ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО ФИЗИКЕ НА ОСНОВЕ ЦИФРОВОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА CLab – *fx*-9860GII

Выпуск 1 ЭЛЕКТРОДИНАМИКА

Под ред. И.Е. Вострокнутова, Г.Г. Никифорова

Москва

2015

УДК 005 ББК 74.262.21 Л12

Лабораторный практикум по физике на основе цифрового измерительного комплекса *CLab* — *fx*-9860GII / И.Е. Востро-

Л12

кнутов, Г.Г. Никифоров, Д.С. Розанов, Е.Ю. Азаренко, А.И. Пальцев, И.В. Антонов, И.А. Духовникова, М.Ю. Жилкина, Т.А. Жолнович, Л.П. Мошейко, Т.Л. Панфилова, Е.Д. Федосова, С.В. Шарова, Е.А. Щенникова, Л.П. Якимчук; под ред. И.Е. Вострокнутова, Г.Г. Никифорова.

— М. : «Принтберри», 2015. — 80 с.

ISBN 978-5-91451-009-8

В настоящее время разработка оборудования и методики проведения лабораторного практикума для профильного уровня изучения физики — одна из актуальных проблем. Это связано с тем, что в программах профильного уровня выделено значительное время (по 20 часов в X и XI классах) на проведение практикума, однако ни тематика, ни оборудование не определены. В настоящем сборнике приведено подробное описание более десяти работ по электродинамике на базе современного цифрового измерительного комплекса Clab — *fx*-9860GII. Сборник предназначен для учителей физики профильных классов.

УДК 005 ББК 74.262.21

ISBN 978-5-91451-009-8

CASIO, 2015

Введение

В данном выпуске рассмотрено проведение работ практикума по электродинамике с применением цифровой лаборатории *CLab* и графического калькулятора *fx*-9860GII. Выпуск состоит из трех разделов. В первом из них на примере исследования электрических цепей *RC* и *RL*, подключенных к источнику постоянного тока, представлены основные принципы работы цифровой лаборатории *Clab* и режимы работы графического калькулятора *fx*-9860GII.

Описание исследований в первом разделе составлено максимально подробно с использованием конкретных экспериментальных результатов. Цель такой формы состоит в том, чтобы учитель получил возможность освоить технологию работы с измерительным комплексом *CLab* — *fx*-9860GII и составить инструкцию для учащихся в соответствии с реализуемыми в образовательном учреждении профилем и уровнем изучения физики.

Приведенные материалы показывают, что измерительный комплекс *CLab* — *fx*-9860GII не только на равных конкурирует с измерительными комплексами на базе компьютера, но и имеет целый ряд преимуществ: не требует программирования, работает без сценариев, позволяет по-строить любую функцию по результатам измерений, снимает проблему организации вычислений.

В связи с тем, что стандарт по физике второго поколения требует формирования у учащихся умений по постановке целей исследования, целесообразно составлять инструкции двух уровней (см. газету «Физика» издательства «Первое сентября» № 16, 2009 г., статьи Г.Г. Никифорова и др. и Н.В. Андреевой). Первый уровень — это подробная пошаговая инструкция, второй уровень дает возможность ученику на материале первого уровня самостоятельно выдвинуть цель исследования и разработать способ его выполнения.

Математический аппарат, используемый в материалах, не выходит за рамки курса «Алгебра и начала анализа».

Во втором разделе представлены разработки учителей из городов Рыбинска, Ярославля и Хабаровского края, которые активно участвуют в проекте «Школьный калькулятор». В этом разделе описаны опыты с использованием лаборатории EA-200, которая является прототипом CLab. CLab полностью соответствует EA-200, но только намного компактнее и удобнее в работе. Мы сознательно не вносили коррективы из уважения к авторскому праву учителей, которые одними из первых освоили нашу лабораторию. Принципы работы комплекса описаны в третьем разделе.

