	0,12	—	—	—
58	17	—	25	14	0,8	—	—	—
59	15	—	15	38	0,1	15	—	—
60	12	4	6	7	5	6	—	—
61	16	—	50	20	0,6	22	—	—
62	1	—	15	40	0,3	55	—	—
63	13	1	6	6	5	7	—	—
64	6	2	14	11	13	14	—	—
65	10	1	8	3	5	7	—	—
66	4	—	18	23	0,1	21	20	—
67	1	—	22	20	0,2	42	—	—
68	9	—	18	25	0,18	15	—	—
69	7	1	12	16	11	15	—	—
70	3	—	20	18	0,7	0,2	25	—
71	2	—	35	15	0,25	—	—	—
72	9	—	30	20	0,22	15	—	—
73	11	2	6	5	7	5	—	—
74	3	—	30	20	0,18	0,15	21	—
75	14	2	8	4	6	6	—	—
76	8	2	9	18	15	14	—	—
77	13	2	5	7	6	7	—	—
78	1	—	23	27	0,23	50	—	—

Продолжение табл. 6.2.2

№ вар.	Номер схемы ЭПС	l ₁ , км	l ₂ , км	l ₃ , км	l ₄ , км	l ₅ , км	Напряжение вводов, кВ		
							V ₁	V ₂	V ₃
79	10	3	5	4	5	-	35	-	-
80	7	3	15	10	11	16	-	220	-
81	4	-	25	25	0,3	20	30	220	-
82	6	4	10	16	15	12	-	110	-
83	12	1	8	4	7	3	-	110	-
84	16	-	45	15	0,4	18	-	35	-
85	2	-	27	38	0,2	-	-	220	-
86	15	-	15	40	0,3	25	-	35	35
87	5	1	12	14	15	11	-	220	-
88	17	-	30	2	0,2	-	-	110	0,4
89	8	3	11	16	14	13	-	220	-
90	3	-	25	25	0,12	0,3	20	220	35

Библиографический список

- Сердинов С.М. Повышение надежности устройств электроснабжения электрифицированных железных дорог.- М.: "Транспорт", 1985.- 300 с.
- Гук Ю.Б. Теория надежности в электроэнергетике.- М.: Энергоатомиздат, 1990.- 208 с.
- Китушин В.Г. Надежность энергетических систем. - М.: «Высшая школа», 1984.- 256с.
- Половко А.М. Сборник задач по теории надежности- М.: «Советское радио», 1972.- 407с.
- Справочник по электроснабжению железных дорог Т1/Под ред. К.Г.Марквардта.-М.:Транспорт,1980.- 256 с.
- Справочник по электроснабжению железных дорог Т2/Под ред. К.Г.Марквардта.-М.: Транспорт,1981.- 392 с.
- Венцель Е.С. Теория вероятностей. -М.: Государственное издательство физико-математической литературы,1962.-564 с.

Таблица 4.2

Варианты заданий

№ вар.	Транзистор Число элементов/ загрузка	Резистор Число/ загрузка	Диод Число/ загрузка	Конденсатор Число/ загрузка	Трансформатор Число/ загрузка	Температура окр. среды	Время работы за сутки
1.	20/0,4	50/0,6	22/0,6	14/0,7	3/0,3	20	20
2.	23/0,3	52/0,7	21/0,6	13/0,4	3/0,5	30	20
3.	23/0,4	54/0,4	20/0,5	12/0,6	3/0,6	40	20
4.	25/0,3	56/0,3	19/0,4	11/0,2	3/0,5	50	19
5.	23/0,4	58/0,6	18/0,6	10/0,7	3/0,3	20	18
6.	20/0,3	60/0,7	17/0,6	9/0,4	3/0,5	30	22
7.	20/0,3	62/0,7	16/0,6	8/0,4	3/0,5	30	21
8.	26/0,4	64/0,4	15/0,5	9/0,6	3/0,6	40	20
9.	24/0,3	66/0,3	14/0,4	10/0,2	3/0,5	50	20
10.	23/0,4	65/0,6	15/0,6	11/0,7	3/0,3	20	20
11.	20/0,3	64/0,7	16/0,6	12/0,4	3/0,5	30	19
12.	20/0,4	63/0,6	17/0,6	13/0,7	3/0,3	20	18
13.	20/0,3	62/0,7	18/0,6	14/0,4	3/0,5	30	22
14.	27/0,3	61/0,7	19/0,6	15/0,4	3/0,5	30	21
15.	24/0,4	60/0,4	20/0,5	16/0,6	3/0,6	40	20
16.	23/0,3	59/0,3	21/0,4	17/0,2	3/0,5	50	20
17.	20/0,4	58/0,6	21/0,4	18/0,7	3/0,3	20	20
18.	24/0,3	57/0,7	22/0,6	19/0,4	2/0,5	30	19
19.	23/0,4	56/0,6	23/0,6	20/0,7	2/0,3	20	18
20.	20/0,3	55/0,7	24/0,6	21/0,4	2/0,5	30	22
21.	20/0,3	54/0,7	24/0,6	22/0,4	2/0,5	30	21
22.	27/0,4	53/0,4	25/0,6	23/0,6	2/0,6	40	20
23.	24/0,3	52/0,3	26/0,5	24/0,2	2/0,5	50	20
24.	23/0,4	51/0,6	27/0,4	25/0,7	2/0,3	20	20
25.	20/0,3	50/0,7	28/0,6	26/0,4	2/0,5	30	19
26.	26/0,4	53/0,4	29/0,6	27/0,6	2/0,6	40	18
27.	23/0,3	57/0,3	30/0,5	28/0,2	2/0,5	50	22
28.	24/0,4	60/0,6	29/0,4	29/0,7	2/0,3	20	21
29.	23/0,3	63/0,7	28/0,6	30/0,4	2/0,5	30	22
30.	24/0,4	66/0,6	27/0,6	29/0,7	2/0,3	20	21

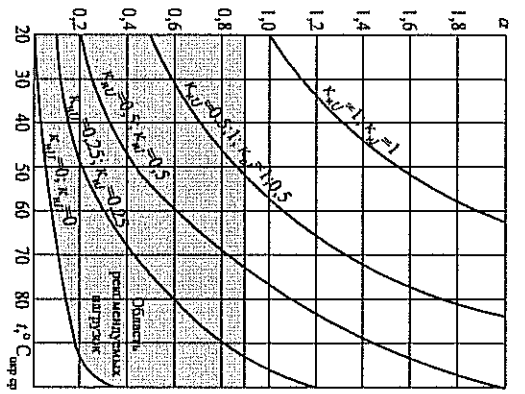


Рис. 4.4. Зависимость α от t и K_n для плоскостных кремниевых диодов

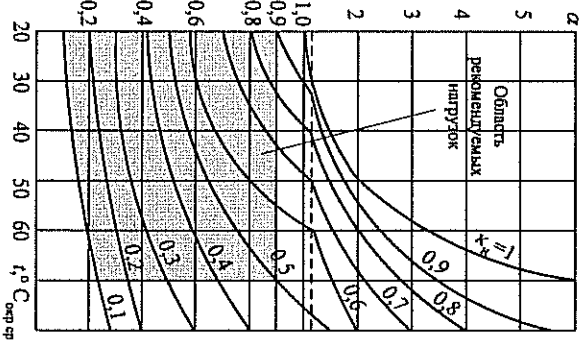


Рис. 4.5. Зависимость α от t и K_n для конденсаторов с металлообъемной изоляцией типов МЕМ, БМТ, БМ, КБТ

