

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ К ЗАДАНИЮ №2

Расчет показателей надежности электрических сетей

Для расчета показателей надежности электроснабжения нагрузочного узла анализируется схем замещения сети на участке между источником питания и рассматриваемым узлом. В схеме последовательно соединяются элементы, отказ любого из которых вызывает простой всей данной ветви, а параллельно соединяются ветви, отключение любой из которых не приводит к отключению других. В последовательную цепь кроме элементов данной ветви вводятся такие смежные выключатели, повреждение которых с развитием аварии приведет к отключению участков сети, например выключатели всех присоединений секций шин, к которым подключается анализируемая цепь.

При проектировании для расчета надежности сети может составляться структурная схема надежности, состоящая только из ВЛ, трансформаторов, выключателей.

Для расчета других показателей вначале необходимо определить коэффициенты вынужденного и преднамеренного (планового) простоев:

$$K_B = \omega \cdot T_B ; \quad (1)$$

$$K_{\Pi} = \omega_{\Pi} \cdot T_{\Pi} , \quad (2)$$

где ω - параметр потока отказов, отказ/год;

ω_{Π} - средняя частота преднамеренных отключений, простой/год;

T_B - среднее время восстановления, год/отказ;

T_{Π} - среднее время преднамеренных отключений, год/простой.

Кроме того могут потребоваться такие показатели, как коэффициенты ограничения мощности:

$$\varepsilon_B = \frac{P_{a.откл}}{P_{max}} ; \quad (3)$$

$$\varepsilon_{\Pi} = \frac{P_{\Pi.откл}}{P_{max}} , \quad (4)$$

где $P_{a.откл}$, $P_{\Pi.откл}$ - отключаемая часть нагрузки на время устранения аварийных повреждений и при проведении плановых ремонтов электрических сетей;

P_{max} - наибольшая потребляемая мощность.

При полном перерыве электроснабжения $\varepsilon_B = \varepsilon_{\Pi} = 1$.

В очередь элементы системы электроснабжения могут соединять последовательно, параллельно и смешанно.

Эквивалентирование структурных схем надежности электрических сетей

1. Последовательное соединение элементов

Структурная схема надежности при последовательном соединении выглядит следующим образом:

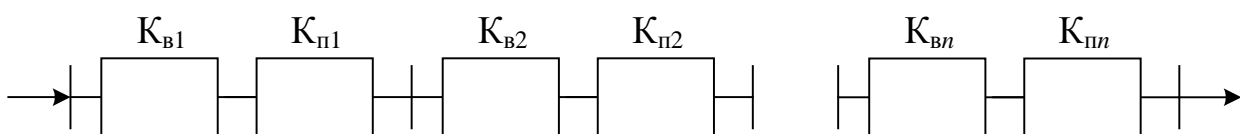


Рис. 1. Структурная схема надежности при последовательном соединении элементов

$$\omega = \sum_{i=1}^n \omega_i, \quad (5)$$

$$K_B = \sum_{i=1}^n K_{B_i}, \quad (6)$$

$$K_{\Pi} = \max\{K_{\Pi_i}\}, \quad (7)$$

где $i=1, 2, \dots, n$ – порядковый номер элементов сети в последовательной цепочке.

При определении K_{Π} следует полагать, что плановые ремонты элементов, включенных в последовательную цепь, выполняются одновременно.

Поскольку отказ любого элемента цепи приводит к полному отключению потребителей, то в этом случае $\varepsilon_B = \varepsilon_{\Pi} = 1$.