В настоящее время разработка оборудования и методики проведения лабораторного практикума для профильного уровня изучения физики — одна из актуальных проблем. Это связано с тем, что в программах профильного уровня выделено значительное время (по 20 часов в X и XI классах) на проведение практикума, однако ни тематика, ни оборудование не определены. В настоящем сборнике приведено подробное описание более десяти работ по электродинамике на базе современного цифрового измерительного комплекса *CLab fx*-9860GII. Сборник предназначен для учителей физики профильных классов.

> И.Е. Вострокнутов, д.п.н., профессор, научный руководитель образовательных программ CASIO в РФ и странах СНГ

РАЗДЕЛ 1. Технология и методика использования цифрового измерительного комплекса *CLab –fx-*9860GII впрактикуме по электродинамике. Примеры разноуровневых инструкций

1.1. Исследование разрядки конденсатора

I. Оборудование и цель исследования

Оборудование (рис. 1.1): цифровая лаборатория *CLab*; графический калькулятор *fx*-9860GII; кабель для обмена данными между *CLab* и графическим калькулятором; датчик (зонд) напряжения; неполярный электролитический конденсатор 220 мкФ; резисторы — 1 кОм, 20 кОм; батарея гальванических элементов 4,5 В; проводники, переключатель.

Цель исследования и краткая технология его проведения. Цель исследования — выяснить, как изменяется с течением времени напряжение U между обкладками конденсатора при его разрядке, т. е. определить вид функции U = u(t).

Для исследования разрядки конденсатора используется электрическая цепь, собранная по схеме, представленной на рис. 1.2. Конденсатор сначала заряжают от батареи гальванических элементов до напряжения U_0 , поставив переключатель в положение 1, затем разряжают через резистор сопротивлением R, переведя переключатель в положение 2.



Рис. 1.1



Для измерения напряжения между обкладками конденсатора и выяснения характера зависимости u(t) используются датчик напряжения l (рис. 1.3), цифровая лаборатория *Clab* и калькулятор fx-9860GII. Датчик напряжения включается в цепь параллельно исследуемому конденсатору. Разъем датчика подключается к аналоговому каналу CH1 лаборатории *Clab*. Для обмен данными калькулятора с CLab они соединяются проводом 3Pin (рис.1.3).

II. Явления, процессы, физические величины, выдвижение гипотез

Анализ разрядки конденсатора позволяет сделать вполне определенное заключение о характере и свойствах зависимости U = u(t).

Действительно, пусть в некоторый момент времени *t* напряжение на конденсаторе равно *U*, тогда заряд конденсатора $q = C \cdot U$. Под действием напряжения *U* через резистор *R* пойдет ток $i = \frac{U}{R}$. Сила тока

i равна $\frac{\Delta q^*}{\Delta t}$, где Δq^* — заряд, прошедший через поперечное сечение проводника, из которого изготовлен резистор.

С другой стороны, за это же время заряд конденсатора уменьшится на Δq , в связи с чем напряжение уменьшится на ΔU , тогда $\Delta q = C \cdot \Delta U$. Ясно, что Δq и Δq^* равны по модулю и противоположны по знаку,

поэтому $\frac{\Delta q^*}{\Delta t} = \frac{U}{R}$ и $\frac{\Delta q}{\Delta t} = -\frac{U}{R}$. Заменим Δq на $C \cdot \Delta U$. Получим: $\frac{C \cdot \Delta U}{\Delta t} = -\frac{U}{R}$ и $\frac{\Delta U}{\Delta t} = -\frac{1}{R \cdot C} \cdot U$.

Конденсатор разряжается так, что в каждый момент времени скорость убывания напряжения пропорциональна напряжению в этот момент:

$$\frac{\Delta U}{\Delta t} = -\frac{1}{R \cdot C} \cdot U.$$

Известно, что предел отношения $\frac{\Delta U}{\Delta t}$ — это производная от *U*. Из курса алгебры и начал анализа следует, что функция, производная которой пропорциональна самой функции, является показательной. Также известно, что любую показательную функцию можно выразить через показательную функцию с основанием *e* = 2,718 ≈ 2,7.