ПРИЛОЖЕНИЕ

Расчетные схемы систем электрооборудования

Схема 1

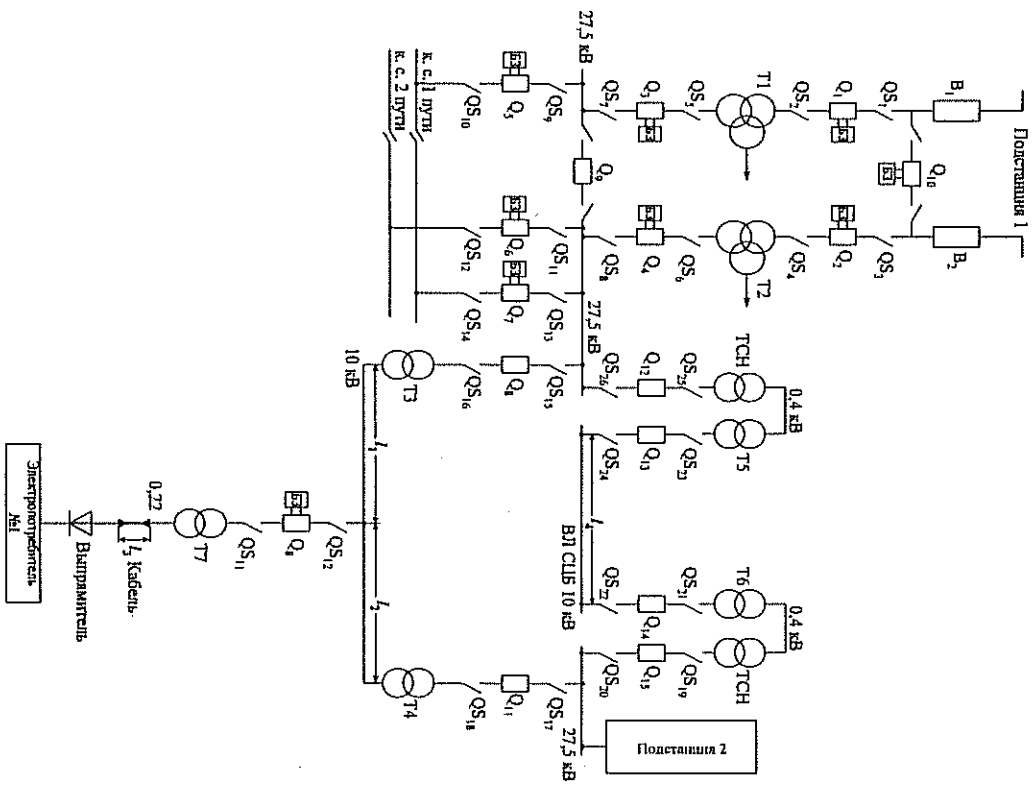


Схема 2

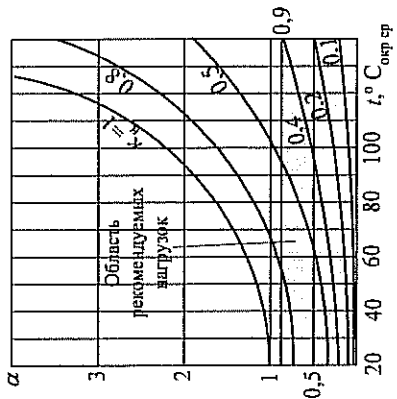
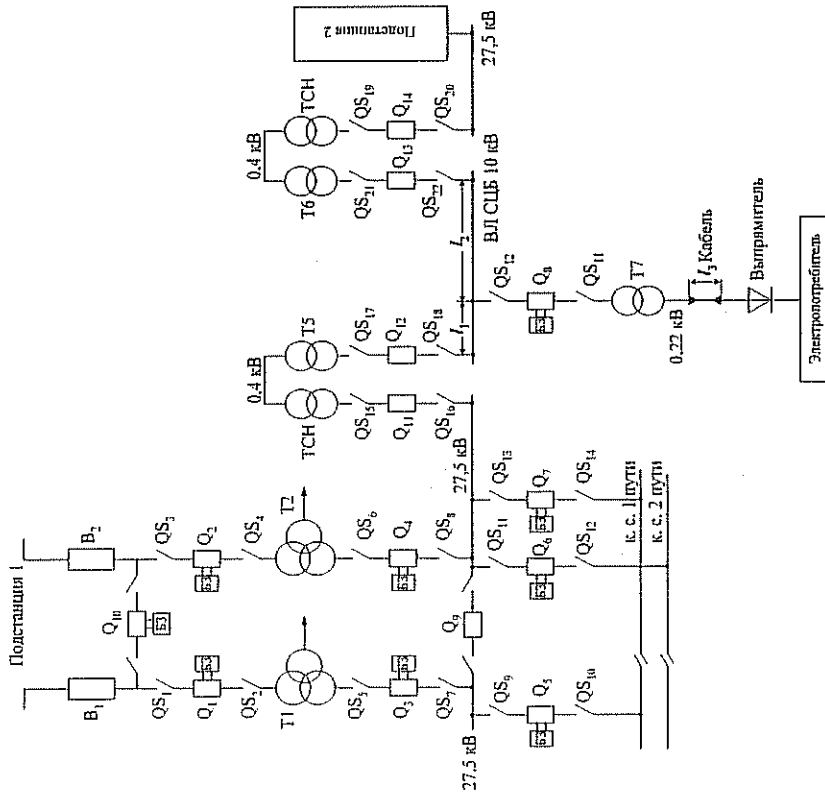


Рис. 4.2 Зависимость α от I и t для кремниевых транзисторов

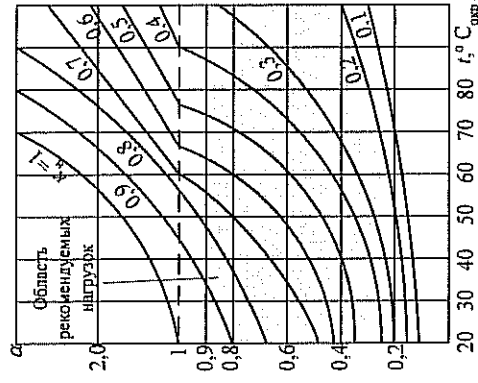


Рис. 4.3. Зависимость α от I и t для резисторов типа МЛТ и ОмЛТ

Поправочный коэффициент α определяется из диаграмм рис. 4.2 — 4.5 в зависимости от температуры окружающей среды $t^{\circ}C$ и коэффициента нагрузки K_n , для трансформаторов принимается $\alpha = 1$.
 Интенсивность отказов при реальной нагрузке λ_p определяется по формуле

$$\lambda_p = \lambda_{ном} \cdot \alpha.$$

Для расчета надежности принимается последовательная схема замещения (рис. 4.1), т.е. при отказе одного элемента вся система выключит из строя. Отказом может быть — изменение параметров сопротивления, емкости любого элемента за допустимые границы, ухудшение контактов в местах паяк и изменения в связи с этим общих сопротивлений и т.д.

