

Условие

Задача 10-1 Резисторы и конденсаторы.

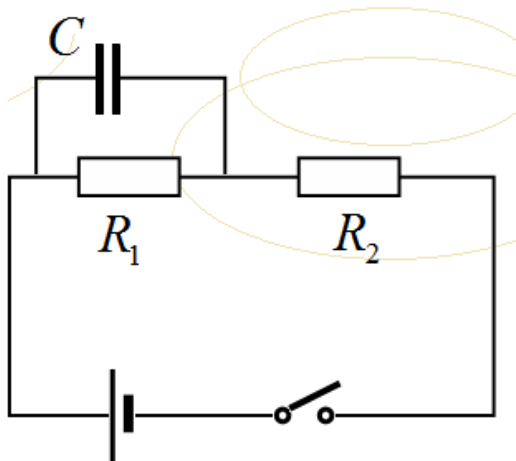
Вам должны быть хорошо известны законы параллельного и последовательного соединения резисторов и конденсаторов. А не пробовали ли Вы соединить параллельно конденсатор и резистор?

Приборы и оборудование: конденсатор емкостью 100 мкФ, два одинаковых резистора, мультиметр, ключ, батарейка 4,5 В, соединительные провода, секундомер.

Строго соблюдайте полярность подключения конденсатора во всех измерениях! Мультиметр используйте только в режиме измерения напряжения!

Часть 1. Время установления тока.

Соберите электрическую цепь, показанную на рисунке. При замыкании ключа, требуется некоторое время, чтобы в цепи установился постоянный ток. 1.1 Измерьте зависимости напряжения на резисторах R_1 и R_2 от времени при замыкании цепи. Постройте графики полученных зависимостей. 1.2 Определите по этим графикам характерное время установления тока



Чтобы объяснить полученные зависимости вам необходимо провести дополнительные измерения. Не забудьте в каждом пункте нарисовать цепь, которая использовалась вами для измерений. После каждого измерения конденсатор следует разрядить.

Часть 2. Параметры элементов цепей.

2.1 Зарядите конденсатор, а затем разряжайте его через мультиметр, одновременно измеряя зависимость напряжения на конденсаторе от времени. Постройте график полученной зависимости. 2.2 Используя полученные данные, рассчитайте сопротивление мультиметра. 2.3 При напряжениях больше 3 В заметна разрядка конденсатора через самого себя (ток утечки). Оцените сопротивление конденсатора в при напряжении больше 3 В. 2.4 Измерьте зависимость напряжения на конденсаторе при его разрядке через резистор. Постройте график полученной зависимости. Рассчитайте сопротивление резистора.

Часть 3. Теоретическая.

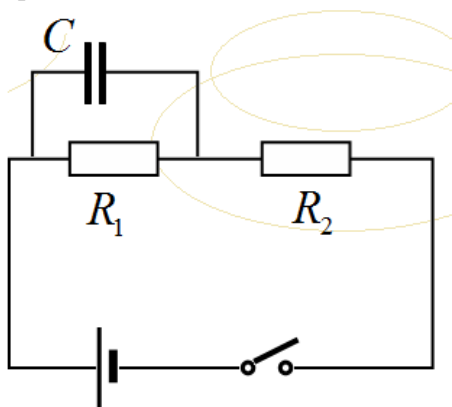
3.1 Запишите уравнения, описывающие процесс установления тока в цепи, исследованной вами в части 1. Постройте примерные графики (теоретические) зависимостей напряжений на R_1 и R_2 от времени при замыкании цепи. Укажите характерные точки этих графиков. Рассчитайте характерное время установления тока. Сравните его с экспериментальным значением, полученным в части 1. 3.2 Укажите основные причины возможных расхождений между теоретически и экспериментальными данными.

Решение

Задача 10-1 Резисторы и конденсаторы.

Часть 1. Время установления тока.

Теория процессов протекающих в данной цепи подробно рассмотрено в задача 10-3 теоретического тура. Поэтому здесь приводятся только экспериментальные данные и результаты их обработки.

