

Лабораторная работа № 218.
Измерение ёмкости конденсатора.

Приборы и оборудование: изолированный прибор РВЗ, мультиметр, генератор БГ-7, генератор ВАС-810, осциллограф БДС-71022, конденсаторы различных ёмкостей.

1. Осциллографическое напряжение $U_1(t)$ при различных значениях R_1 и частоте развертки (График синусоиды).

2. Зависимость времени заряда (разряда) от постоянной времени R_1C_1 .

R_1, Ω	$t, \text{ мс}$	γ, Γ_2	$C_1, \mu\text{F}$	$U_1, \text{ В}$	$\Delta t, \text{ мс}$	$\sigma C_1, \%$
1000	0,92	93,98				
2000	1,76	55,04				
3000	2,76	30,27	1	12,1	0,2	0,2
4000	3,64	28,16				
5000	4,56	23,12				
6000	5,44	20,32				

3. Измерение неизвестной ёмкости с переменным напряжением типа «маятник» ($U = 12 \text{ В}$).

R_1, Ω	$R_2^{(1)}, \Omega$	$R_2^{(+)}, \Omega$	$R_2^{(-)}, \Omega$	$C_1, \mu\text{F}$	$C_2, \mu\text{F}$	$R_{\text{сп}}, \Omega$
20	5	9	1	1	4,00	5
100	24	30	19	1	4,12	24,3
1000	244	253	237	1	4,09	244,7
10000	2440	2510	2380	1	4,09	2443,3

4. Измерение неизвестной ёмкости с постоянным напряжением.

R_1, Ω	$R_2^{(1)}, \Omega$	$R_2^{(+)}, \Omega$	$R_2^{(-)}, \Omega$	$C_1, \mu\text{F}$	$C_2, \mu\text{F}$	$R_{\text{сп}}, \Omega$
50	12	22	2	1	4,17	13
100	24	34	18	1	4,05	24,7
1000	240	249	230	1	4,17	239,7
10000	2440	2450	2380	1	4,14	2443,7

$U = 24 \text{ В}$:

R_1, Ω	$R_2^{(1)}, \Omega$	$R_2^{(+)}, \Omega$	$R_2^{(-)}, \Omega$	$C_1, \mu\text{F}$	$C_2, \mu\text{F}$	$R_{\text{сп}}, \Omega$
50	12	18	6	1	4,17	12
100	24	29	18	1	4,22	23,7
1000	240	248	234	1	4,15	240,7
10000	2445	2426	2399	1	4,14	2443,3

10.09.21 БК

Для измерения емкостных, индуктивных и излучающих свойств можно использовать многообразные схемы. В таких схемах заложено цепь "измерительного генератора", в одну диагональ которой включают измерение напряжения, а в другую - измерительную систему прибора. При определении соотношения между параметрами измеряемой системы измерительный прибор показывает общий коэффициент измерения в единицах (единица измерения).

В данной лабораторной работе измерительная система может использоваться для измерения емкости конденсатора.

В схеме, изображенной на рис. 1, R_1 и R_2 - сопротивления измерительного генератора, C_1 - конденсатор измеряемой ёмкости, C_X - измерительная ёмкость, G - прибор для измерения напряжения, E - источник напряжения. К конденсатору C_1 подключен генератор R_1 (при этом конденсаторы C_1 и C_X заряжаются от источника напряжения), а к конденсатору C_X подключен прибор G (при этом конденсаторы разряжаются, через измерительные R_1 и R_2).

Рассмотрим процесс зарядки конденсаторов после запускации генератора R_1 на константу δ .

Для упрощения выразим будущее сопротивление измерительного прибора (R_G) величиной большей, а измерительное напряжение (v) - преобразованное напряжение. Тогда предположим что:

$$R_G \gg R_1, R_2 \gg r$$

Принимая в контуре DADB первое правило Кирхгофа, получим

$$i_1 R_1 + \frac{q_1}{C_1} = E \quad (1)$$

где i_1 - ток, текущий через измерительное R_1 , q_1 - заряд конденсатора C_1 . Поскольку ток через измерительный прибор преобразовано именем (R_G велико), то $i_1 = \frac{v}{R_G}$ и уравнение (1) примет вид

$$C_X = C_1 \frac{R_1}{R_2}$$

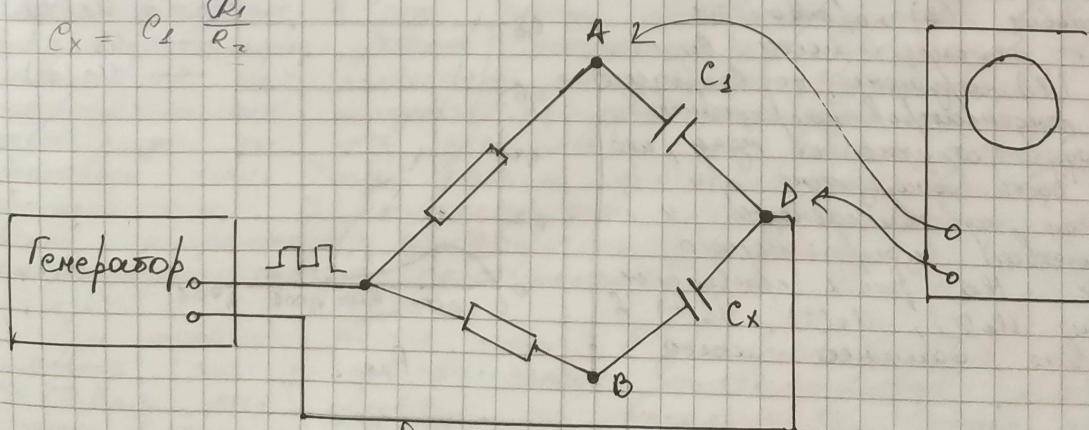


Рис. 3.

$$\frac{dq_1}{dt} + \frac{q_1}{R_1 C_1} = \frac{E}{R_1 C_1} \quad (2)$$

Решение переименуем

$$\frac{dq_1}{q_1 - EC_1} = - \frac{dt}{R_1 C_1}$$

и интегрируя с учетом начального условия $q_1 = 0$ при $t = 0$, получим

$$q_1(t) = C_1 E \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{R_1 C_1}} \right) \quad (3)$$

Произведение $R_1 C_1$ в показателе экспоненты имеет разнообразные названия и называется постоянной времени RC -цепи. Величина постоянной времени определяет, насколько быстро заряжается конденсатор. Как видно из формулы (3), при время $t = R_1 C_1$ заряд конденсатора достигает значения

$$q_1(t) = C_1 E (1 - e^{-1})$$

равное примерно 0,63 значения $C_1 E$, а поэтому заряд стабилизируется при $t \rightarrow \infty$.