Проверим, удовлетворяет ли функция $U = U_0 \cdot e^{-\frac{t}{R \cdot C}}$ уравнению $\frac{\Delta U}{\Delta t} = -\frac{1}{R \cdot C} \cdot U.$

Действительно:

$$U_t' = \lim \frac{\Delta U}{\Delta t} = U_0 \cdot e^{-\frac{t}{R \cdot C}} \cdot \left(-\frac{t}{R \cdot C}\right)' = -\frac{1}{R \cdot C} \cdot U_0 \cdot e^{-\frac{t}{R \cdot C}} = -\frac{1}{R \cdot C} \cdot U.$$

Итак, если конденсатор емкостью C, заряженный до напряжения U_0 , разряжается через резистор сопротивлением R, то напряжение на конденсаторе зависит от времени по закону

$$U = U_0 \cdot e^{-\frac{t}{R \cdot C}}.$$

Каков физический смысл величины R · C? Эта величина имеет раз-

мерность времени. Действительно, $[R] = O_M = \frac{B}{A}$, $[C] = \frac{K\pi}{B} = \frac{A \cdot c}{B}$.

Следовательно, $[R \cdot C] = \frac{B}{A} \cdot \frac{A \cdot c}{B} = c.$

Промежуток времени $t_0 = R \cdot C$ называют *временем релаксации*. Выясним смысл t_0 . Если от начала разрядки прошло время $t = t_0$, то

$$U_1 = U_{r_0} = U_0 \cdot e^{-\frac{R \cdot C}{R \cdot C}} = U_0 \cdot e^{-1} = \frac{U_0}{e} = \frac{U_0}{2,7} = 0,37 \cdot U_0.$$

Через промежуток времени t_0 напряжение уменьшилось в 2,7 раза. Через промежуток времени $2t_0$ напряжение окажется равным

$$U_{2} = U_{2t_{0}} = U_{0} \cdot e^{-\frac{2RC}{RC}} = U_{0} \cdot e^{-2} = \frac{U_{0}}{e^{2}} = \frac{U_{0}}{2,7^{2}} = 0,14 \cdot U_{0}.$$

Аналогично (см. рис. 1.4)

$$U_3 = U_{3t_0} = \frac{U_0}{e^3} = \frac{U_0}{2,7^3} = 0,05 \cdot U_0$$

Если промежуток времени между измерениями равен $t_0 = R \cdot C$, то

$$\frac{U_0}{U_1} = 2,7;$$
 $\frac{U_1}{U_2} = 2,7;$ $\frac{U_2}{U_3} = 2,7.$

Другими словами, мы выяснили, что

$$\frac{U_n}{U_{n+1}} = 2,7.$$

Проведем исследование с резистором сопротивлением R = 20 кОм и конденсатором емкостью C = 220 мкФ. Параметр $t_0 = 20 \cdot 10^3 \cdot 220 \cdot 10^{-6} = 20 \cdot 220 \cdot 10^{-3} =$ = 4,4 (c).

Численные значения сопротивления и емкости известны с

погрешностью 10 %. Следовательно, действительные значения конкретных образцов принадлежат интервалам

18 кОм < *R* < 22 кОм, 198 мкФ < *C* < 242 мкФ.

Оценим интервал, которому принадлежит значение t_0 . Это можно сделать двумя способами (см. «Изучение физики в школе с использованием научных калькуляторов» под ред. Г.Г. Никифорова): методом границ и методом границ погрешностей.

Воспользуемся первым способом:

нижняя граница $t_{0 \text{ в.}} = 18 \cdot 10^3 \cdot 198 \cdot 10^{-6} = 3,5$ (c); верхняя граница $t_{0 \text{ в.}} = 22 \cdot 10^3 \cdot 242 \cdot 10^{-6} = 5,3$ (c).

 $2t_0$

t₀

Рис. 1.4

Итак, 3,5 с $< t_0 < 5,3$ с. Можно сделать и так:

U

 U_0

0

 $U_1 = 0.37 U_0$

 $U_2 = 0.14 U_0$

 $U_3 = 0.05 U_0$

 $\varepsilon_{t_0} = \varepsilon_R + \varepsilon_C = 10 \% + 10 \% = 20 \%.$ $\Delta t_0 = 4, 4 \cdot 0, 2 = 0, 88 \approx 0, 9 \text{ (c)}.$

Следовательно, 3,5 с $< t_0 < 5,3$ с.