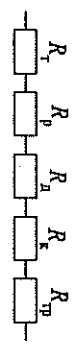


Рис. 4.1. Расчетная схема замещения

Интенсивность отказов системы λ_c

$$\lambda_c = \sum_{j=1}^{k_i} (\lambda_{pi} \cdot n_j),$$

где n_j — количество элементов каждого типа (резисторов, диодов, конденсаторов и т.д.);
 λ_{pi} — интенсивность отказов при реальной нагрузке каждого типа элементов;
 j — порядковый номер типа элементов;
 k_i — количество типов элементов, входящих в систему.
 Вероятность безотказной работы блока защиты

$$P_c = e^{-\lambda_c \cdot t}$$

где t — время работы за сутки, ч.
 Время безотказной работы системы

$$T_c = \frac{1}{\lambda_c}.$$

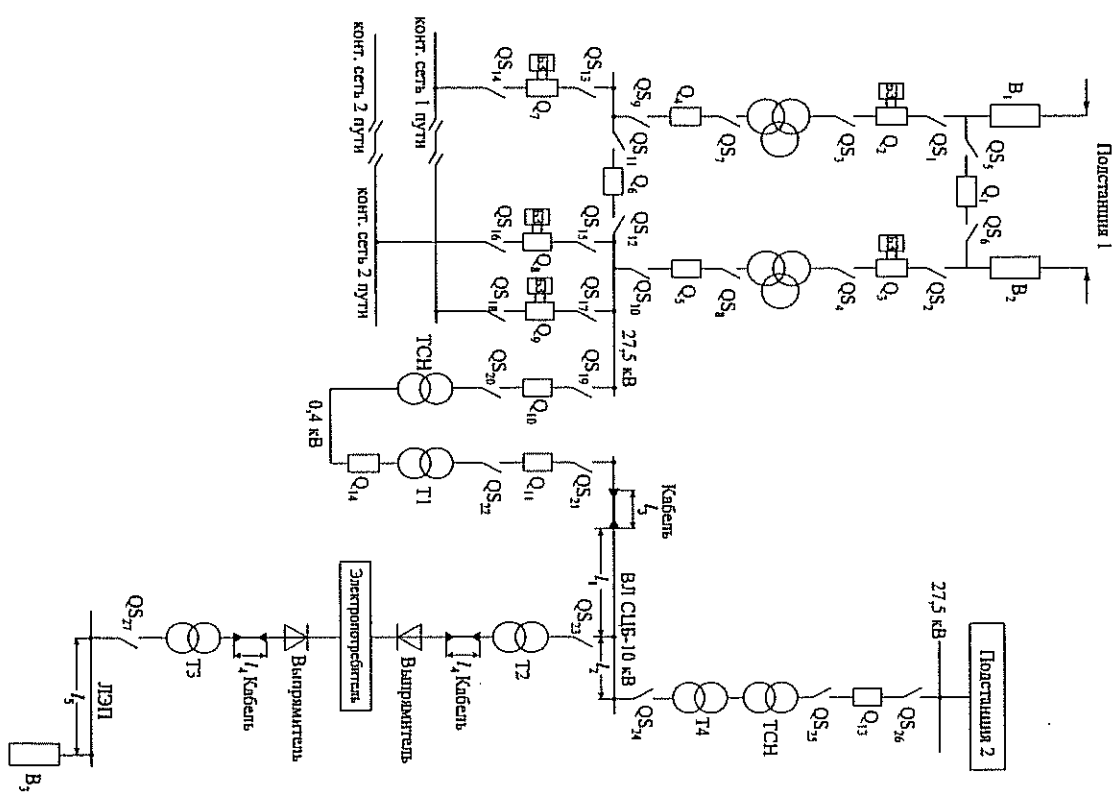


Схема 3

Схема 4

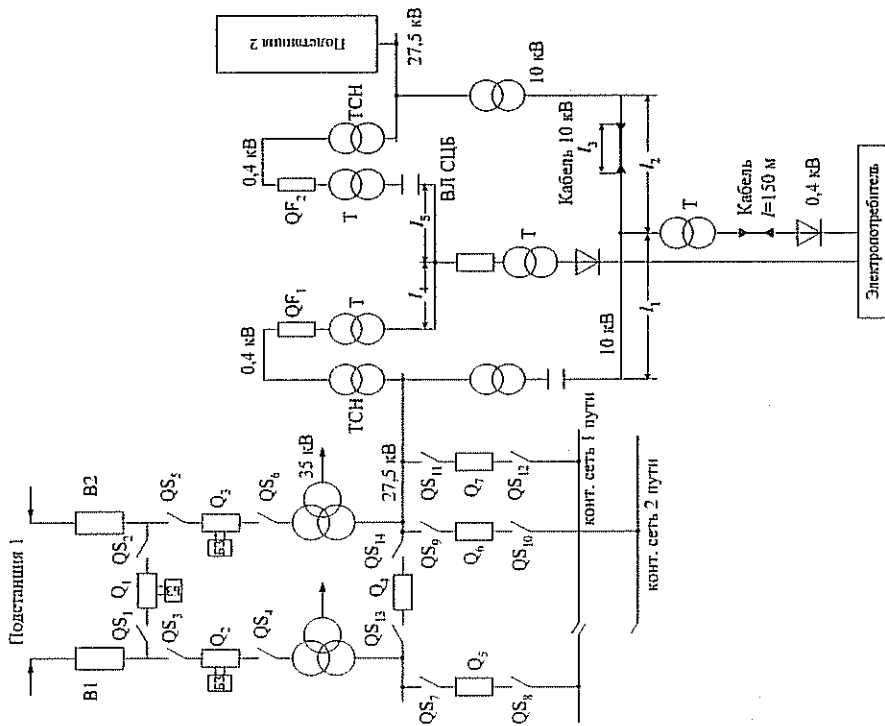


Таблица 3.2

Значения функционала Лапласа

$x = \Phi^{-1}(\beta)$	$\Phi(x) = \beta$	$x = \Phi^{-1}(\beta)$	$\Phi(x) = \beta$	$x = \Phi^{-1}(\beta)$	$\Phi(x) = \beta$
0	0	0,95	0,8209	1,9	0,9928
0,05	0,0564	1	0,8427	1,95	0,9942
0,1	0,1125	1,05	0,8624	2	0,9942
0,15	0,168	1,1	0,8802	2,05	0,9953
0,2	0,2227	1,15	0,8961	2,1	0,9963
0,25	0,2763	1,2	0,9103	2,15	0,9970
0,3	0,3286	1,25	0,9229	2,2	0,9976
0,35	0,3794	1,3	0,934	2,25	0,9981
0,4	0,4284	1,35	0,9438	2,3	0,9985
0,45	0,4755	1,4	0,9523	2,35	0,9988
0,5	0,5205	1,45	0,9597	2,4	0,9991
0,55	0,5633	1,5	0,9661	2,45	0,9993
0,6	0,6039	1,55	0,9716	2,5	0,9995
0,65	0,642	1,6	0,9736	2,55	0,9996
0,7	0,6778	1,65	0,9804	2,6	0,9997
0,75	0,7112	1,7	0,9838	2,65	0,9998
0,8	0,7421	1,75	0,9876	2,7	0,9998
0,85	0,7707	1,8	0,9891	2,75	0,9999
0,9	0,7969	1,85	0,9911	2,8	0,9999
0,95	0,8209	1,9	0,9998	3	1

4. Расчет вероятности безотказной работы блока защиты

Расчитать вероятность безотказной работы и срок службы блока защиты с учетом реальной загрузки элементов, если известны параметры надежности его элементов с учетом температуры окружающей среды.

Количество элементов, их типы и технические данные по вариантам приведены в таблицах 4.1 и 4.2. Зависимости увеличения частоты отказов от загрузки элементов показаны на рис. 4.2 – 4.5.

Таблица 4.1

Элементы блока защиты

Наименование элемента	Тип	Кол-во загрузки	Коеф. загрузки, $k_{н}$	Поправочный коэф-т, α	Интенсивность отказов, 1/ч	
					при номинальной нагрузке, $\lambda_{ном}$	при реальной нагрузке, λ_p
Транзистор	КТ				$0,5 \cdot 10^{-6}$	
Резистор	МЛТ				$0,005 \cdot 10^{-6}$	
Диод	ИД				$0,056 \cdot 10^{-6}$	
Конденсатор	МБМ				$0,025 \cdot 10^{-6}$	
Трансформатор		1			$0,009 \cdot 10^{-6}$	

$$\sigma = \sqrt{\frac{D\tilde{\lambda}}{k}}$$

5. По табл. 3.1 для заданного варианта определяется величина β .
6. Определяется отклонение ε :

$$\varepsilon = \sqrt{2} \cdot \sigma \cdot \Phi^{-1}[\beta],$$

где β – доверительная вероятность.