Из (3) следует выражение для напряжения U_1 на конденсаторе C_1 :

$$U_1(t) = E \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{R_1 C_1}} \right) \quad (4)$$

Напряжение на барьер конденсаторе находится аналогично выражению распределения конусов DBTD:

$$U_x(t) = E \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{R_2 C_x}} \right) \quad (5)$$

Напряжение U_2 на изолирующих пристрой (между точками A и B) равно разности напряжений на конденсаторах:

$$U_2(t) = U_1(t) - U_x(t) = E \cdot \left(e^{-\frac{t}{R_2 C_x}} - e^{-\frac{t}{R_1 C_1}} \right) \quad (6)$$

Из (6) следует, что при выполнении равенства

$$R_1 C_1 = R_2 C_x \quad (7)$$

напряжение U_2 во времени равно нулю. Условие (7) называется условием баланса тока. Если условие (7) нарушено, то в процессе заряда конденсаторов напряжение $U_2(t)$ будет отличаться от нуля, что может быть обнаружено при измерении токов зарядки и оттока изолирующего пристроя. На рис. 2 приведены графики $U_1(t)$, $U_x(t)$, $U_2(t)$ в случае если баланс нарушается

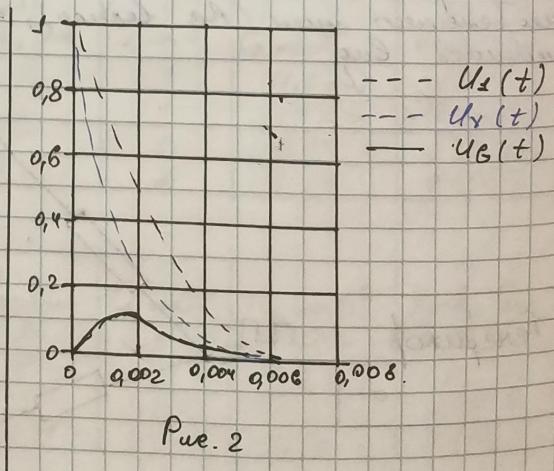


Рис. 2

После замыкания ключа к наименуемым конденсаторам, в ходе зарядки напряжения $U_x(t)$, $U_C(t)$, $U_{C_x}(t)$ изменяются следующим образом:

$$U_x(t) = E \cdot e^{-\frac{t}{R_x C_x}}, \quad U_C(t) = E \cdot e^{-\frac{t}{R_x C_x}} \quad (8)$$

$$U_{C_x}(t) = E \cdot (e^{-\frac{t}{R_x C_x}} - e^{-\frac{t}{R_x C_x}}) \quad (9)$$

Поданные методы измерения не измеряют самого прибора, как и при зарядке, также ровно нулю.

Для измерения емкости конденсатора C_x следует, разделяя значение сопротивлений R_x и (или) $R_x + R_x$ добиться равенства двух концов измерительного прибора при переключении ключа K , т.е. замкнуть щупы. При этом из условия (7) измеряется емкость находящаяся в цепи

$$C_x = C_s \frac{R_1}{R_2} \quad (10)$$

При решении данного метода следует учитывать, что времена зарядки (разрядки) конденсаторов, а, следовательно, и движение их щупов U_x , скажем так, достаточно медленны и поэтому они не успевают пересечь измерительный прибор, будут зависеть не только от чувствительности прибора, но и от его измерительных свойств.

В данной измерительной схеме прерывистое пребывание измерений в двух режимах: безизмерительном и измерительном.

При безизмерительном (измерительном) положении прибора чувствительность "стремится бесконечности" или измерительной величины. Время зарядки/разрядки конденсаторов, установленных в движение щупом, движением прибора, различаются для измерительного прибора, соответствующего измерению щупом $U_x(t)$. О времени разряда конденсатора можно судить по моментальному измерению напряжения $U_C(t)$.

При измерительном положении прибор не обладает достаточным чувствительностью для воспроизведения измерительной величины. Время зарядки конденсаторов, установленных в движение щупом, движением прибора, различается для измерительного прибора, соответствующего измерению щупом $U_x(t)$. Процесс измерения в этом случае можно представить в виде двух последовательных этапов: сначала, из-за проходящего через измерительный прибор тока зарядки конденсатора получают некоторый момент щупа (присущий изображению спираль), а затем, когда ток через прибор исчез, ток заряда конденсатора исчезает, когда угол. Таким образом измерительный прибор не обладает достаточным чувствительностью. В измерительном режиме остаточное заряде измерительного прибора пропорционально произведению через измерительную заряду (см. Принципиальная 4).

При анализе работы схемы в данном режиме следует учесть, что измерительных измерительных приборов условие $R_x > R_{x,2}$, как правило, не выполняется. Однако, если между точками A и B разместят измерительный сосуд с водой, то через измерительный прибор будет течь ток, при

и следовательно, величины R_2 на
одном изображении не будет.

Прим

Использование частей.

- Схема схемы на рис. 3. На вход изображения маски генератора подают напряжение тока "маски".

Приложенный осциллограф к выходу изображения напряжения $U_1(+)$ при R_2 (значение R_2 при этом устанавливается изображением величиной) изображение маски будет вспомогательной (разрыва).

A, D схемы, наложенные

различных значениях

изображения величиной

Маскировка изображения будет вспомогательной (разрыва) для схемы.

- Настройка на осциллографе и зарисовка маскировки фокусировкой изображений $U_1(+)$ и $U_{AB}(+)$ (при одинаковых скоростях развертки осциллографа и "пункт" сопоставляются между собой).

- Изображение изображения ёмкости C_x использует в динамике маскировки изображения в качестве изображения пресбора. Изображение ёмкости маскировки разнесено в зависимости от R_2 .

~ При всех изображениях фокусировке динамики изображений R_2 (ΔR_2), для которого значение ячейки изображения от центрального уровня не превышает маскировки фокусировкой значения, соответствующего в зависимости от уровня ячейки.

- Схема схемы, приведенная на рис. 3, с заменой маски в качестве изображения пресбора. Изображение ёмкости конденсатора C_x . Изображение ёмкости маскировки разнесено в зависимости от R_2 ($\text{если } R_2 \ll R_E \text{ до } R_2 > R_E$).

~ При всех изображениях фокусировке динамики изображений R_2 (ΔR_2), для которого значение стрелки изображения от центрального уровня не превышает маскировки фокусировкой стрелки изображения от (например, ее превышает маскировки фокусировкой значения, соответствующего замене маски изображения).

- По результатам, полученным в п. 1 и п. 4, построить график зависимости изображений изображений от величины R_2 .

Применение 1. Балансометрический резонанс работы гальванометра.

Гальванометр - это механико-электрический прибор для измерения малых токов. Рамка, состоящая из бесшарнирного цепи витков тонкого провода, помещена в магнитное поле постоянного магнита и имеет подвижность, ведущую свою ось. Помогающие рамки действуют пружинами, но подвижны, пока правление, в чём в подвижной измеряется ток. На рамку с теми же витками действует момент силы притяжения постоянного поля I_B в рабочем, и момент упругих сил пружин, препятствующий этому движению этой рамки от помогающих рамок.

Записанное уравнение относительно оси балансировочных рамок:

$$J \cdot \frac{\omega_2}{Jt} = I_B NSB - D \cdot \alpha \quad (1)$$

Здесь J - момент инерции рамки, $\alpha = \frac{Jd}{Jt}$ - её угловая скорость балансировки, N - число витков, а S - площадь рамки, B - индукция магнитного поля, создаваемого постоянными магнитами, D - подвижнический, характеризующий упругость пружин.

В уравнении (1) не учтено взаимное действие, оказываемое действующими рамками на рамку.