Часть А (первый уровень)

Возможный вариант выполнения исследования.

1. Сборка электрической цепи.

Соберите электрическую цепь (рис. 1.5) в соответствии со схемой, представленной на рис. 1.2, взяв резистор 20 кОм.

2. Настройка оборудования и подготовка к измерению.

2.1. Включение CLab и fx-9860GII.

Соедините *CLab* и *fx*-9860GII кабелем 3 Ріп. Датчик напряжения вставьте в порт CH1 лаборатории и подключите в цепь параллельно



Рис. 1.5

исследуемому конденсатору в точках A, B (рис. 1.2). Включите калькулятор, нажав клавишу [AC/^{ON}]. В главном меню (MAIN MENU) клавишей [REPLAY] выделите черным цветом пик тограмму режима E-CON2 и нажмите [EXE] для входа в него.



Для включения *CLa* нажмите кнопку в верхней части корпуса. Она должна начать мигать зеленым цветом.

2.2. Настройка CLab на измерение напряжения. В

главном меню режима E-CON2



нажмите [F1] (SET) для входа в меню настройки лаборатории. В нижней строке экрана появятся пиктограммы двух подменю выбора параметров: WIZ (мастер настройки) и ADV (ручная настройка):



Нажмите клавишу [F2] для выбора ADV. Откроется меню ручной настройки:

Advanced Setup for EXPERT
[1]: Channel
[2]: Sample
[3]: Trigger
[4]: Graph
[5]: Custom Probe
[<u>[6]: Initialize</u>
STRT MLTI MEN PROF ORRA ABT
ISTRT MLTI (0140 0340 0340 0340 0485

В нем нажмите [1] (Channel) для входа в подменю выбора канала подключения датчика:

Channel	Setur
CH 1	Temperature
I KH 목	
SÖNIC S	
_Mic	
Kanse:-:	20~130~0
Eren, mun,	antilia, luone

В этом окне клавишей [REPLAY] переместите выделение на строку CH1. Теперь все последующие настройки будут относиться к каналу CH1 лаборатории *CLab*.

Нажмите [F1] (CASIO) для входа в подменю выбора датчиков производства CASIO, входящих в комплект лаборатории. На экране появится список датчиков:

Клавишей [REPLAY] выделите нужный датчик (в данном случае Voltage — напряжение) и нажмите [EXE]. В строке CH1 справа от двоеточия появится надпись Voltage, означающая, что канал CH1 настроен на прием данных от датчика напряжения.

[Channel Setue
	CH 1 :Voltage
	CH 2 :
	CH 3 C
	Mic :
	Range:-10~10V
	CASIF USNR CSTA None

Нажмите [EXIT] для возврата в меню ручной настройки.

Advanced Setup for EXPERT
[1]: Channel
[2]: Sample
[3]: Trisser
[4]: Graph
[5]: Custom Probe
<u>[6]: Initialize</u>
STRT MLTI MEN PROF ORRA ABT

2.3. Настройка длительности измерения и шага замеров.

В окне ручной настройки нажмите клавишу [2] (Sample) для входа в подменю настройки параметров измерений:

Sample Set	UP
Mode	Real-time
Number	:0.25eC :601
Warm-up	:Auto
R-T Fast Nor	m Exita HELP D

Клавишей [REPLAY] выделите строку Mode (режим проведения измерений). В этой строке выбирается наиболее удобный из встроенных режимов проведения измерений. Нажмите [F3] (Norm) для выбора режима измерений Normal (нормальный).

Sample Set	,UP
Mode	:Normal
Interval	:0.05sec
number	[0600m05s]
Warm-up	Auto
R-T Fast Nori	m (Exctal <u>litens</u>) – D

Переместите выделение на строку Interval (шаг). В этой строке задается временной интервал между соседними замерами, то есть шаг, в пределах выбранного режима проведения измерений.

Sample Set	UP.
Mode	:Normal
Interval	:0.05sec
Number	:101
	[@h00m05s]
Warm-up	:Auto
NUM	

Нажмите [F1] (NUM) для изменения шага: откроется окно, в которое необходимо ввести нужную величину шага в пределах указанного на экране интервала.