Для определения ε необходимо знать функцию, обратную функции Лапласа, $\Phi^{-1}[\beta] = x$, т.е. аргумент по значению функции. Функция Лапласа в зависимости от значений аргумента задана в табл. 3.2.

7. Определяются нижняя и верхняя доверительные границы доверительного интервала

$$I_g = \tilde{\lambda} + \varepsilon; I_n = \tilde{\lambda} - \varepsilon.$$

8. Аналогично определяются доверительные интервалы для числовых оценок параметра $P(t)$, $Q(t)$, $\lambda(t)$.

9. Полученные границы наносятся на графики, построенные в пункте 1.

Значения доверительной вероятности β

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Значение доверительной вероятности β	0,8	0,82	0,81	0,83	0,85	0,87	0,9	0,92	0,93	0,95
Номер варианта	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Значение доверительной вероятности β	0,9	0,92	0,93	0,95	0,9	0,91	0,93	0,95	0,92	0,93
Номер варианта	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Значение доверительной вероятности β	0,87	0,86	0,8	0,82	0,81	0,83	0,91	0,9	0,92	0,95

Схема 5

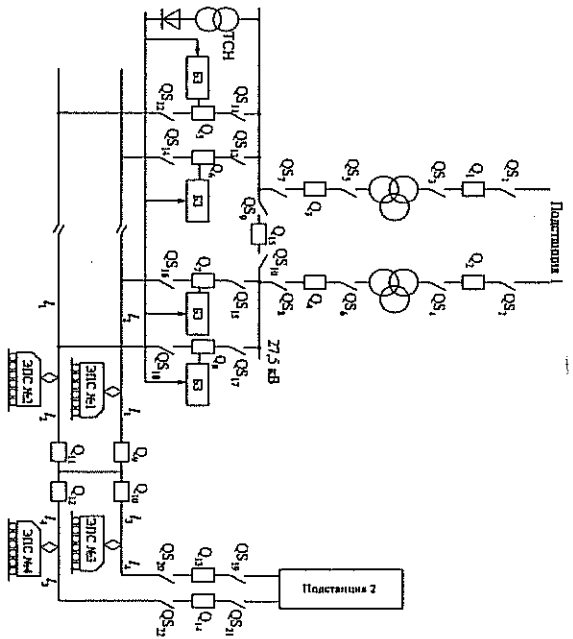


Схема 6

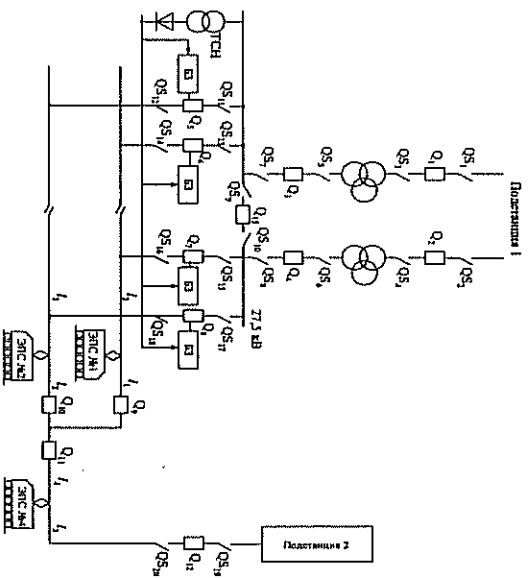


Схема 7

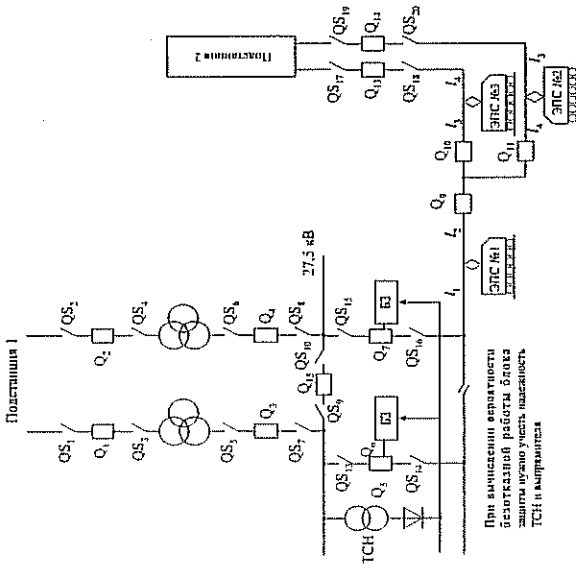
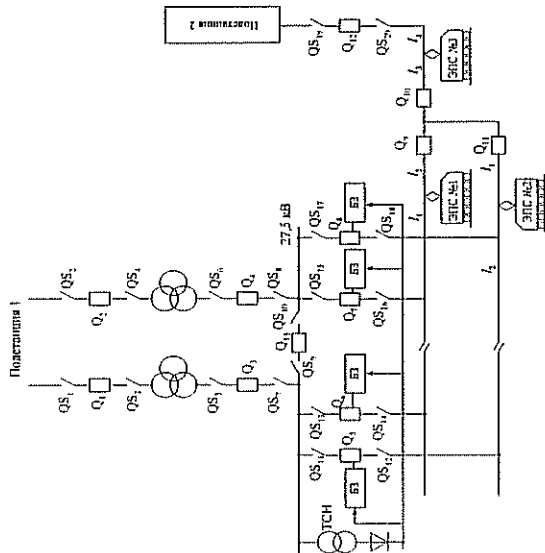


Схема 8



3. Определение доверительных интервалов для числовых оценок параметров надежности $P(t)$, $Q(t)$, $f(t)$, $\lambda(t)$

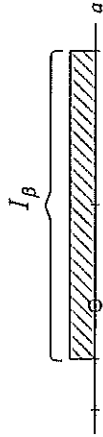
Для оценок параметров надежности $P(t)$, $Q(t)$, $f(t)$, $\lambda(t)$, рассчитанных в задании № 1, вычислить и построить доверительные интервалы для заданной доверительной вероятности. Исходные данные берутся из табл. 3.1, 3.2 и задачи 1, интервалы наносятся на графики, построенные в первой задаче.

Любое значение искомого параметра, вычисленное на основе ограниченного числа опытов, всегда будет содержать элемент случайности. Такое приближенное значение называется *оценкой* параметра.

\tilde{a} – оценка (среднее значение) для параметра a ; $\tilde{a} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k a_i$.

Чтобы дать представление о точности и надежности оценки \tilde{a} пользуются доверительным интервалом и доверительными вероятностями.

Доверительная вероятность β – это вероятность того, что случайный интервал I_β накроет параметр a .



I_β – доверительный интервал. $I_\beta = [\tilde{a} - \epsilon; \tilde{a} + \epsilon]$.

Методические указания

1. Вычисляется оценка $\tilde{\lambda}$ (среднее значение):

$$\tilde{\lambda} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \lambda_i,$$

где k – число значений случайной величины λ , $k=10$.