При быстром превращении поля рамка приводится в движение, а угол θ становится константой. В этом случае уравнение (1) легко решается:

$$J \omega_2 = I_B NSB Jt, \quad \omega_{20} = \frac{NSB}{J} \int I_B dt = \frac{NSB}{J} Q,$$

где ω_{20} - угловая скорость начального положения, а Q - заряд, пропущенный через гальванометр. Тогда производная действующая сила Ампера равна гальваниометру, преодолевшая балансировку, определяется на некоторый угол, который называется начальным, и называется зазором, соотношение которого

$$\frac{J \omega_{20}^2}{2} = \frac{D \alpha_{\text{max}}}{2}, \quad \text{откуда } \alpha_{\text{max}} = \frac{NSB Q}{\sqrt{JD}}$$

На практике из-за взаимного пресечения, возникновение которых происходит вскоре, несмотря на то что все заряды проходят через гальванометр.

Применение 2. Равновесие наклонного стекла, винтиком консистентностью кувшинометрическим

Балансировка наклонного определяется однозначно только. Измерительный прибор, состоящий из двух одинаковых наклонных кувшинов и подставки не будет реагировать на такое изменение тока. Поэтому, винтиком приведение измерения этого консистентного кувшинометрического прибора G , можно сделать, определив балансировку (изменение) сопротивления (измеритель R_2), при которой удалить замыкание "нейтральное" показания прибора.

В случае "разбаланса" измерительного моста сопротивление

$$R_2 = R_2^* + \Delta R_2 = R_2^* \cdot \left(1 + \frac{\Delta R_2}{R_2^*} \right) = R_2^* (1 + \delta R_2), \quad (12)$$

зде $R_2^* = \frac{R_d C_x}{C_x}$ ~~соответствует~~ условию ~~данных~~ ~~момент~~, а $\frac{\Delta R_2}{R_2^*} = \delta R_2$ — ~~коэффициент~~ ~~изменения~~ R_2 от R_2^* (~~изменение~~ R_2).

Рассмотрим переменное, внешней конечной избыточного составляющее измерителя (безуправляемое измерение)

При измерительном методе измерения с величиной избыточного изменения измеряемого параметра U_e (E). Максимальное значение U_e (E) называется избыточным напряжением ($U_{e\max}$). Следовательно, избыточное напряжение U_e (E) в (12) , можно записать

$$\max |U_e| \approx \left| E \cdot \frac{\delta R_2}{(1 + \delta R_2) R_2} \right| \approx \left| \frac{E}{R_2} \cdot \delta R_2 \right|,$$

зде c — основание натурального логарифма

Будет $U_{e\min}$ избыточное напряжение, которое уменьшает измеряемое избыточное изменение измеряется как неизвестное. Тогда условие избыточного изменения измеряется записывается, как $|\max |U_e| \geq |U_{e\min}|$, следовательно, избыточное измерение измеряется с помощью избыточного измерителя измеряемого параметра, изменяющегося изменение измеряется R_2 , равной $\frac{e \cdot U_{e\min}}{\delta R_2}$, изменяющееся изменение измеряется R_2 .

Рассмотрим избыточности, внешней конечной избыточного измерителя (изменение измеряется)

У избыточных измерений условие $R_2 > R_d$, а это правило не выполняется. Поэтому проверим сущность работы схемы, показанной на рис. 2, в предположении избыточности измеряется измерителя измеряется. Пренебрегая приведением измерителя, засиммы избыточную изменение.

$$\left. \begin{array}{l} I_d R_d + \frac{U_1}{C_x} = E, \\ I_d R_2 + \frac{U_x}{C_x} = E, \\ I_d R_d + I_C R_C - I_d R_2 = 0, \\ I_d - I_C - \frac{U_1}{R_d} = 0 \\ I_d + I_C - \frac{U_x}{R_2} = 0 \end{array} \right\}$$

Используя токи I_d и I_C , это можно записать:

$$\left. \begin{array}{l} \frac{dU_1}{dt} + \frac{U_1}{R_d C_x} = \frac{E}{R_d C_x} - \frac{U_x - U_x}{R_d C_x} \\ \frac{dU_x}{dt} + \frac{U_x}{R_2 C_x} = \frac{E}{R_2 C_x} + \frac{U_1 - U_x}{R_2 C_x} \end{array} \right\} \quad (13)$$

и получим следующее выражение:

Используя (12) и значение δR_2 , которое устанавливается выражением (13)

связанное с емкостью C_x :

$$\frac{dU_x}{dt} + \frac{U_x}{R_s C_s} (1 - \delta R_2) = \frac{E}{R_s C_s} (1 - \delta R_2) + \frac{U_s - U_x}{R_s C_x}$$

Более простое выражение из первого в (13) и, учитывая, что $U_s - U_x = U_s$, получим:

$$\frac{dU_s}{dt} + U_s \cdot \left(\frac{1}{R_s C_s} + \frac{1}{R_s} \left(\frac{1}{C_s} + \frac{1}{C_x} \right) \right) = \frac{\delta R_2}{R_s C_s} (E - U_x) \quad (14)$$

Представим в (14) члены выражения (14) в комплексной форме

членами выражения $U_s(t)$ из (5) и оставшим $U_x(t)$:

$$U_s(t) = \frac{E \cdot \delta R_2 \cdot \tau}{R_s \cdot C_s} e^{-\frac{t}{R_s C_s}} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right), \quad (15)$$

$$\text{где } \tau = \frac{R_s \cdot C_s \cdot C_x}{C_s + C_x} = \frac{R_s \cdot C_s \cdot R_s}{R_s + R_s^*}$$

Заряд, прошедший через конденсатор, зависит от времени, подаваемого на конденсатор по временному выражению (15) (напряжение на R_s):

$$Q = \frac{R_s \cdot C_s}{R_s + R_s^* + R_s} \cdot E \cdot \delta R_2 \quad (16)$$

Есть Q_{min} — минимальный заряд, проходящий через конденсатор при его полном разряде. Заряд зависит от величины емкости, "передаваемой" в аноду, напряжения R_s :

$$\delta R_2 = Q_{min} \frac{R_s + R_s^* + R_s}{R_s C_s E} = Q_{min} \frac{1 + \frac{C_s}{C_x} + \frac{R_s}{R_s}}{C_s E}$$

Как видно из выражения (14), значение емкости определяется выражением (16) при увеличении R_s .

Далее по лабораторной работе № 18.

Изменение емкости конденсатора.

Цель работы: изучить изменение емкости конденсаторов различными способами.

Продолжение изображения: изображение сопротивлений Р33, цепь гальвометра, генератор б1-7, измеритель ГАГ-840, осциллограф ГО8-74022, конденсаторы различных емкостей.