Sa	<u>ا</u>
Sampling Interval	L
П а ааа5-299 сес	Б
	[-
NUM	-

Шаг выбирается произвольно в зависимости от требуемой точности проведения измерений.

В данном случае время релаксации рассчитано по номинальным значениям сопротивления и емкости с точностью 0,1 с. Поэтому чтобы пренебречь погрешностью измерений, связанных с величиной шага, целесообразно задать точность шага на порядок выше, то есть 0,01 с.

Введите число 0,01 и нажмите [EXE] для сохранения заданного значения и возврата в подменю настройки параметров опыта.



Переместите выделение в строку Number (количество замеров). В этой строке задается количество замеров, которые выполнит *CLab* в процессе измерения. В этой же строке в квадратных скобках указывается полная длительность измерения, рассчитываемая калькулятором по заданным шагу и количеству замеров.



Поскольку время релаксации составляет 4,4 с, то достаточное время разрядки (полная длительность измерения) $t_{\text{max}} = 25$ с. В этот промежуток времени укладывается $n = \frac{25}{4,4} \approx 5$ интервалов, кратных времени релаксации. Напряжение за это время уменьшится до $U = \frac{U_0}{2,7^5} = 0,007U_0 \rightarrow 0$. Соответственно, при шаге 0,01 с для достижения t_{max} потребуется 2500 за-

меров. Нажмите [F1] для изменения количества замеров: откроется окно,

Нажмите [F1] для изменения количества замеров: откроется окно, в которое необходимо ввести нужное число в пределах указанного на экране интервала.



Введите число 2500 и нажмите [EXE] для сохранения введенного значения и возврата в подменю настройки параметров опыта.



Теперь в квадратных скобках в строке Number полная длительность измерения составляет 24,99 с (с учетом нулевого замера).

Нажмите [EXIT] для возврата в окно ручной настройки.

Advanced Setup for EXPERT
[2]: Sample
[3]: Trigger [4]: Graph
[5]: Custom Probe [6]: Initialize

3. Проведение измерения.

Для проведения измерения нажмите [F1] (STRT — сокращ. от англ. старт). На экране появится запрос о проверке готовности комплекса к выполнению измерения, а именно:

1) IS THE SENSOR CONNECTED? — Подключен ли датчик?

2) CONNECT LINK-CABLE FIRMLY? — Прочно ли закреплен кабель связи калькулятора с *EA-200* (Это аналог CLab)?

3) IS SAMPLING DONE? — Заданы ли параметры измерения?

Параметры измерения были заданы в пунктах 2.2 и 2.3. Проверьте подключение датчика и кабеля и нажмите [EXE]. Калькулятор приступит к подготовке *CLab* к проведению измерения. В это время на экране отображается информационно-диалоговое окно:

====== EA-200 =======
Setting EA-200
Cancel:[AC]

Если хотя бы одно из условий окажется невыполненным, калькулятор выдаст сообщение об ошибке — Communication ERROR:

Communication ERROR *CONNECT LINK-CABLE FIRMLY? *SLIDE CON-OFFJ ON EA-200. *REMOUE SENSOR NOT TO USE. PRESS ANY KEY

В этом случае нужно нажать любую клавишу калькулятора для возврата в меню настроек, проверить правильность подключения датчика и соединительного провода, а также соответствие настроек используемому датчику. Затем следует повторно нажать [F1] (STRT) для проведения измерения.

Если система готова к работе, появится запрос на проведение измерения: Start sampling? (Начать измерения?) — и указание нажать [EXE] для проведения измерения:



Нажмите [EXE]: *CLab* начнет проводить замеры. После этого сразу же переведите выключатель цепи в рабочее положение. Во время про-ведения измерения на экране отображается таймер обратного отсчета полной длительности измерения:

Sampling... Sampling... 1 sec Cancel:[AC]

Отметим следующее: так как замеры проводятся с шагом 0,01 с, то замкнуть электрическую цепь необходимо как можно скорее после запуска лаборатории, для того чтобы наблюдаемый в опыте эффект полностью попал во временной интервал работы лаборатории.