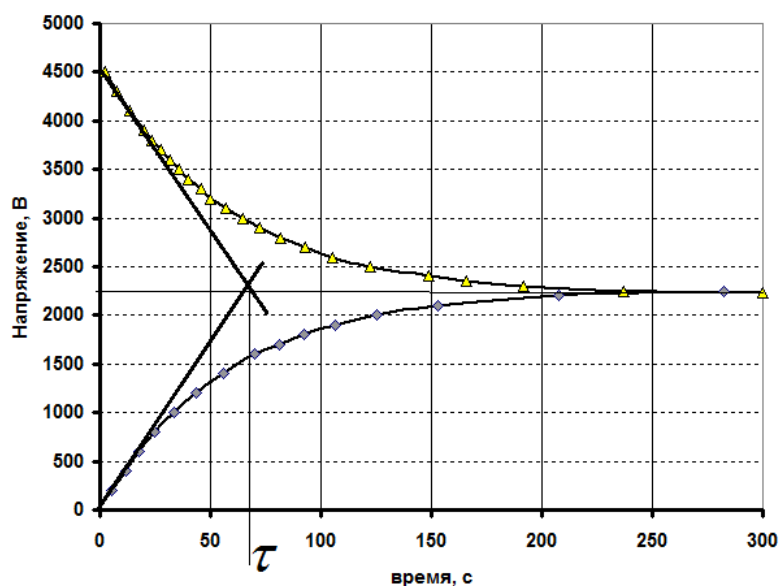


В таблице 1 приведены результаты измерений напряжений на резисторах в процессе зарядки конденсатора.

Таблица 1.

На R_1		На R_2	
U_1 мВ	Т, сек	U_2 мВ	Т сек
		200	5,58
4500	2,09	400	11,60
4300	7,69	600	17,88
4100	13,58	800	24,90
3900	19,80	1000	33,80
3800	23,40	1200	43,58
3700	27,50	1400	55,89
3600	31,80	1600	70,12
3500	35,70	1700	80,90
3400	39,90	1800	92,55
3300	45,60	1900	106,58
3200	50,08	2000	125,14
3100	57,10	2100	152,89
3000	64,50	2200	207,80
2900	72,56	2250	282,56
2800	81,62		
2700	92,68		
2600	105,09		
2500	122,38		
2400	148,59		
2350	165,68		
2300	191,60		
2250	236,81		
2230	299,90		

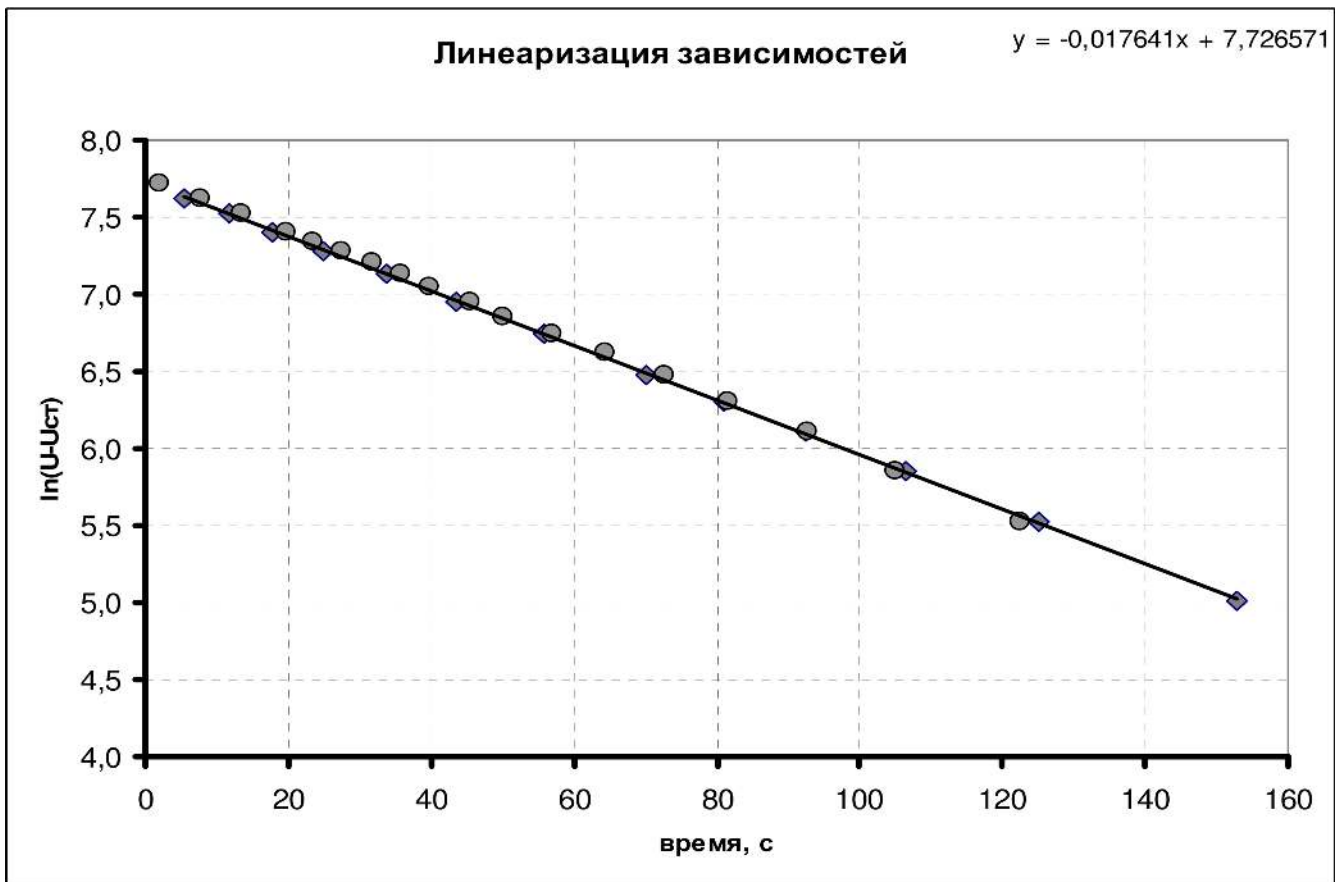
Зависимости напряжения на резисторах от времени