1. Изменение емкости конденсаторов $U_s(t)$ и $U_{AB}(t)$ при различных сопротивлениях и временных развертках:

C_x есть:

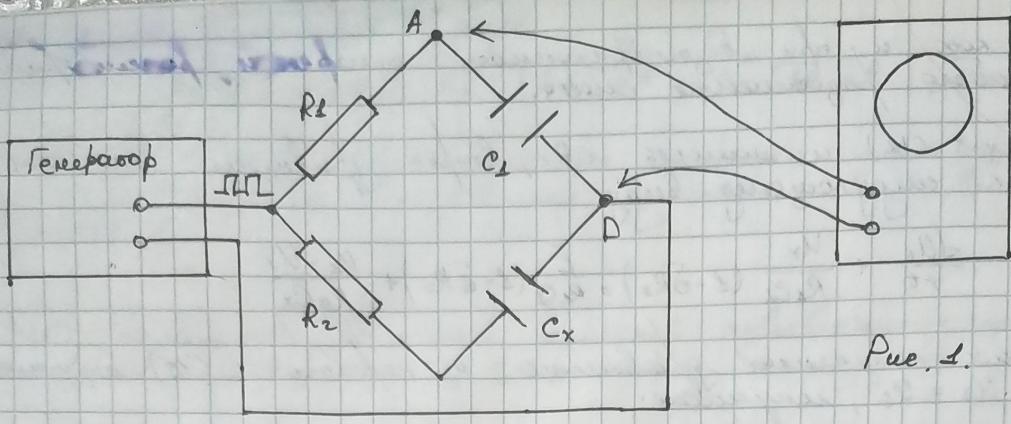
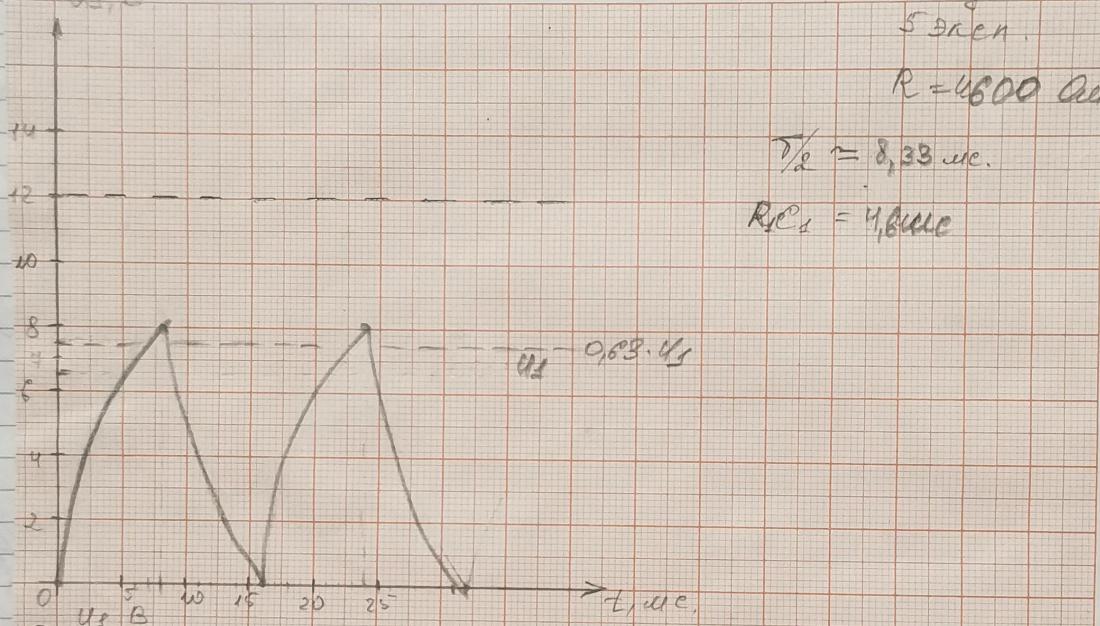


Рис. 1.

(2) $U_s, \text{В}$



$$\tau = 80,0285 \text{ мс.}$$

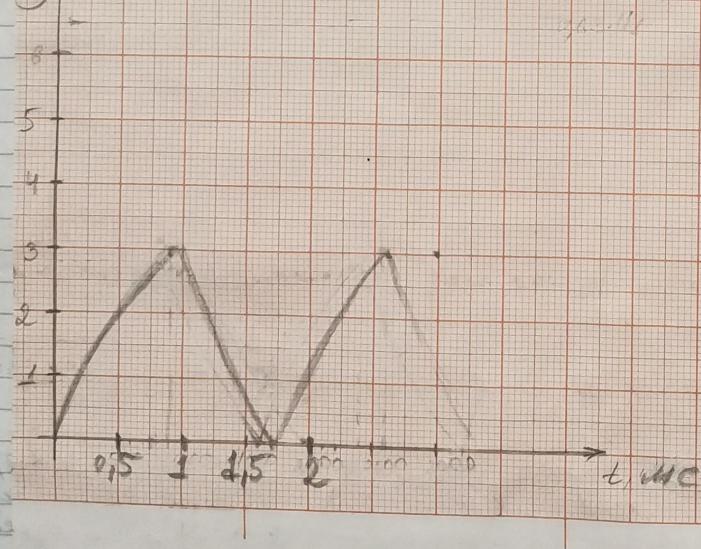
53 кн.

$$R = 4600 \text{ Ом}$$

$$\tau_{1/2} \approx 8,33 \text{ мс.}$$

$$R_1 C_1 = 4,6 \mu\text{с}$$

(3)



$$R = 1600 \text{ Ом}$$

20 кн.

$$\tau = 590 \text{ мс.}$$

U_y

$$\tau_{1/2} \approx 0,85 \text{ мс.}$$

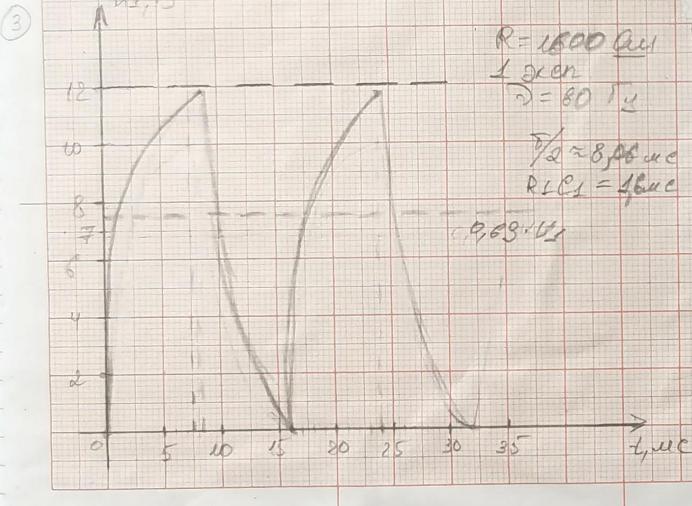
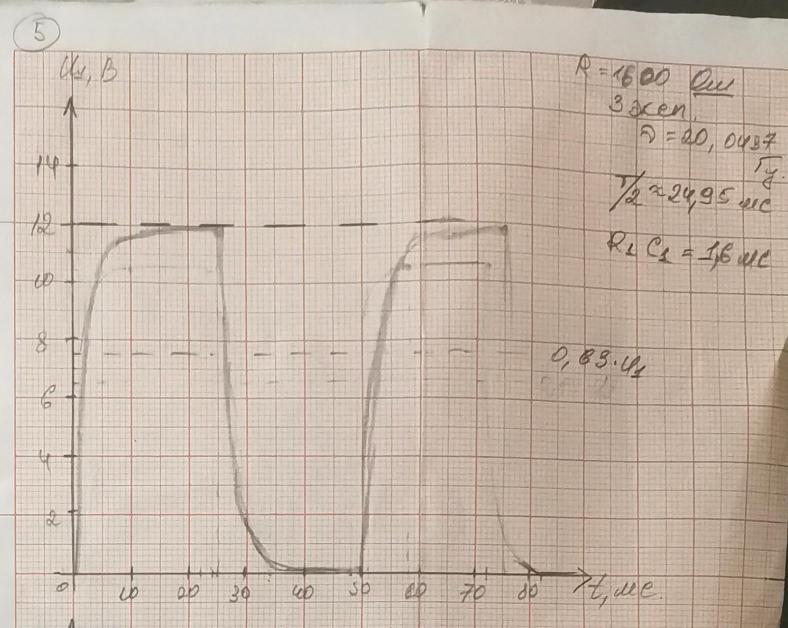
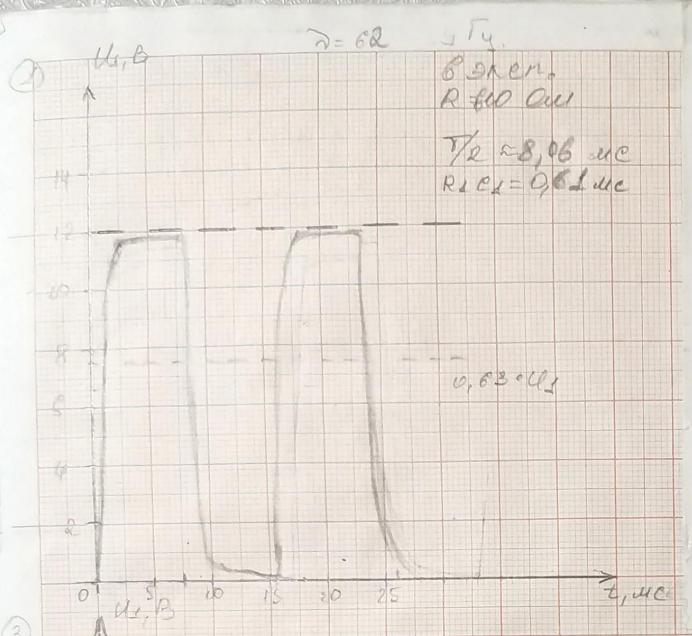
$$R_1 C_1 = 16 \mu\text{с}$$