Завершив измерение, калькулятор выведет на экран график (рис. 1.6) зависимости напряжения в электрической цепи от времени (горизонтальная ось — время, вертикальная ось — напряжение в цепи).

4. Представление результатов измерения в табличной форме.

Первый этап обработки результатов измерения — составление таблицы значений измеренных величин. Его можно выполнить двумя способами.

В обоих случаях снятие показаний осуществляется трассировкой графика, то есть перемещением курсора по экспериментальным точкам.

Различие способов заключается в масштабировании графика. В первом случае масштаб выбирается калькулятором автоматически (см. рис. 1.6), при этом на экране отображается только часть экспериментальных точек. Во втором случае устанавливается масштаб, при котором на экране одновременно отображаются все экспериментальные точки.



4.1. Способ 1.

Нажмите [F1] (Тгасе) для входа в режим трассировки Тгасе: на графике появится курсор в виде крестика, а в нижней строке экрана будут отображаться его текущие координаты.

Заметим, что любая показательная функция подобна сама себе (см. «Алгебра и начала анализа»). Этим можно воспользоваться для уменьшения погрешности при сканировании



Таблииа 1.1

<i>t</i> , c	1	3,2	5,4	7,6	9,8	12,0	14,2	16,4	18,6
<i>U</i> , B	4,38	2,62	1,58	0,97	0,59	0,38	0,25	0,17	0,12

кривой с целью определения U_0 . Поэтому за начало отсчета можно взять t = 1 с.

Стрелкой влево (или вправо) клавиши [REPLAY] переместите курсор в точку с абсциссой t = 1 с (рис. 1.7, *a*). Внесите значения времени и напряжения в таблицу 1.1. Перемещая курсор стрелкой вправо клавиши [REPLAY] по графику в точки, отстоящие друг от друга с интервалом 2,2 с (это половина интервала времени релаксации), заполните таблицу 1.1 данными.

Отметим, что при переходе курсора к точке графика, находящейся за пределами текущего окна, график сдвигается так, чтобы точка попала на экран (рис. 1.7, *в*). Для выхода из режима Trace нажмите [EXIT].

Переструктурируем таблицу 1.1 в предположении, что система координат на рис. 1.7 переместилась вправо на 1 с. Получим таблицу 1.2.

<i>t</i> , c	0	2,2	4,4	6,6	8,8	11,0	13,2	15,4	17,6
<i>U</i> , B	4,38	2,62	1,58	0,97	0,59	0,38	0,25	0,17	0,12

Таблица 1.2

4.2. Способ 2.

1) При выведенном на экран калькулятора графике разрядки конденсатора нажмите [F3] для входа в подменю V-Window (окно просмотра): в нижней строке экрана появится список доступных в этом подменю функций.



Нажмите [F2] (FULL) для выбора функции показа всего графика на экране. Калькулятор выведет график на экран в масштабе, позволяющем отобразить одновременно все экспериментальные точки:



Нажмите [EXIT] для выхода из подменю VWindow.

2) Снимите показания с графика в режиме Тгасе и убедитесь в том, что зафиксированные в таблице 1.1 значения напряжения совпадают с полученными вторым способом в соответствующие моменты времени.

5. Сохранение результатов измерения.

В режиме E-CON2 предусмотрена возможность сохранения данных каждого проведенного измерения, что позволяет многократно анализировать измеренные данные, а также проводить сравнительный анализ нескольких измерений.

При выведенном на экран графике перейдите в главное меню E-CON2, нажав [EXIT]. Войдите в режим графического анализа, нажав [F5] (GRPH). В меню графического анализа нажмите [F2] (DATA) для входа в подменю измеренных данных. В открывшемся окне в строке

сd (канал данных) указан канал, с использованием которого проводилось последнее измерение, в данном случае CH1. Нажмите [F2] (SAVE — англ. сохранить): откроется окно, в котором под заголовком Specifications (технические параметры) указаны параметры сохраняемых данных, под заголовком Sample Data Name (название измеренных данных) расположена строка ввода названия создаваемого файла данных. Введите название, используя буквы и цифры клавиатуры калькулятора, например «20KOM.220MKF». Нажмите [EXE]: откроется окно выбора области памяти экспериментальных данных. Введите номер области памяти, в которой будут сохранены данные, например 1, и нажмите [EXE]: калькулятор вернется в подменю измеренных данных. Теперь в строке 1 указано название файла сохраненных данных. Нажмите два раза [EXIT] для выхода в главное меню E-CON2.