На графике проведены касательные к графикам в начальные моменты времени, позволяющие получить значения характерного времени зарядки. В данном случае оно составляет примерно 60 с.

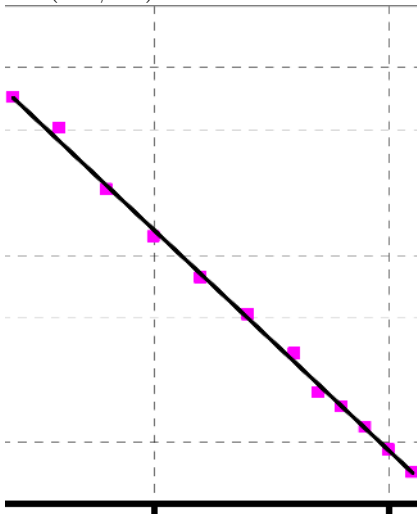
Из графиков следует, что предельные значения напряжений примерно равны, следовательно, сопротивления резисторов равны.

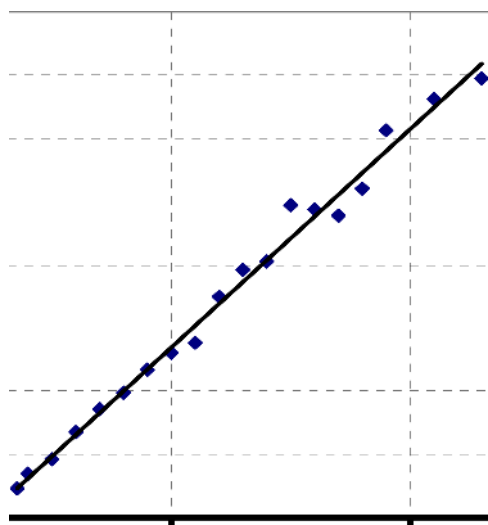
Более точные значения характерных времен можно получить, если построить графики зависимостей в полупологарифмическом масштабе, то есть зависимости логарифма отклонения от стационарного значения $\ln |U - \bar{U}|$ от времени. Ниже показаны эти графики.



Как видно, график для обоих напряжений практически совпадают, что полностью подтверждает вывод о том, что характерные времена установления равновесия совпадают. Из этого графика следует, что характерное время установления для данных зависимостей равно $\tau_0 = 56,7\text{с}$. Следовательно, эффективное сопротивление через

Зависимость скорости изменения напряжения от напряжения $y = -0,0178x + 39,774$ $y = 0,0172x - 38,096$ 40 35 30 с /25 мВ
 20 (dU/dt) 15 10 5 0 010002000300040005000 время , с