17 кн.

2. Генератор

N°	$R_s, \text{Ом}$
1	1000
2	2000
3	3000
4	4000
5	5000
6	6000

Основные
параметры
наиболее



Приложение (1)

2. Экспериментальное определение зависимости времени заряда (разряда) от постоянной времени $R L C_L + 600 \text{ Ом}$ под генераторе.

N	$R_s, \text{Ом}$	$t, \text{мс}$	$\tau, \text{мс}$	$C_L, \text{мкФ}$	$U_2, \text{В}$	$\Delta t, \text{мс}$	$\delta C_L, \%$	$\delta R_s, \% \text{ при } C_L = 1 \text{ мкФ}$
1	1000	0,92	93,98					0,2
2	2000	1,76	54,04					0,2
3	3000	2,76	30,27	1	10,1	0,2	0,2	0,002
4	4000	3,64	28,18					0,2
5	5000	4,56	23,12					0,2
6	6000	5,44	20,32					0,2

Основная погрешность измерения емкости конденсатора в процентах со временем неизменного значения емкости конденсатора не превышает:

$$\pm \left[0,2 + 0,5 \frac{m}{R} \right], \quad (1)$$

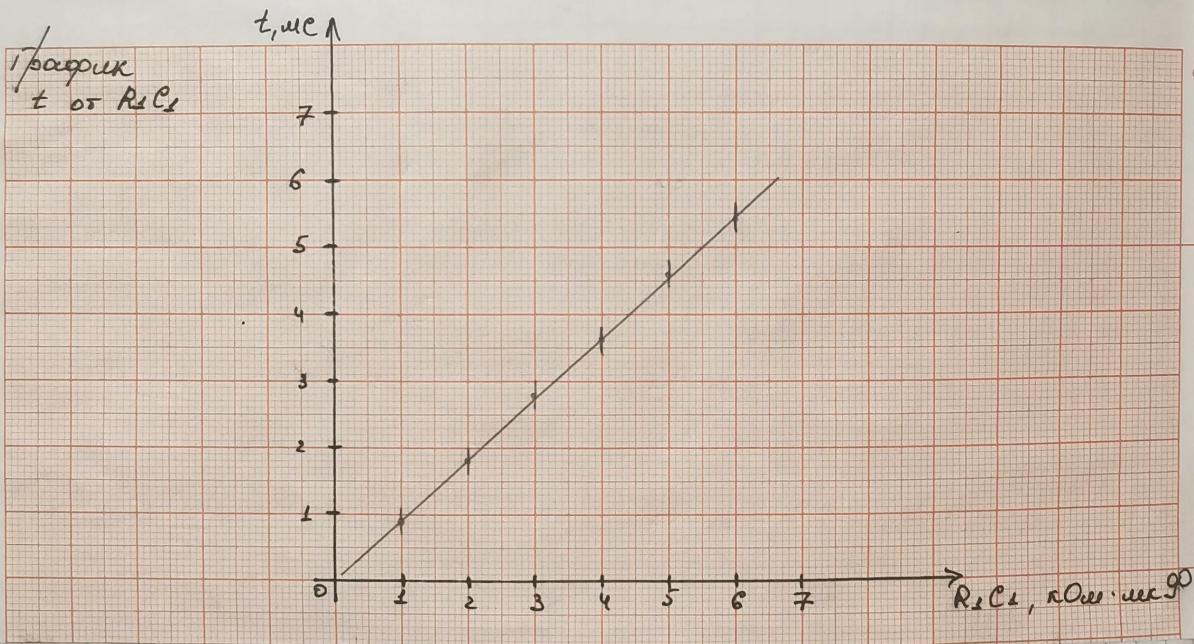
где m - число делений шкалы, показания которых не равны 0, R - значение этого деления сопротивления в омах.

Расчет погрешности:

$$\Delta(R_1 C_1) = R_1 C_1 \cdot \Delta(R_1 C_1) = R_1 \cdot C_1 \cdot (\Delta R_1 + \Delta C_1) \quad (1)$$

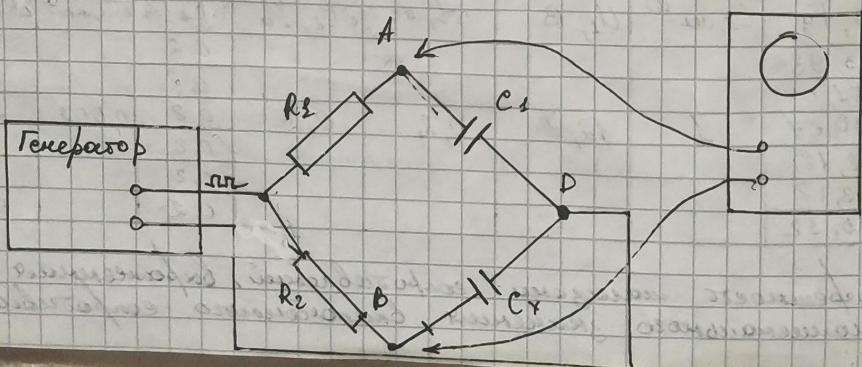
где $\Delta C_1 = 0,2\%$ (известно), а ΔR_1 находится из формулы (1).