Коэффициент готовности для последовательной цепи определяется:

$$K_{\Gamma} = \frac{1 - (K_{\Pi} + K_B)}{1 - K_{\Pi}}, \quad (8)$$

а вероятность безотказной работы в течение года по выражению:

$$P(t) = e^{-\omega t}. \quad (9)$$

2. Параллельное соединение элементов

Структурная схема надежности при параллельном соединении выглядит следующим образом:

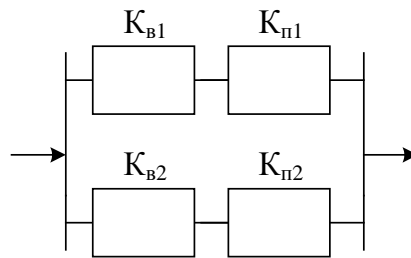


Рис. 2. Структурная схема надежности при параллельном соединении элементов
Параметр потока отказов при таком соединении:

$$\omega = \omega_1 \cdot K_{B2} + \omega_2 \cdot K_{B1}. \quad (10)$$

Коэффициент вынужденного простоя при параллельном соединении элементов:

$$K_B = K_{B1} \cdot K_{B2} + K_{B1} \cdot K_{\Pi2} + K_{B2} \cdot K_{\Pi1}. \quad (11)$$

В этом выражении первое слагаемое характеризует наложение отказа одного элемента на отказ другого элемента, а второе и третье слагаемые – наложение отказа одного элемента на планово-предупредительный ремонт другого.

При отсутствии ограничений пропускной способности в параллельных цепях, т.е. когда каждая цепь рассчитана на максимальную нагрузку, $K_{\Pi}=0$, $\varepsilon_{\Pi} = 0$, то

$$K_B = K_{B1} \cdot K_{B2}. \quad (12)$$

Коэффициент готовности:

$$K_{\Gamma} = 1 - K_B. \quad (13)$$

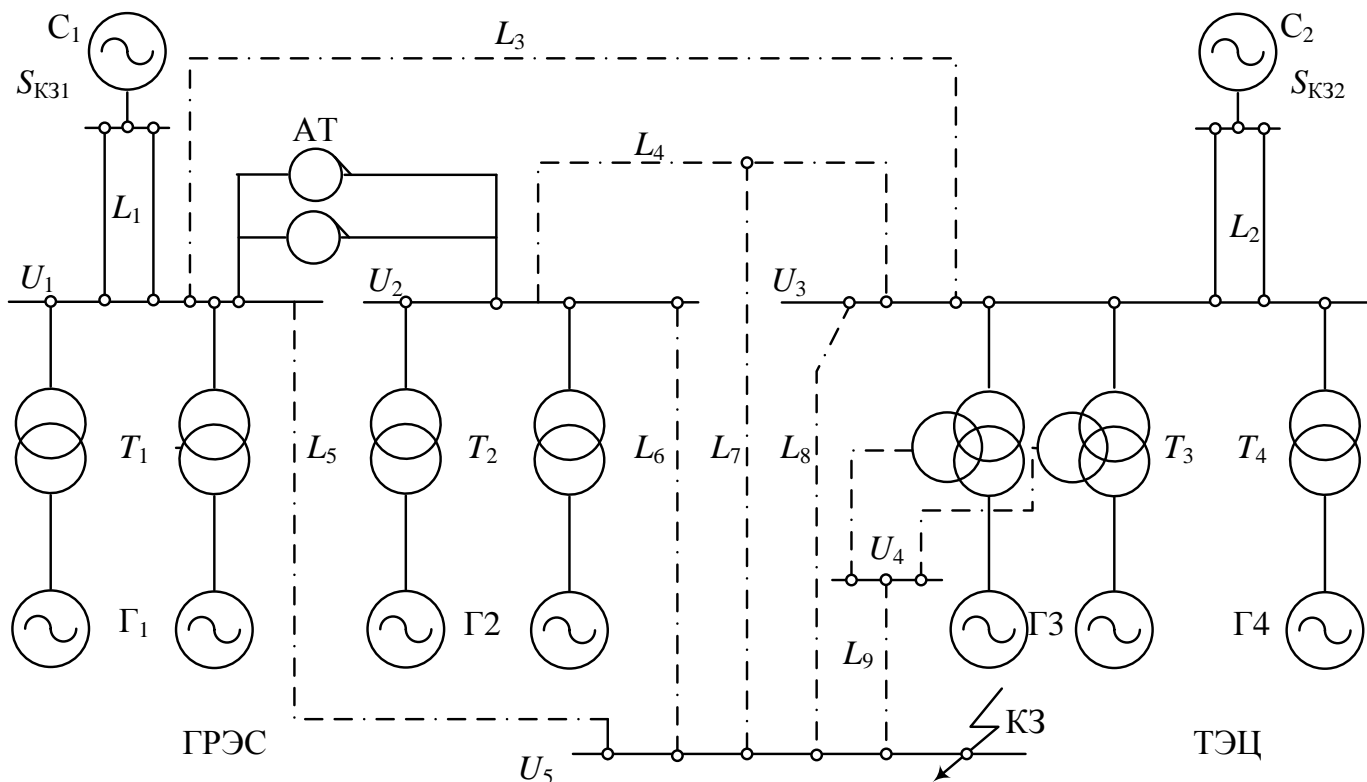
а вероятность безотказной работы в течение года по выражению:

$$P(t) = e^{-\omega t}. \quad (14)$$

Задание №2

Оценить показатели надежности для заданной расчетной схемы относительно шины U_5

Расчетная схема



Варианты заданий

№ варианта	Система $S_{КЗ}$, МВА		ГРЭС P , МВт		ТЭЦ P , МВт		Напряжение, кВ				Длины заданных линий, км		
	C_1	C_2	Γ_1	Γ_2	Γ_3	Γ_4	U_1	U_2	U_3	U_4	L_1	L_2	По заданию
1	6000	4500	2 × 100	2 × 200	3 × 100	2 × 100	220	110	110	-	30	40	$L_4=2 \times 10$ $L_7=2 \times 8$
2	5000	6700	3 × 200	2 × 100	2 × 100	2 × 30	220	110	110	-	30	25	$L_4=2 \times 30$ $L_7=2 \times 6$
3	4000	5000	2 × 200	3 × 100	3 × 165	2 × 60	220	110	220	-	50	30	$L_3=2 \times 35$ $L_5=2 \times 16$
4	4600	4000	4 × 165	2 × 165	2 × 165	3 × 50	220	110	220	-	35	50	$L_3=2 \times 15$ $L_8=2 \times 30$
5	5100	4800	3 × 100	2 × 200	2 × 200	2 × 55	220	110	110	35	30	60	$L_4=2 \times 15$ $L_9=2 \times 10$
6	5000	6100	4 × 100	3 × 165	2 × 165	3 × 55	220	110	110	-	20	56	$L_4=2 \times 21$ $L_6=2 \times 18$
7	6700	5000	2 × 165	4 × 100	4 × 100	2 × 100	220	110	110	-	35	78	$L_4=2 \times 10$ $L_7=2 \times 8$
8	5000	4100	4 × 100	2 × 200	2 × 200	2 × 50	220	110	110	35	48	40	$L_4=2 \times 17$ $L_9=2 \times 9$
9	4000	6000	2 × 200	3 × 165	3 × 165	2 × 55	220	110	110	-	80	45	$L_4=32$ $L_8=2 \times 15$
10	6800	4100	3 × 100	2 × 200	4 × 100	3 × 30	220	110	110	-	75	60	$L_4=2 \times 24$ $L_7=2 \times 12$
11	8000	5500	2 × 63	2 × 100	4 × 100	4 × 100	220	110	110	35	20	50	$L_4=2 \times 15$ $L_9=2 \times 30$
12	10000	7700	5 × 100	3 × 200	4 × 63	3 × 30	220	110	220	-	40	15	$L_3=2 \times 25$ $L_5=2 \times 10$