Отметим, что для просмотра списка сохраненных экспериментальных данных из меню графического анализа (GRPH) нужно войти в подменю измеренных данных (DATA).

6. Экспериментальная оценка параметров, характеризующих разрядку конденсатора.

Экспериментальная оценка параметров, характеризующих разрядку конденсатора, может быть проведена двумя способами.

Первый способ — это анализ измерительной информации, полученной сканированием графика разрядки в режиме Тгасе, результаты которого зафиксированы в таблицах 1.1 и 1.2. Второй способ — использование возможности калькулятора обрабатывать весь массив измеренных данных.

6.1. Построение графика по результатам исследования процесса разрядки и оценка точности измерений.

Постройте на планшете график разрядки по эмпирическим данным, зафиксированным в таблице 1.1 (график *1* на рис. 1.8). Оцените по-грешность эмпирических данных.

В режиме TABLE калькулятора получите таблицу значений функции $U = 4,38 \cdot 2,7^{-\frac{t}{4,4}}$ с шагом 2,2 с в интервале от 0 до 17,6 с. Заполните таблицу 1.3 и оцените (в %) отклонение между эмпирическими и теоретическими данными.

В главном меню (MAIN MENU) выделите пиктограмму TABLE и нажмите [EXE]: откроется список функций. Выделите цветом любую строку, например Y1, и введите в нее функцию, нажав соответствующие цифровые и функциональные клавиши калькулятора. По окончании ввода выражения нажмите [EXE] для его сохранения. Нажмите [F5] для входа в окно настройки параметров расчета таблицы SET. В этом окне в строку Start введите начальное значение интервала построения таблицы

Таблица 1.3



Рис. 1.8

данных, в строку End — конечное значение, в строку Step — шаг изменения аргумента. Отметим, что для сохранения введенных значений по окончании ввода каждого числа нужно нажать [EXE]. Нажмите [EXIT] или [EXE] для возврата к списку функций. Нажмите [F6] (TABL) для построения таблицы. Отметим, что перемещение по данным таблицы осуществляется стрелками клавиши [REPLAY].



Расчет отклонений проведите в статистическом режиме STAT. Для этого в главном меню (MAIN MENU) выделите пиктограмму STAT и

1	n	0	1	2	3	4	5	6	7	8
2	<i>t_n</i> , c	0	2,2	4,4	6,6	8,8	11,0	13,2	15,4	17,6
3	$U_{n \text{ teop.}}, \mathbf{B}$	4,38	2,66	1,61	0,98	0,60	0,36	0,22	0,13	0,08
4	<i>U_{п эмпир.}</i> , В	4,38	2,62	1,58	0,97	0,59	0,38	0,25	0,17	0,12
5	Отклонение $(\delta_n), \%$	0	1,5	1,9	1,0	1,7	5,6	13,6	31	50

нажмите [EXE]: откроется табличный редактор. В столбцы 1 и 2 (List1 и List2) внесите, соответственно, данные из строк 3 и 4 таблицы 1.3.

							_						
Г		LiSt I	LiSt 2	LiSt	3	LiSt 4			LiSt 1	LiSt 2	LiSt 3	a List	4
SI	UB[SUB					
	1	4.38	4.38					п	0.22	0.25			
	리	2.66	2.62			I		B	0.13	0.17			
	3	1.51	1.58			I		9	0.08	0.12			
	4	0.98	0.97			I		10					
												-	
	iRP	H, CALC	TEST I	NTR I	DIS			GRE	YH, CALC	TEST 1	NTR D	IST	D
_							-						

Выделите шапку столбца 3 и наберите формулу для расчета отклонений:

$$\delta = \frac{\left|U_{n \text{ теор.}} - U_{n \text{ эмпир.}}\right|}{U_{n \text{ теор.}}} \cdot 100 \%$$

Выражение для ввода в калькулятор будет иметь вид:

Abs(List1–List2) \div List1×100.