$\#$	R_1, Ω	$C_1, \mu\text{F}$	$\Delta C_1, \%$	$\Delta R_1, \%$	$\Delta(R_1 C_1) = R_1 C_1 \cdot (\Delta R_1 + \Delta C_1)$, $\Delta t, \mu\text{s}$
1	1000				0,004
2	2000				0,008
3	3000	1	0,2	0,012	0,012
4	4000			0,018	0,018
5	5000			0,020	0,020
6	6000			0,024	0,024



3. Изменение извесной ёмкости C_x , используя батареи

Схема:



$$2) R_1 = 100 \Omega$$

$$3) R_2 = 1000 \Omega$$

R_1, Ω	R_2, Ω
20	5
100	24
1000	244
10000	2440

Расчет ΔR_2

$$\Rightarrow \Delta C$$

$$1) R_2 = 20 \Omega$$

Таблица измерений с номинальными значениями

$R_1, \Omega_{\text{н}}$	$R_2^{(0)}, \Omega_{\text{н}}$	$R_2^{(+)}, \Omega_{\text{н}}$	$R_2^{(-)}, \Omega_{\text{н}}$	$R_{\text{св}}, \Omega_{\text{н}}$	$C_1, \mu\text{F}$	$C_x, \mu\text{F}$	$\delta C_x, \%$	$\delta R_1, \%$	$\delta R_2, \%$	$\Delta C_x, \mu\text{F}$
20	5	9	1	5		4,00		53,0	0,2	2,14
100	24	30	19	24,3		4,12	0,2	16,0	0,2	0,68
1000	244	253	237	244,7		4,09	0,2	2,0	0,2	0,10
10000	2440	2510	2380	2443,3		4,09		1,8	0,2	0,09

Расчет номинальности:

$$\delta R_2 = \frac{\Delta R_2}{R_{\text{сп}}}, \text{ где } \Delta R_2 = \sqrt{(\Delta R_{2\text{сп}})^2 + (\Delta R_{2\text{нр}})^2}$$

$$\Delta R_{2\text{сп.}} = \frac{|R_{\text{сп}} - R_2^{(0)}| + |R_{\text{сп}} - R_2^{(+)}| + |R_{\text{сп}} - R_2^{(-)}|}{3}$$

$$\Delta R_{2\text{нр.}} = \delta R_{2\text{нр.}} \cdot R_{\text{сп}}$$

абсолютная погрешность среднего значения.

абсолютная предельная погрешность, где $\delta R_{2\text{нр.}}$ находятся по формуле (1)

$$C_x = C_1 \frac{R_2}{R_1}$$

$$\Rightarrow \delta C_x = \delta C_1 + \delta R_1 + \delta R_2$$

$$\Delta C_x = \delta C_x \cdot C_x = (\delta C_1 + \delta R_1 + \delta R_2) \cdot C_x \quad (2)$$

$$1) R_1 = 20 \Omega_{\text{н}}: \Delta R_{2\text{сп.}} = \frac{|5-5| + |5-9| + |5-1|}{3} \approx 2,87 \Omega_{\text{н}}$$

$$\Delta R_{2\text{нр.}} = \frac{0,429}{100} \cdot 5 \approx 0,022 \Omega_{\text{н}}$$

$$\delta R_2 = \frac{\sqrt{(\Delta R_{2\text{сп.}})^2 + (\Delta R_{2\text{нр.}})^2}}{R_{\text{сп.}}} \approx 0,53; \quad \delta R_3 \approx 0,225 \%$$

$$2) R_1 = 100 \Omega_{\text{н}}: \Delta R_{2\text{сп.}} = \frac{|24,3-24| + |24,3-30| + |24,3-19|}{3} \approx 3,47 \Omega_{\text{н}}$$

$$\Delta R_{2\text{нр.}} = \frac{0,287}{100} \cdot 24,3 \approx 0,058 \Omega_{\text{н}}$$

$$\delta R_2 \approx 0,18; \quad \delta R_3 \approx 0,205 \%$$

$$3) R_1 = 1000 \Omega_{\text{н}}: \Delta R_{2\text{сп.}} = \frac{|244,7-244| + |244,7-253| + |244,7-237|}{3} \approx 5,57 \Omega_{\text{н.}}$$

$$\Delta R_{2\text{нр.}} \approx 0,50 \Omega_{\text{н.}}$$

$$\delta R_2 \approx 0,02$$

$$\delta R_3 \approx 0,20 \%$$

4) $R_1 = 10000 \text{ Ом}$: $\Delta R_{2\text{ef}} = \frac{(2443,3 - 2880) + (2443,3 - 2510) + (2443,3 - 2440)}{3} \approx 44,43 \text{ Ом}$

 $\Delta R_{2\text{ef}} \approx 4,90 \text{ Ом}$
 $\delta R_2 \approx 0,018$; $\delta R_1 \approx 0,20\%$

1) $R_1 = 50$

2) $R_1 = 100$

3) $R_1 = 1000$

4) $R_1 = 10000$

4. Измерение неизвестной ёмкости C_x с постоянными погрешностями:

1) $U = 12V$:

$R_1, \text{Ом}$	$R_2^{(1)}, \text{Ом}$	$R_2^{(2)}, \text{Ом}$	$R_2^{(3)}, \text{Ом}$	$R_{2\text{ef}}, \text{Ом}$	$C_x, \mu\text{Ф}$	$C_{x,\text{иск},90}$	$\delta C_x, \%$	$\delta R_2, \%$	$\delta R_1, \%$	$\Delta C_x, \mu\text{Ф}$
50	12	22	2	13		4,17		54,0	0,21	2,27
100	24	34	16	24,7	1	4,05	0,2	25,0	0,21	1,03
1000	240	249	230	239,7		4,17		2,7	0,20	0,13
10000	2420	2450	2380	2416,7		4,14		1,0	0,20	0,08

Принят расчетная погрешность аналогична пункту 3.

1) $R_1 = 50 \text{ Ом}$: $\Delta R_{2\text{ef}} \approx 7 \text{ Ом}$; $\Delta R_{2\text{ef}} \approx 0,042 \text{ Ом}$

$\delta R_2 \approx 0,54$; $\delta R_2 \approx 0,25\%$

2) $R_1 = 100 \text{ Ом}$: $\Delta R_{2\text{ef}} \approx 6,23 \text{ Ом}$; $\Delta R_{2\text{ef}} \approx 0,060 \text{ Ом}$

$\delta R_2 \approx 0,25$; $\delta R_2 \approx 0,22\%$

3) $R_1 = 1000 \text{ Ом}$: $\Delta R_{2\text{ef}} \approx 6,43 \text{ Ом}$; $\Delta R_{2\text{ef}} \approx 0,491 \text{ Ом}$

$\delta R_2 \approx 0,027$; $\delta R_2 \approx 0,20\%$

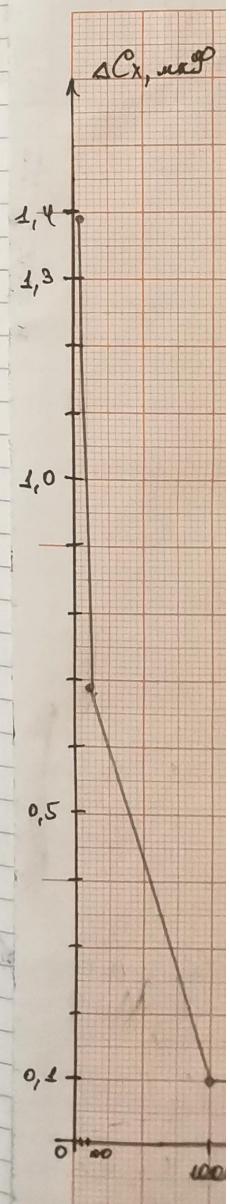
4) $R_1 = 10000 \text{ Ом}$; $\Delta R_{2\text{ef}} \approx 24,43 \text{ Ом}$; $\Delta R_{2\text{ef}} \approx 4,847 \text{ Ом}$