№ варианта	Система $S_{кз}$ МВА		ГРЭС P , МВт		ТЭЦ P , МВт		Напряжение, кВ				Длины заданных линий, км		
	C_1	C_2	Γ_1	Γ_2	Γ_3	Γ_4	U_1	U_2	U_3	U_4	L_1	L_2	По заданию
13	6000	8000	3 × 200	4 × 63	2 × 100	3 × 63	220	110	220	-	85	15	$L_3=2 \times 45$ $L_8=2 \times 20$
14	8500	3000	4 × 200	3 × 100	3 × 63	4 × 63	220	110	110	-	15	28	$L_4=2 \times 27$ $L_8=2 \times 16$
15	9600	5000	4 × 100	3 × 200	3 × 63	3 × 100	220	110	110	35	40	25	$L_4=2 \times 36$ $L_6=2 \times 51$
16	4500	7800	3 × 200	4 × 165	3 × 100	4 × 55	220	110	110	-	30	58	$L_4=2 \times 10$ $L_7=2 \times 8$
17	870	9500	4 × 165	2 × 100	4 × 200	3 × 100	220	110	110	-	47	85	$L_4=2 \times 36$ $L_7=2 \times 42$
18.	6000	8100	3 × 163	4 × 165	3 × 165	4 × 55	220	110	110	-	10	42	$L_4=2 \times 28$ $L_6=2 \times 30$
19	7700	4000	4 × 100	2 × 100	4 × 60	3 × 100	220	110	110	-	28	60	$L_4=2 \times 15$ $L_7=2 \times 9$

Примечание: коммутационные аппараты выбираются студентами самостоятельно.

Алгоритм расчета

1. По заданию отрисовать принципиальную однолинейную схему, отражающую заданное число источников мощности и число линий электропередачи. Обязательно указать коммутационные аппараты (достаточно указать выключатели).

2. В соответствии с заданной схемой построить структурную схему надежности системы электроснабжения и обозначить ее элементы таким образом, чтобы элементы с одинаковыми показателями надежности имели одинаковый порядковый номер.

3. Разработать таблицу с исходными данными для расчета показателей надежности по форме:

№ элемента	Тип элемента	Ном. напряжение, кВ	L, км	ω^* , 1/год	ω , 1/год	T_B ,		K_B
			(только для ЛЭП)			ч	год	

Исходные данные показателей надежности взять из файла «Показатели надежности электрооборудования- к Лекции №3.pdf»

4. Осуществить эквивалентные преобразования заданной структурной схемы, на каждом этапе упрощения необходимо определять эквивалентные значения ω , K_B , T_B , а также вероятности безотказной работы $P(t)$, при $t=1$ год.

5. В качестве ответа на проверку предоставить:

- однолинейную схему;
- структурную схему;
- таблицу с исходными данными;
- все преобразования структурной схемы с рассчитанными значениями перечисленных в п.4 показателями надежности и коэффициентами.