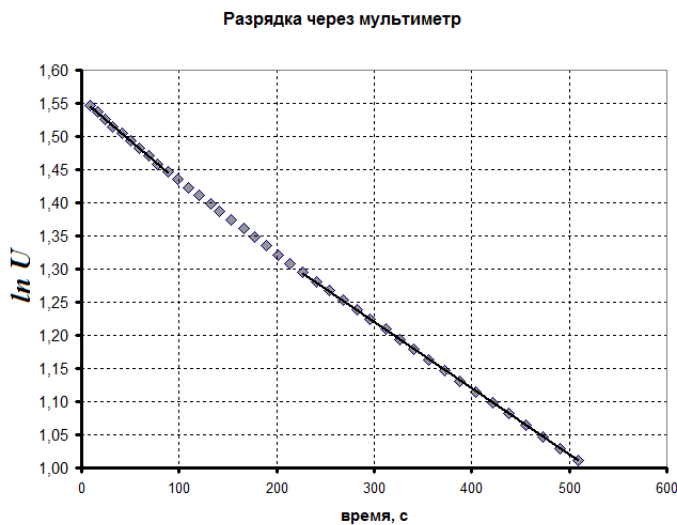
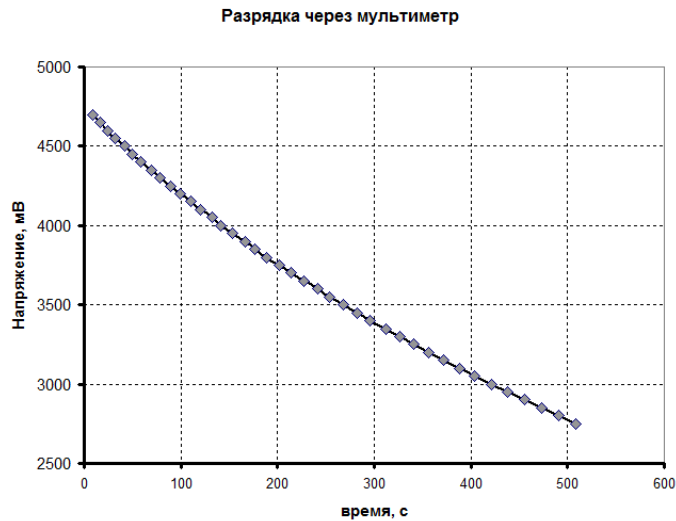
которое идет зарядка конденсатора равно $R^* = \frac{\tau}{C} = 5,67 \cdot 10^5 \text{ Ом} = 0,57 \text{ МОм}$

Еще одним способом расчетов является изучение зависимостей скоростей изменения напряжений $\frac{\Delta U}{\Delta t}$ от самого напряжения. При таком подходе коэффициенты наклона обратны характерным временам установления равновесия. Следующий график иллюстрирует этот подход. Как видно, и этот способ дает правильное значение характерных времен. Однако, операция численного дифференцирования приводит к достаточно большому разбросу точек графиков. Поэтому в дальнейшем мы будем использовать полулогарифмический масштаб

Часть 2. Параметры элементов цепей. Результаты измерений зависимости напряжения на конденсаторе от времени при разрядке через мультиметр приведены в таблице 2. **Таблица 2.**

U	t	lnU	U	t	lnU
4700	9	8,4553	3650	227	8,2025
4650	16	8,4446	3600	241	8,1887
4600	24	8,4338	3550	254	8,1747
4550	32	8,4229	3500	268	8,1605
4500	42	8,4118	3450	282	8,1461
4450	50	8,4007	3400	296	8,1315
4400	59	8,3894	3350	312	8,1167
4350	69	8,3779	3300	326	8,1017
4300	78	8,3664	3250	341	8,0864
4250	89	8,3547	3200	356	8,0709
4200	99	8,3428	3150	372	8,0552
4150	110	8,3309	3100	388	8,0392
4100	120	8,3187	3050	404	8,0229
4050	132	8,3065	3000	421	8,0064
4000	141	8,2940	2950	438	7,9896
3950	153	8,2815	2900	455	7,9725
3900	166	8,2687	2850	473	7,9551
3850	177	8,2558	2800	491	7,9374
3800	189	8,2428	2750	509	7,9194
3750	202	8,2295			

Графики полученной зависимости в обычном и полулогарифмическом масштабе показаны на следующем рисунке.



На графике в полулогарифмическом масштабе видно, что коэффициенты наклона на участках больших и малых напряжений отличаются — что показывает наличие утечки тока через сам конденсатор.. Так при малых напряжениях коэффициент наклона графика равен $9,98 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1}$. Следовательно, на этом участке характерное время разрядки равно $R_V C = 1,00 \cdot 10^3 \text{ с}$. Так как $C = 100 \text{ мкФ} = 1,0 \cdot 10^{-4} \text{ Ф}$, то сопротивление мультиметра