$\delta R_2 \approx 0,010$; $\delta R_2 \approx 0,20\%$

$\Delta C_x = C_x \cdot (\delta R_2 + \delta R_1 + \delta C_x)$

2) $U = 24V$:

$R_1, \text{Ом}$	$R_2^{(1)}, \text{Ом}$	$R_2^{(2)}, \text{Ом}$	$R_2^{(3)}, \text{Ом}$	$R_{2\text{ef}}, \text{Ом}$	$C_x, \mu\text{Ф}$	$C_{x,\text{иск},90}$	$\delta C_x, \%$	$\delta R_2, \%$	$\delta R_1, \%$	$\Delta C_x, \mu\text{Ф}$
50	12	18	6	12		4,17		33	0,21	1,39
100	24	29	18	23,7	1	4,22	0,2	16	0,21	0,69
1000	240	248	234	240,7		4,15		2	0,20	0,10
10000	2415	2428	2399	2413,3		4,14		0,4	0,20	0,03



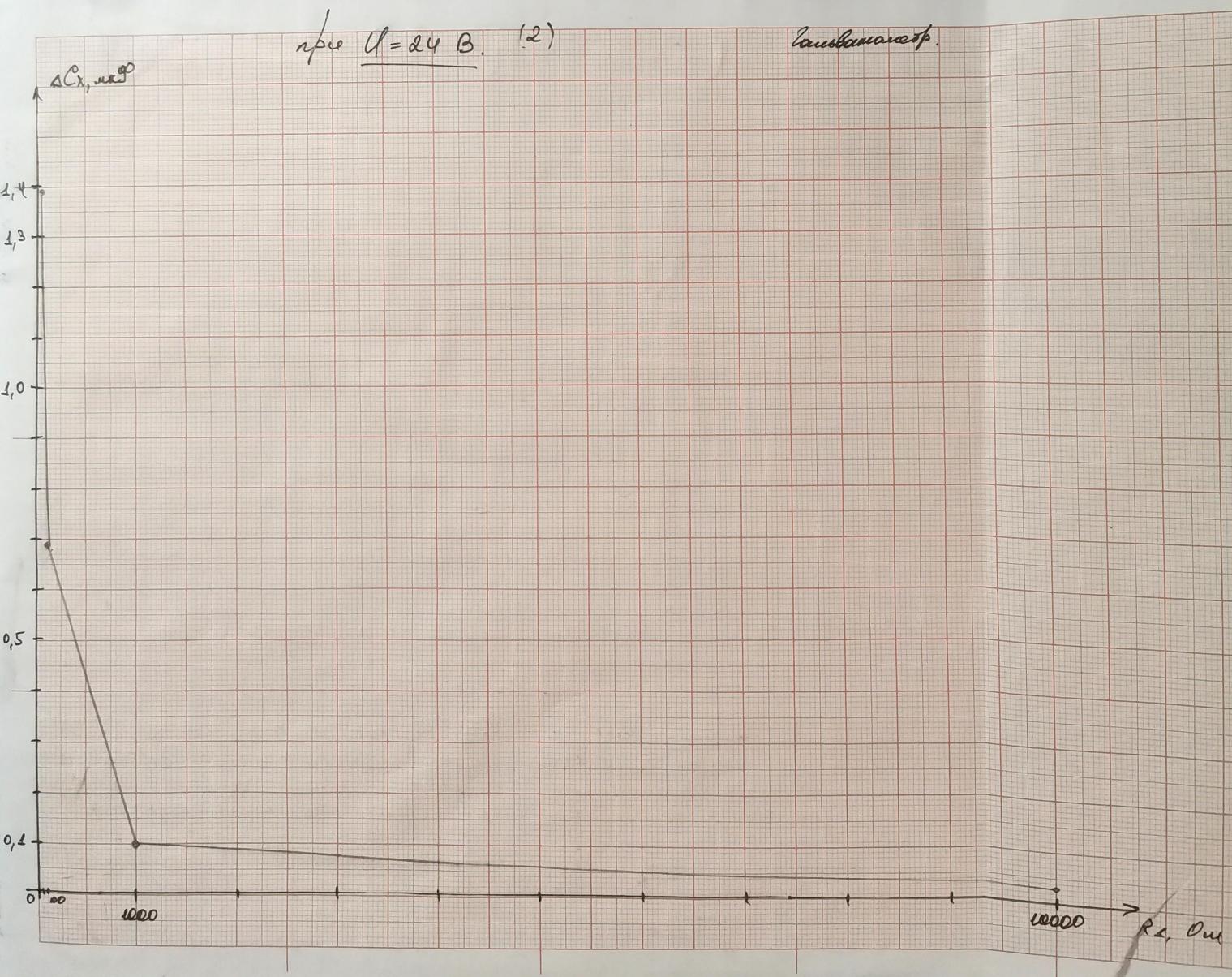
$$1) R_1 = 50 \text{ Au}: \Delta R_{2\text{ep}} \approx 4 \text{ Au} ; \Delta R_{2\text{nf}} \approx 0,033 \text{ Au} \\ \delta R_2 \approx 0,33 ; \delta R_1 \approx 0,21 \%$$