2. Определяется несмещенная оценка $D[\tilde{\lambda}]$ (дисперсия, вычисленная по опытным данным):

$$D[\tilde{\lambda}] = \frac{1}{k-1} \left[\sum_{i=1}^k (\lambda_i - \tilde{\lambda})^2 \right].$$

3. Дисперсия выборочной средней величины

$$D[\tilde{\lambda}] = \frac{D[\lambda]}{k}.$$

4. Определяется оценка σ (среднеквадратичное отклонение):

Результаты вычислений заносятся в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Результаты расчетов параметров надежности при экспоненциальном законе распределения

	t	$F(t)$	$P(t)$	$Q(t)$
1	0			
2	0,5T			
3	T			
4	2T			
5	3T			

Таблица 2.3

Варианты задания

№ варианта	Нормальный закон распределения		№ варианта	Нормальный закон распределения	
	Среднеквадратическое отклонение σ , год			Среднеквадратическое отклонение σ , год	
1	0,12		16	0,89	
2	0,18		17	0,92	
3	0,21		18	0,98	
4	0,28		19	1,12	
5	0,35		20	1,15	
6	0,39		(21)	1,18	
7	0,43		22	1,24	
8	0,48		23	1,31	
9	0,51		24	1,38	
10	0,57		25	1,45	
11	0,6		26	1,56	
12	0,68		27	1,67	
13	0,72		28	1,73	
14	0,76		29	1,84	
15	0,81		30	1,95	

Таблица 2.4

Значения приведенной функции Лапласа

x	$\Phi(x)$
-3	0
-2	0,0228
-1	0,1587
0	0,5
1	0,8413
2	0,9772
3	1

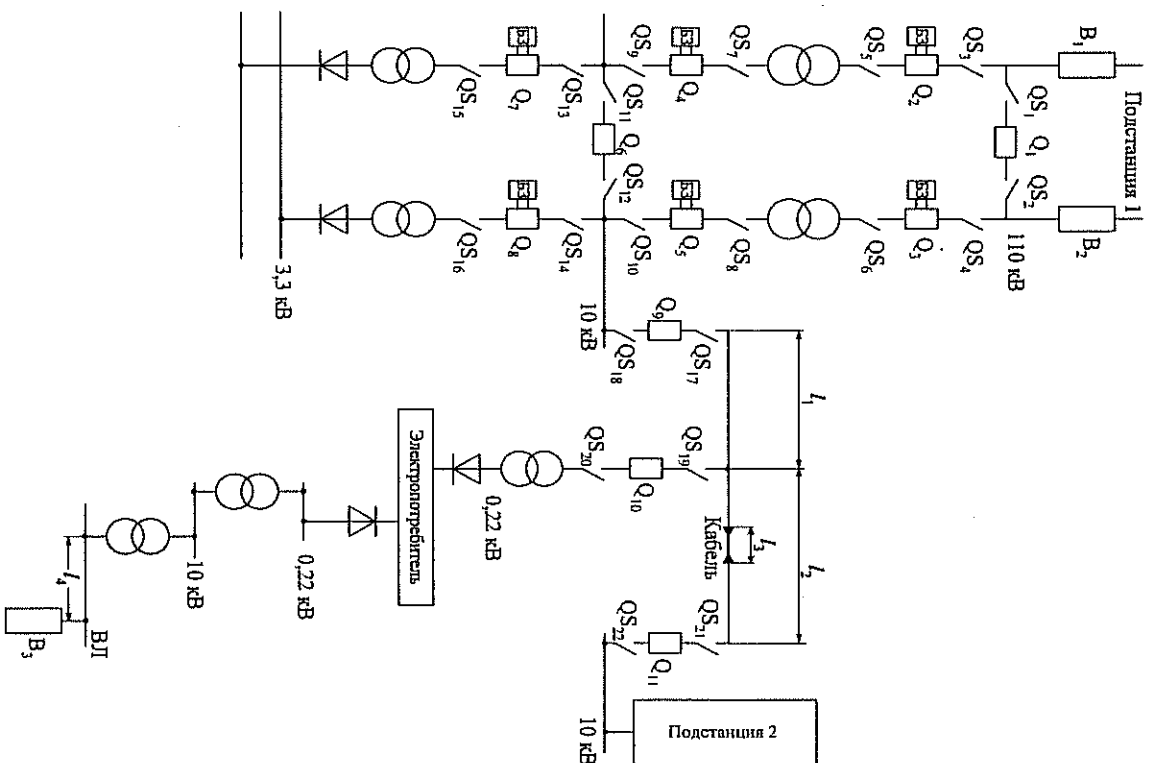


Схема 10

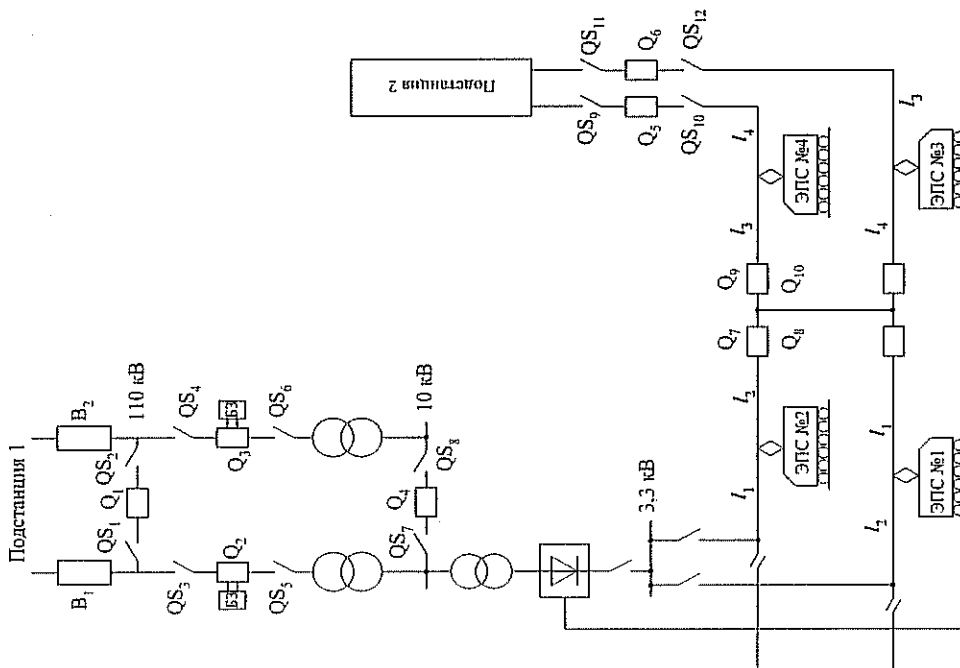


Таблица 2.1
Результаты вычислений параметров надежности при нормальном законе распределения

	t	$f(t)$	$P(t)$	$Q(t)$	$\lambda(t)$
1	$T-3\sigma$				
2	$T-2\sigma$				
3	$T-\sigma$				
4	T				
5	$T+1\sigma$				
6	$T+2\sigma$				
7	$T+3\sigma$				

Для экспоненциального закона распределения принимается интенсивность отказов $\lambda(t) = \lambda = const$, тогда вероятность безотказной работы равна

$$P(t) = e^{-\lambda t},$$

$$Q(t) = 1 - P(t),$$

$$f(t) = \frac{dQ(t)}{dt} = -\frac{dP(t)}{dt} = \frac{de^{-\lambda t}}{dt} = \lambda e^{-\lambda t}.$$

Зависимость числовых характеристик от времени при экспоненциальном законе распределения представлена на рис. 2.2.

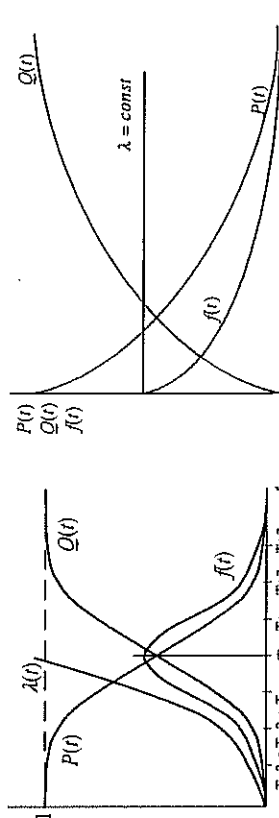


Рис. 2.1

Рис. 2.2

При расчетах интенсивность отказов λ берется как среднее значение, рассчитанное в задаче № 1, т.е.

$$\lambda = \frac{\sum_k \lambda_k(t)}{k}, \text{ где } k=10;$$

$$\lambda(t) = \lambda = const; T = \frac{1}{\lambda}; P(t) = e^{-\lambda t}; Q(t) = 1 - P(t); f(t) = \lambda \cdot P(t).$$

Значения рассчитанных параметров

Годы	Δt	$P(t)$	$Q(t)$	$N_{\text{сп}}$	$K(t)$	$\lambda(t)$	$t_{\text{сп}}$
1							
...							
10							

Таблица 1.2

2. Расчеты числовых характеристик времени безотказной работы элементов при экспоненциальном и нормальном законах распределения

Расчитать и построить функции $P(t)$, $Q(t)$, $\lambda(t)$, $f(t)$ для нормального и экспоненциального законов распределения. Данные для расчетов и построения берутся из задания № 1 и из табл. 2.3, 2.4.