$$R_V = 1,00 \cdot 10^7 \text{ Ом} = 10 \text{ МОм}.$$

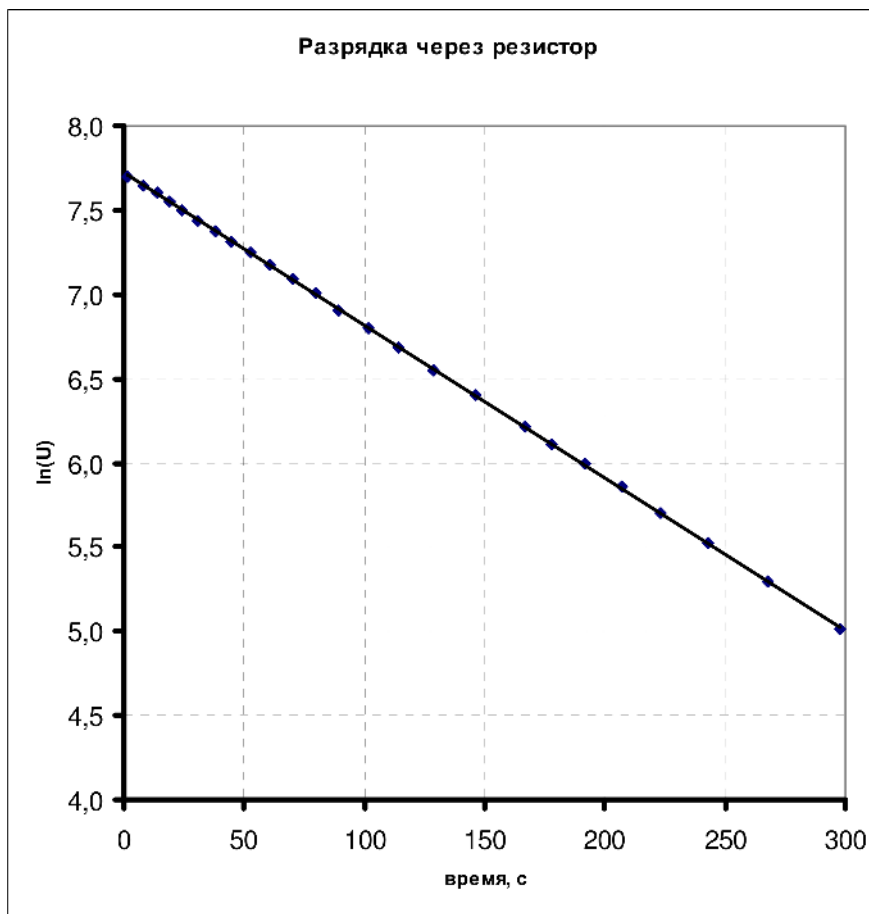
На участке больших напряжений время разрядки оказывается меньше. Здесь $RC \approx 800 \text{ с}$. Следовательно, общее сопротивление вольтметра и конденсатора равно $R = 8,0 \text{ МОм}$. Поэтим данным можно оценить сопротивление резистора

$$R_C = \left(\frac{1}{R} - \frac{1}{R_V} \right)^{-1} \approx 40 \text{ МОм}$$

Зависимость напряжения на конденсаторе от времени при разрядке через резистор представлена в таблице 3 и на следующем графике в полулогарифмическом масштабе.

Таблица 3.

$U \text{ мВ}$	$T \text{ сек}$	$\ln(U)$
2200	1,29	7,696
2100	8,10	7,650
2000	13,89	7,601
1900	18,88	7,550
1800	24,25	7,496
1700	31,03	7,438
1600	37,89	7,378
1500	44,89	7,313
1400	52,83	7,244
1300	60,68	7,170
1200	69,89	7,090
1100	79,63	7,003
1000	89,32	6,908
900	101,83	6,802
800	114,47	6,685
700	129,00	6,551
600	146,00	6,397
500	167,00	6,215
450	178,00	6,109
400	192,00	5,991
350	207,00	5,858
300	223,00	5,704
250	243,00	5,521
200	268,00	5,298
150	298,00	5,011



В данном случае точки почти идеально легли на прямую, следовательно в данном случае сопротивление разрядки постоянно. Время разрядки, найденное по наклону графика оказывается равным $1,1 \cdot 10^2$ с, следовательно, сопротивление параллельно соединенных резистора и вольтметра равно $R_t = 1,1$ МОм. Сопротивление резистора можно рассчитать по формуле

$$R_R = \left(\frac{1}{R_T} - \frac{1}{R_V} \right)^{-1} \approx 1,2 \text{ МОм}$$

Согласно, теоретическим расчетам эффективное сопротивление зарядки в два раза меньше чем сопротивление каждого из резисторов, что хорошо подтвердилось экспериментально.