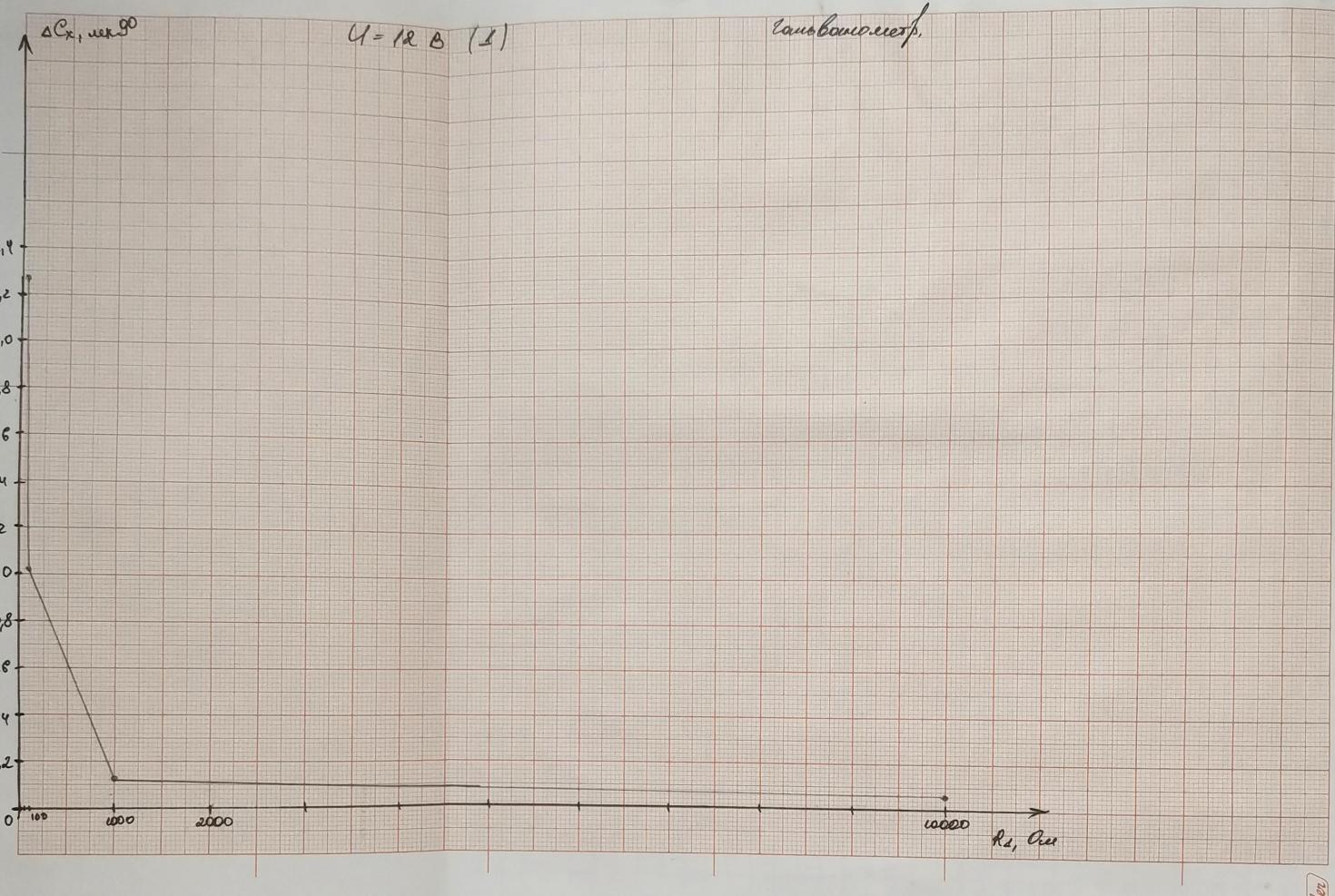
$$2) R_1 = 100 \text{ Au}: \Delta R_{2\text{ep}} \approx 3,77 \text{ Au} ; \Delta R_{2\text{nf}} \approx 0,058 \text{ Au} \\ \delta R_2 \approx 0,18 ; \delta R_1 \approx 0,21 \%$$

$$3) R_1 = 1000 \text{ Au}: \Delta R_{2\text{ep}} \approx 4,9 \text{ Au} ; \Delta R_{2\text{nf}} \approx 0,495 \text{ Au} \\ \delta R_2 \approx 0,02 ; \delta R_1 \approx 0,20 \%$$

$$4) R_1 = 10000 \text{ Au}: \Delta R_{2\text{ep}} \approx 9,57 \text{ Au} ; \Delta R_{2\text{nf}} \approx 4,847 \text{ Au} \\ \delta R_2 \approx 0,004 ; \delta R_1 \approx 0,20 \%$$

5. Графики зависимости нордико-северной измеренности от величины R_1 :





Father

Вывод: Измерение ёмкости изолированного конденсатора:

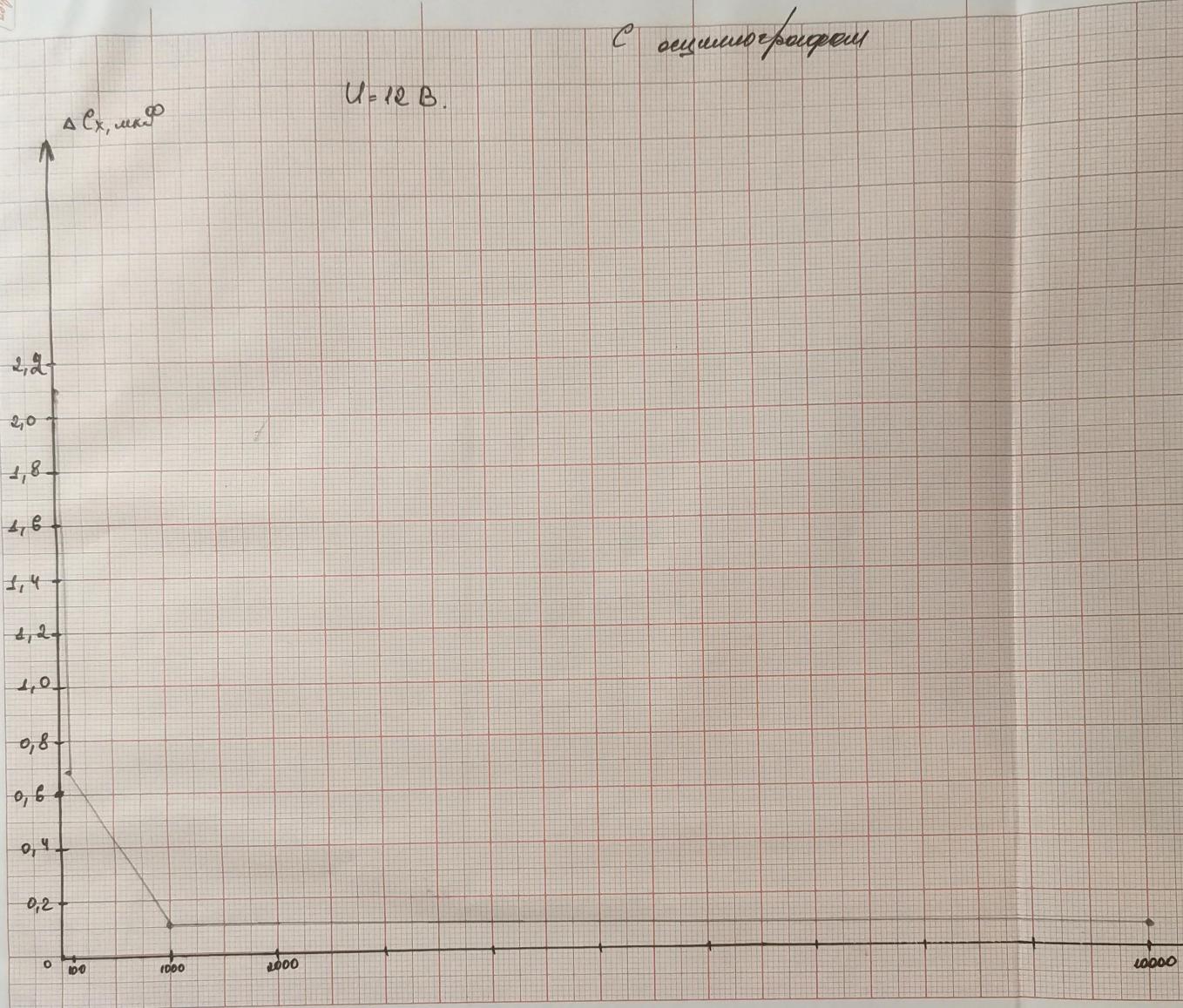
$$C_x = (4,14 \pm 0,06) \text{ мкФ}$$

- 2) По полученным данным можно сказать, что при измерении способе измерения (используя циркуляционную ячейку и генератор переменного напряжения) погрешность измерения лежит в диапазоне измерений (используя осциллограф и генератор переменного напряжения).
 - 3) При этом при увеличении R_L (и соответственно уменьшении R_2 для баланса ячейки) погрешность измерений также уменьшается в одинаковых масштабах.
- При $R_L > 1000 \Omega$. $\Delta C_x < 5\%$.

С ацидометром

$U = 12 \text{ В.}$

$\Delta C_x, \text{ мкФ}$



✓ 26.11.21