Нормальный закон распределения является предельным законом для случайных величин. Нормальный закон в теории надежности используется для определения погрешностей. Для нормального закона задается функция плотности распределения времени безотказной работы

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-T_{\text{cp}})^2}{2\sigma^2}},$$

где σ – среднеквадратичное отклонение;

T_{cp} – среднее время безотказной работы элемента.

Вероятность отказа $Q(t) = \int_0^t f(t) dt$ определяется с помощью таблиц Лапласа.

Вероятность надежной работы $P(t) = 1 - Q(t)$.

Интенсивность отказов, рис. 2.1, $\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)}$.

Зависимость числовых характеристик от времени при нормальном законе распределения представлена на рис. 2.1

Среднее время безотказной работы элемента T_{cp} рассчитано в задаче № 1, и среднеквадратическое отклонение σ задается из табл. 2.3 по вариантам.

Результаты вычислений заносятся в табл. 2.1

Схема 11

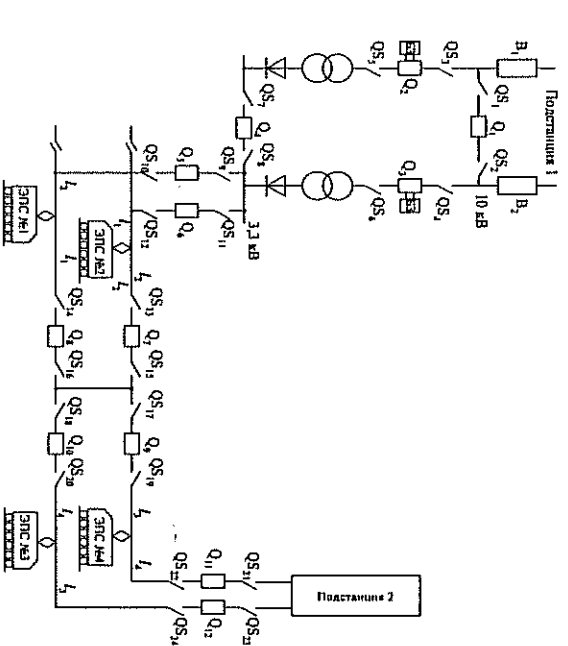


Схема 12

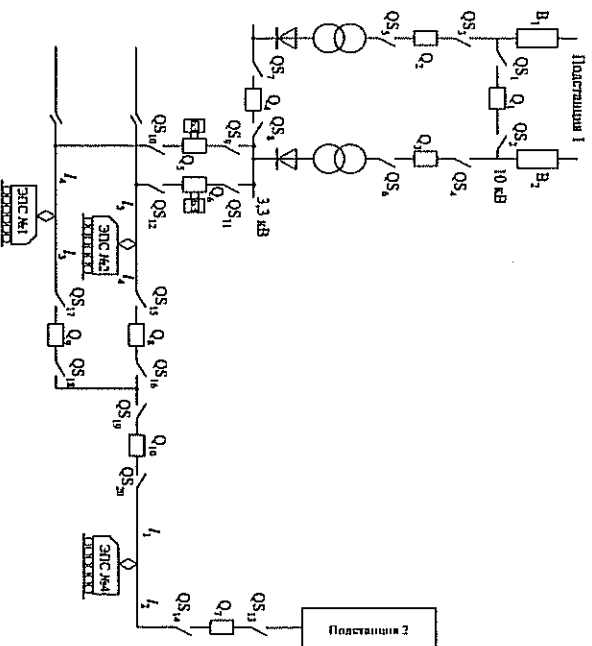


Схема 13

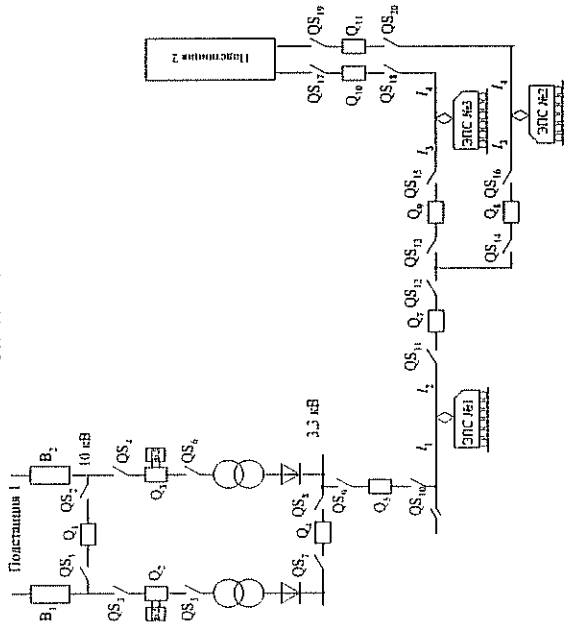
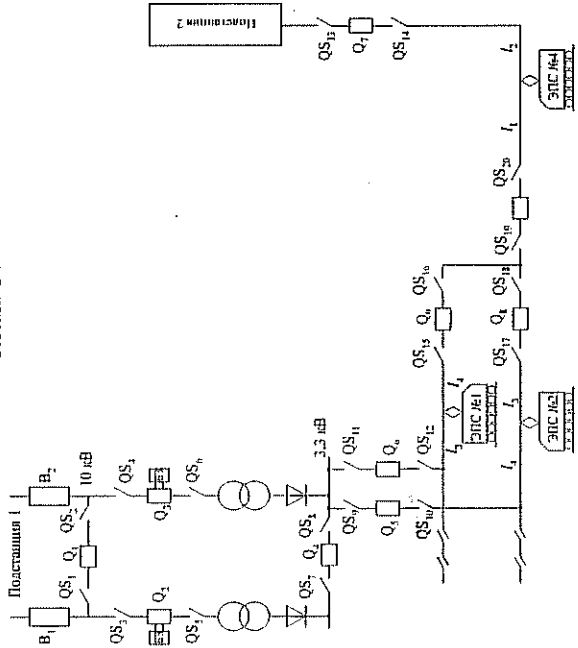


Схема 14



$$T_{cp} = \frac{\sum_i (\Delta t_i \cdot t_{cp})}{\sum_i \Delta t_i}$$

где t_{cp} – среднее время от начала отсчета до интервала времени, в котором отказали Δt_i элементов (напр. для первого года, $t_{cp} = 0,5$, для второго года $t_{cp} = 1,5$; для третьего года $t_{cp} = 2,5$).