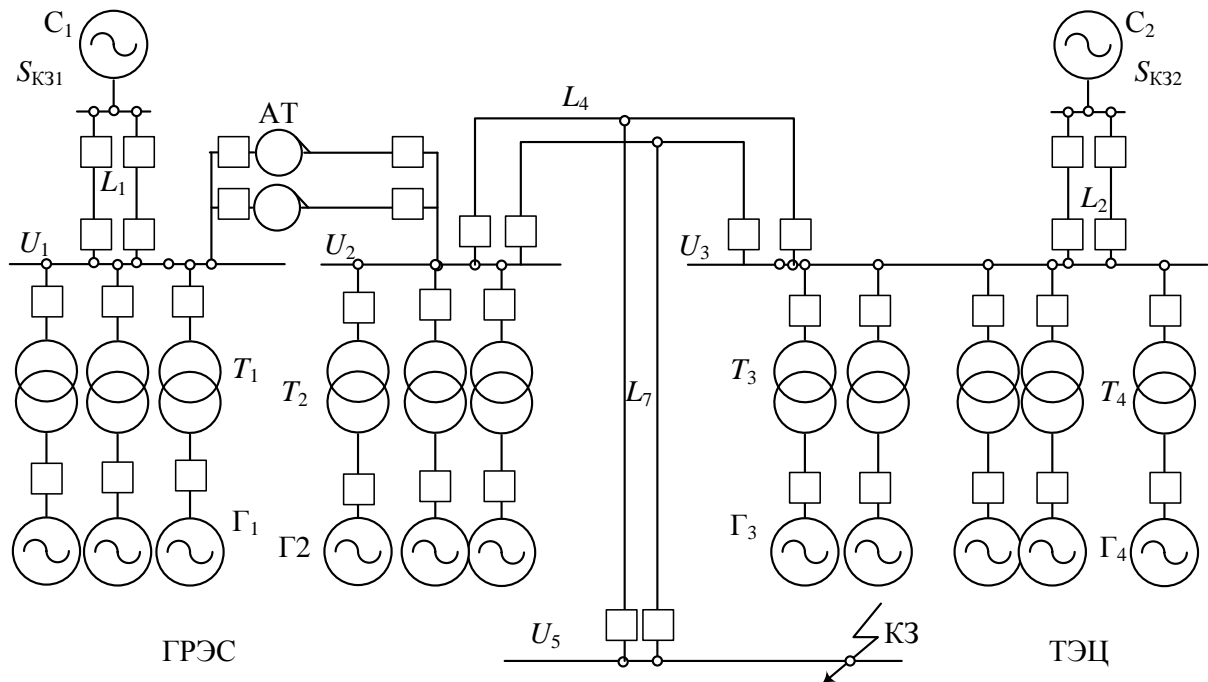
Расчет предлагается вести в *MS Excel*.

Пример расчета Задания №2

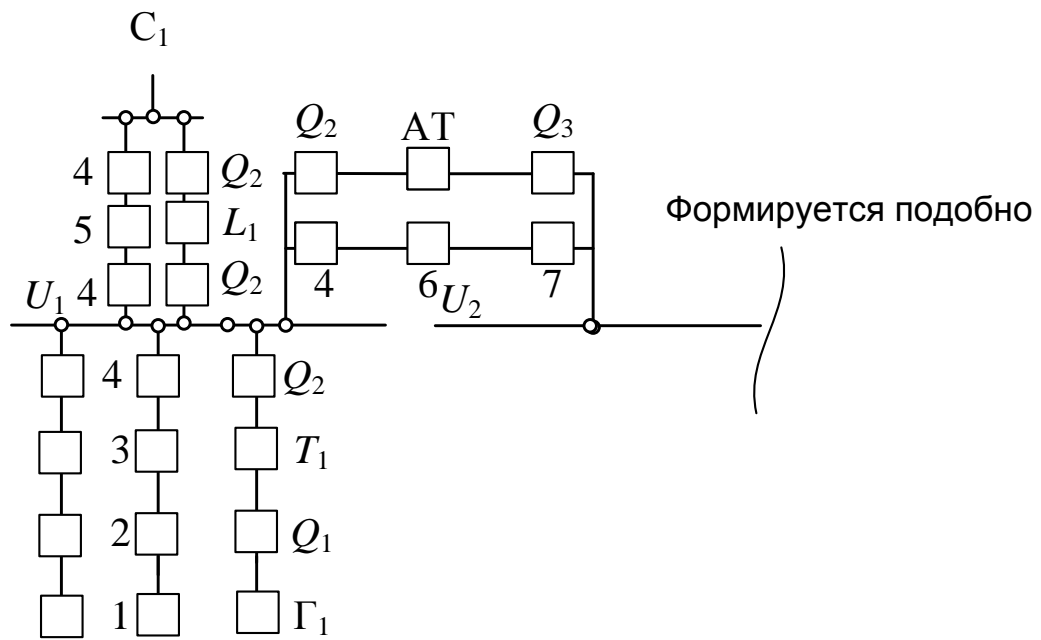
Задание:

№ варианта	Система $S_{КЗ}$ МВА		ГРЭС P , МВт		ТЭЦ P , МВт		Напряжение, кВ				Длины заданных линий, км		
	C_1	C_2	Γ_1	Γ_2	Γ_3	Γ_4	U_1	U_2	U_3	U_4	L_1	L_2	По заданию
18	10000	8500	3×100	3×200	2×63	3×100	220	110	110	-	30	40	$L_4=2 \times 10$ $L_7=2 \times 8$

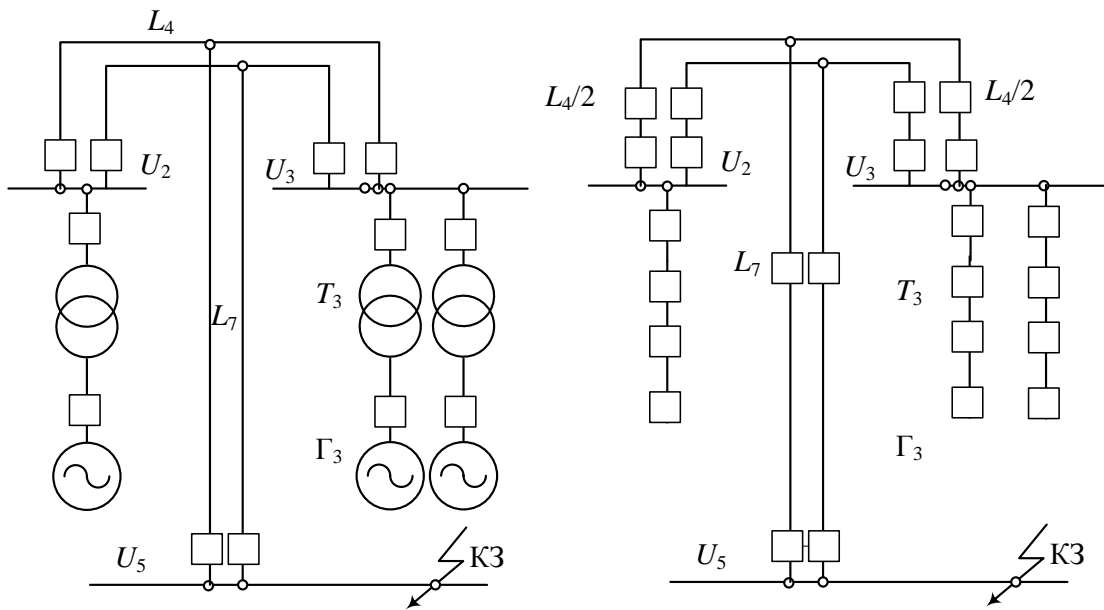
1. Однолинейная принципиальная схема, построенная согласно заданию.



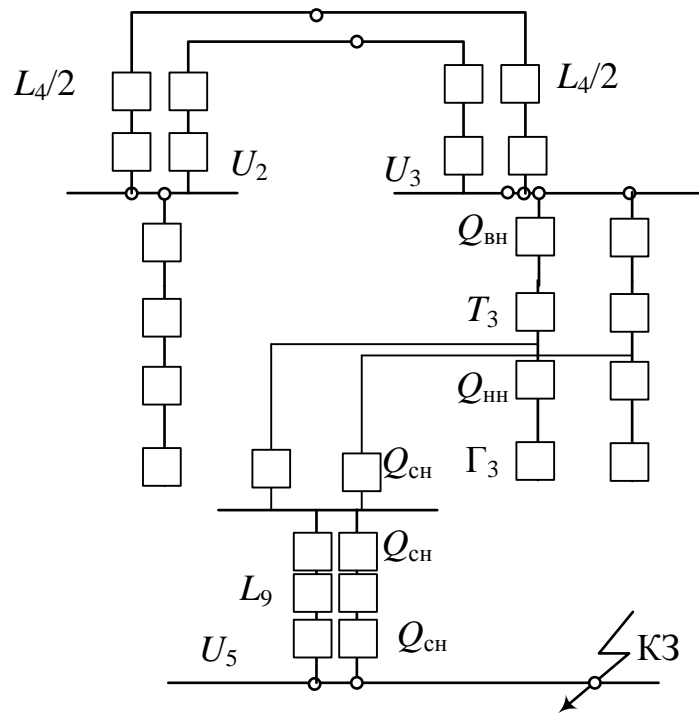
2. Фрагмент структурной схемы надежности:



Для линии L4-L7:



Если трансформатор трехобмоточный:



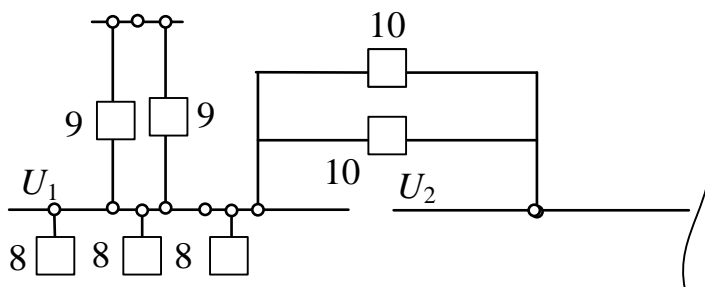
3. Составим таблицу с исходными данными

№ эле- мента	Тип элемента	Ном. на- пряжение, кВ	L, км (только для ЛЭП)	ω^* , 1/год	ω , 1/год	T_B ,		$K_B = \omega \cdot T_B$
						ч	год	
1	Г1	10 кВ	-	-	5	40	0,004566	0,0228310502
2	Q1	10 кВ	-	-	0,015	20	0,002283	0,0000342466
3	T1	220/10 кВ	-	-	0,025	60	0,006849	0,0001712329
4	Q2	220 кВ	-	-	0,055	50	0,005708	0,0003139269
5	L1	220 кВ	30 (см. по зада- нию)	0,008	$30 \cdot 0,008 =$ 0,24	15	0,001712	0,0004109589
..... И т.д.								

Показатели надежности выбираются из файла «Показатели надежности электрооборудования.pdf» для оборудования соответствующего напряжения, мощности и конструктивных особенностей

4. Осуществи постепенное упрощение структурной схемы:

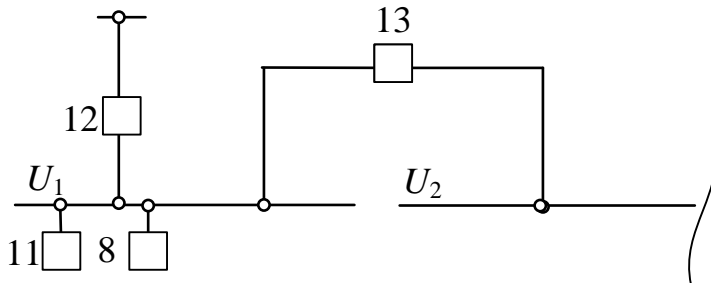
Первоначально упростим все цепочки последовательно соединенных элементов.



№ эле-	ω , 1/год (формула 5)	Кв (формула 6)	$T_B = K_B / \omega$, год	$P(t) = e^{-\omega t}$
--------	---------------------------------	-------------------	----------------------------	------------------------

мента				
8	$5+0,015+0,025+0,055= 5,095$	$0,0228+3,424*10^{-5}+0,00017+0,00031=0,023350457$	0,004583	0,006127
9	0,35	0,001038813	0,002968	0,704688
10 и т.д.			

Далее упрощаем параллельно соединенные элементы, **не забывая, что эквивалент можно находить только для двух параллельно соединенных элементов**



№ элемента	ω , 1/год (формула 10)	Кв (формула 12)	$T_B = K_B / \omega$, год	$P(t) = e^{-\omega t}$
11	$5,095*0,0233+5,095*0,0233=0,237941$	$0,0233*0,0233=0,000545244$	0,002292	0,788249
12	0,000727	1,07913E-06	0,001484	0,999273
13	... и т.д.			

Далее преобразования осуществляются до тех пор пока не останется один элемент, последовательно упрощая схемы к расчетной точке - шина U_5 .