Результаты расчетов сводятся в табл. 1.1

Таблица 1.1

№ варианта	N ₀	Варианты заданий									
		Число отказавших элементов Δt									
Годы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1.	110	16	14	11	9	8	9	7	8	10	12
2.	115	12	11	8	8	8	9	8	9	13	14
3.	200	24	23	21	16	15	14	19	19	21	21
4.	230	26	25	23	18	17	16	21	21	23	23
5.	90	10	10	9	6	6	7	6	7	11	12
6.	140	19	17	14	12	11	12	10	11	13	16
7.	160	20	19	17	12	11	10	15	15	17	17
8.	220	31	27	21	18	16	18	14	17	21	25
9.	180	19	19	17	12	12	14	12	15	23	25
10.	130	18	16	13	11	10	11	9	8	10	14
11.	115	16	14	11	9	8	9	7	8	10	12
12.	120	12	12	11	8	8	9	8	9	13	14
13.	210	24	23	21	16	15	14	19	19	21	21
14.	240	26	25	23	18	17	16	21	21	23	23
15.	100	10	10	9	6	6	7	6	7	11	12
16.	145	19	17	14	12	11	12	10	11	13	16
17.	170	20	19	17	12	11	10	15	15	17	17
18.	230	31	27	21	18	16	18	14	17	21	25
19.	190	19	19	17	12	12	14	12	15	23	25
20.	140	18	16	13	11	10	11	9	8	10	14
21.	120	16	14	11	9	8	9	7	8	10	12
22.	125	12	12	11	8	8	9	8	9	13	14
23.	205	24	23	21	16	15	14	19	19	21	21
24.	235	26	25	23	18	17	16	21	21	23	23
25.	95	10	10	9	6	6	7	6	7	11	12
26.	140	19	17	14	12	11	12	10	11	13	16
27.	165	20	19	17	12	11	10	15	15	17	17
28.	230	31	27	21	18	16	18	14	17	21	25
29.	185	19	19	17	12	12	14	12	15	23	25
30.	135	18	16	13	11	10	11	9	8	10	14

1. Расчет параметров надежности элементов системы электроснабжения

Определить параметры надежности нераемонтируемых N_0 элементов, находящихся в работе заданное количество лет (10 лет). Число отказавших элементов в каждый год работы Δn по вариантам приведено в табл. 1.1.

Определить вероятность безотказной работы элементов $P(t)$, вероятность отказа $Q(t)$, функцию плотности распределения вероятности безотказной работы $f(t)$, интенсивность отказов $\lambda(t)$ и вычислить среднее время безотказной работы элемента $T_{ср}$.

Построить эти величины в зависимости от времени t (на одном графике $P(t)$ и $Q(t)$, на втором $f(t)$, $\lambda(t)$). Расчеты свести в табл. 1.2.

Методические указания

Вероятность безотказной работы $P(t)$ – вероятность того, что рассматриваемый элемент (машинный выключатель) или система в заданный промежуток времени останется в рабочем состоянии.

$$P(t) = \frac{N_0 - \sum \Delta n_i}{N_0}$$

где N_0 – общее число нераемонтируемых элементов, установленных на испытание;

Δn_i – число отказавших элементов за год с порядковым номером i .

Вероятность отказа $Q(t)$ – вероятность того, что рассматриваемый элемент или система в заданный промежуток времени выйдет из строя.

$$Q(t) = 1 - P(t).$$

Функция плотности распределения вероятности безотказной работы $f(t)$ за время $\Delta t = 1$ год.

$$f(t) = \frac{\Delta n}{N_0 \cdot \Delta t}$$

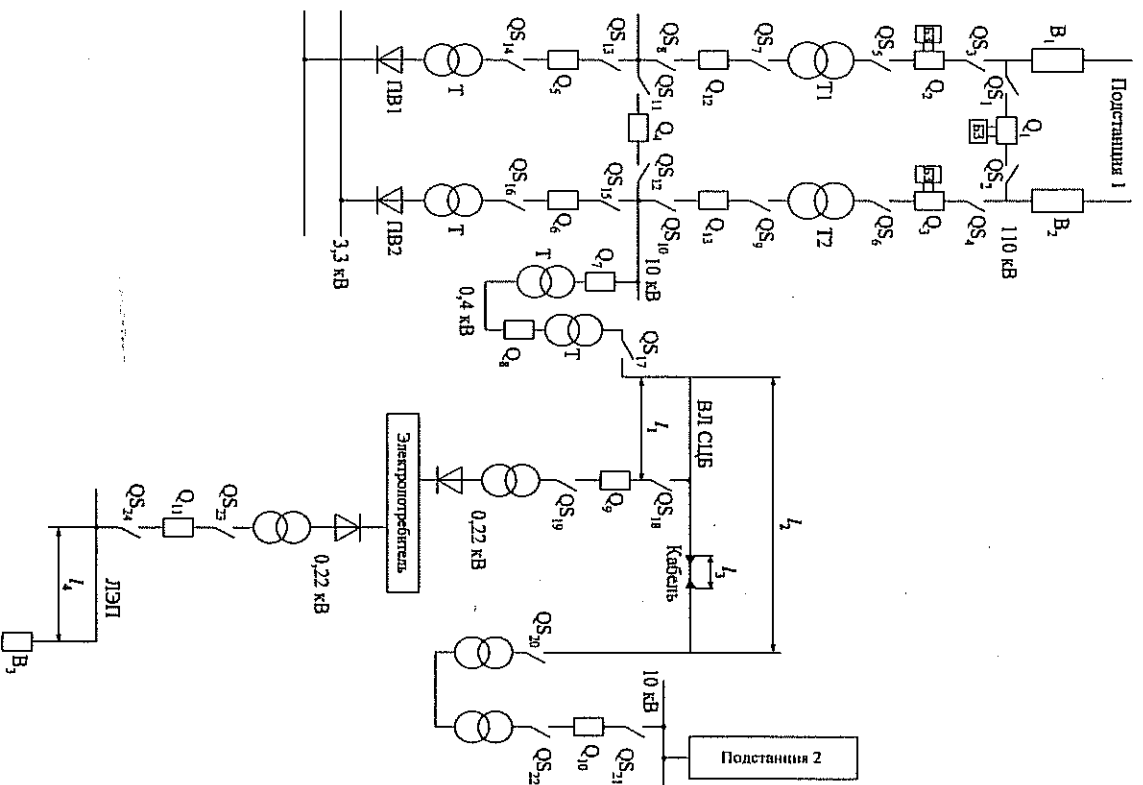
Интенсивность отказов $\lambda(t)$ – отношение числа отказавших элементов или систем в единицу времени к числу элементов, исправно работающих в данный момент времени.

$$\lambda(t) = \frac{\Delta n}{N_{раб} \cdot \Delta t}$$

где $N_{раб}$ – число элементов, оставшихся в работе в рассматриваемый интервал времени от начала испытаний, (напр. для первого года, $N_{раб} = N_0 - \Delta n_1$, для второго года, $N_{раб} = N_0 - (\Delta n_1 + \Delta n_2)$).

Среднее время безотказной работы (наработка на отказ) $T_{ср}$ – есть математическое ожидание времени работы элемента или системы до его отказа.

Схема 15



ВВЕДЕНИЕ

Целью курсового проекта является выработка навыков применения теории надежности при оценке работоспособности систем тягового электроснабжения с учетом надежности ее основных элементов.

В процессе проектирования необходимо выполнить следующие расчеты:

1.1. Расчет параметров надежности элементов системы электроснабжения.

По данным об ежегодных отказах элементов определить показатели надежности работы, интенсивность отказов, функцию плотности распределения вероятности отказа в зависимости от времени и наработку на отказ.

1.2. Подобрать непрерывную функцию закона распределения.

Подобрать параметры для экспоненциального и нормального законов распределения. Построить зависимости показателей надежности от времени.

1.3. Рассчитать доверительный интервал при заданных доверительных вероятностях.

1.4. По заданной зависимости изменения параметра от времени, либо от числа проходов токоприемника, либо от изменения грузопотока и заданного ограничения параметра определить средний срок службы элемента и его интенсивность отказов.

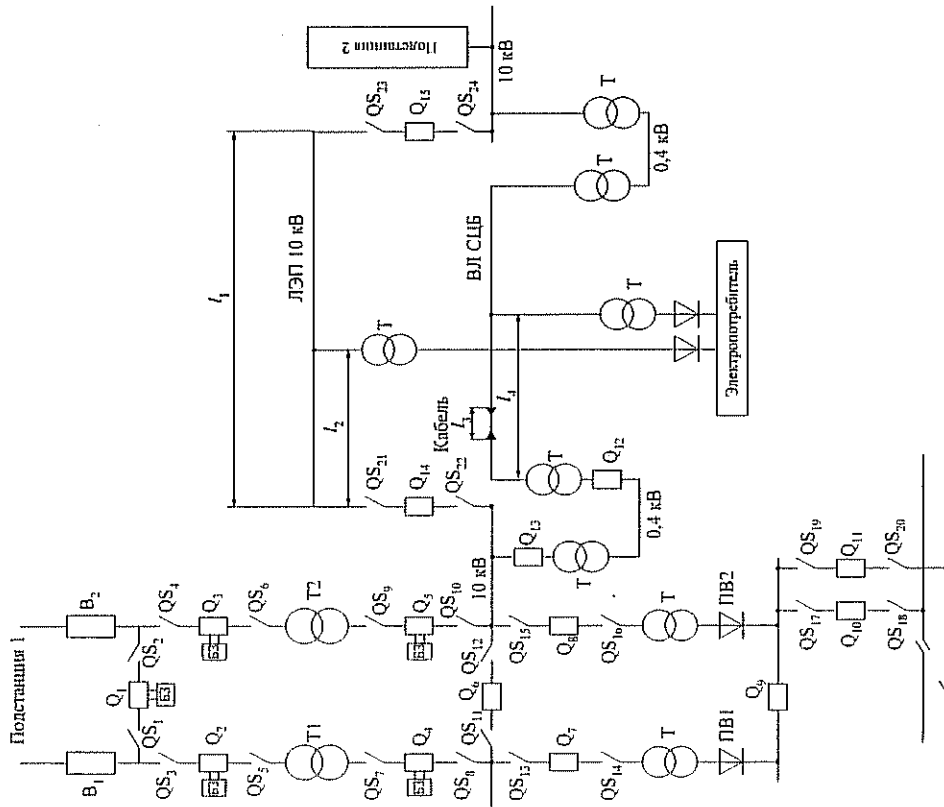
2. Расчет надежности систем.

2.1. Расчет надежности блока защиты.

2.2. Расчет надежности выпрямителя.

2.3. Расчет надежности системы электроснабжения без восстановления.

2.4. Расчет надежности системы с учетом износа оборудования.



СОДЕРЖАНИЕ

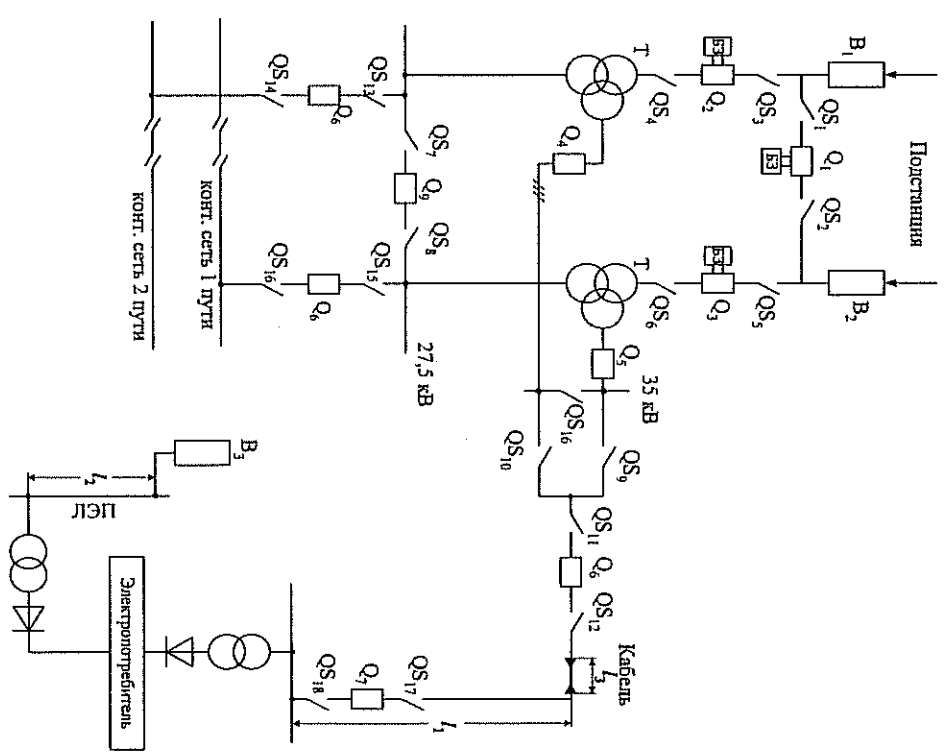
ВВЕДЕНИЕ 5

1. Расчет параметров надежности элементов системы электроснабжения .. 6
2. Расчеты числовых характеристик времени безотказной работы элементов при экспоненциальном и нормальном законах распределения 8
3. Определение доверительных интервалов для числовых оценок параметров надежности $P(t), Q(t), f(t), \lambda(t)$ 11
4. Расчет вероятности безотказной работы блока защиты 13
5. Расчет вероятности безотказной работы выпрямительного агрегата 18
6. Определение вероятности безотказной работы системы электроснабжения 20

Блинографический список 24

ПРИЛОЖЕНИЕ 25

Схема 17



Петербургский государственный университет путей сообщения
 Электромеханический факультет
 Кафедра «Электроснабжение железных дорог»

Задание на курсовую работу по дисциплине
 «Основы теории надежности»

Студенту _____ группы _____

Дата выдачи задания _____

Срок сдачи работы _____

Вариант _____ по таблице 6.2

Расчетные параметры по вариантам

Номер раздела	Наименование параметра	Номера таблиц и рисунков для выполнения расчетов
1	Параметры надежности элементов системы электроснабжения $P(t), Q(t), f(t), \lambda(t)$	табл. 1.2
2	Числовые характеристики времени безотказной работы элементов при экспоненциальном и нормальном законе распределения	табл. 1.1, 2.3, 2.4
3	Доверительные интервалы для числовых оценок параметров надежности	табл. 1.1, 3.1, 3.2
4	Вероятность безотказной работы блока защиты	табл. 4.2, рис. 4.2, 4.3, 4.4, 4.5
5	Вероятность безотказной работы выпрямительного агрегата	табл. 5.1, 5.3
6	Вероятность безотказной работы системы электроснабжения	табл. 6.1, 6.2, рис. приложения

Курсовая работа должна содержать:

1. Расчет параметров надежности элементов системы электроснабжения.
2. Расчеты числовых характеристик времени безотказной работы элементов при экспоненциальном и нормальном законах распределения.
3. Определение доверительных интервалов для числовых оценок параметров надежности $P(t), Q(t), f(t), \lambda(t)$.
4. Расчет вероятности безотказной работы блока защиты.
5. Расчет вероятности безотказной работы выпрямительного агрегата.
6. Определение вероятности безотказной работы системы электроснабжения.

Рекомендуемая литература:

1. Китушин В.Г. Надежность энергетических систем. – М.: «Высшая школа», 1984. – 256с.
2. Рябинин И.А. Основы теории расчета надежности судовых электроэнергетических систем. – Л.: «Судостроение», 1971. – 456 с.

Задание выдал _____

Методические указания к выполнению курсового проекта по дисциплине «Основы теории надежности» составлены в соответствии с программой курса.

При выполнении курсового проекта студенты изучают методы расчета надежности элементов, узлов и систем тропового электроснабжения.

Методические указания предназначены для студентов дневного, вечернего и заочного обучения специальности «Электроснабжение железных дорог».

Разработали: В.М. Варенцов, Л.Л. Васютинская, О.А. Степанская,
О.И. Шатнев.

Под редакцией В.М. Варенцова.

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«ПЕТЕРБУРГСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ»

Кафедра «Электроснабжение железных дорог»



ОСНОВЫ ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ

Методические указания
к выполнению курсового проекта

Санкт-Петербург
2010