Отметим, что в процессе ввода формула, как и любые данные, отображается в строке ввода в нижней части экрана. Для ввода символа модуля нажмите [OPTN], в открывшемся списке функций нажмите [F2] (CPLX) для входа в подменю комплексных функций. В нем нажмите [F2] (Abs) для вызова функции модуля. Ввод слова List осуществляется последовательным нажатием [SHIFT] и [1].

	LiSt I	List a	LiSt B	LiSt 4	Γ	Г		LiSt	Т	LiSt	5	LiSt	Э	LiSt	4
SUB					11	5	SUB (
1	4.38	4.38	0		11		ר	٥.	55	٥.	25	13.6	i36		
2	2.66	5.65	1.5037				8	۵.	13	٥.	17	30.1	169		
3	1.61	1.58	1.8633				9	٥.	08	٥.	15		50		
4	0.98	0.97	1.0204	I,	U.		10								
	_				21	11.	_	_	_				_		
<u> </u>	Abs	Argl	onj R	P IMF			<u>i</u>	<u> </u>	bS	<u>Ars</u>	3 0	.onj	Re	P In	nΡ

Из таблицы 1.3 видно, что относительные отклонения при измерении малых напряжений резко возрастают. Этот факт надо учитывать при получении различных выводов из результатов измерений. Чем больше погрешность исходных данных, тем менее достоверны выводы.

6.2. Определение фундаментальной математической постоянной е.

Для определения *е* достаточно взять (в интервале малых погрешностей) любые отношения значений напряжений, измеренных с интервалом $t_0 = 4,4$ с (четвертая строка таблицы 1.3).

			Таблица 1.4
U_0	U_1	U_2	U_3
$\overline{U_2}$	$\overline{U_3}$	$\overline{U_4}$	$\overline{U_5}$
4,38	1,58	2,62	0,97
1,58	0,59	0,97	0,38
2,77	2,67	2,70	2,55

Введите в столбец 4 таблицы режима STAT отношения измеренных напряжений из таблицы 1.3 в соответствии с шапкой таблицы 1.4.



Занесите результаты в таблицу 1.4.

Среднее значение определяется как $e_{\rm cp.} = \frac{2,77 + 2,67 + 2,70 + 2,55}{4}$.

Для его расчета переведите выделение в первую строку столбца 5. Нажмите [OPTN] для входа в меню дополнительных функций калькулятора. В нем нажмите [F1] (LIST) для входа в подменю списочных функций. Нажмите [F6] (▶) для перехода к функциям, не уместившимся на экране. Нажмите [F3] (Меап) для вызова функции вычисления среднего арифметического. В качестве аргумента введите название четвертого столбца (List 4) и нажмите [EXE] для выполнения расчета.



 $e_{\rm cp.} = 2,67 \approx 2,7.$

При оценке *е* по результатам всей совокупности отклонение от 2,7 резко увеличится. Добавьте в столбец 4 оставшиеся отношения напряжений из таблицы 1.3. В ячейке 2 столбца 5 повторно проведите расчет среднего арифметического данных столбца 4.

	LiSt	5	LiSt	в	LiSt	4	LiSt	5
SUB								
1	ч.	38		0	2.11	121	2.67	59
2	2.	62	1.50	37	2.61	19	2.48	32
в	1.	58	1.86	33	2.1	וסו		
4	٥.	97	1.02	04	2.55	26		
								•
Mi	n Ma	aχ	Mear	n fi	1ed l	Aι	19 -	D

 $e_{\rm cp.} = 2,48 \approx 2,5.$

При этом будет хорошо видно, что включение малых значений, полученных в конце разрядки, увеличивает отклонение параметров U_0 и t_0 от действительных значений.

6.3. Оценка параметров уравнения разрядки $U = U_0 \cdot e^{-\frac{t}{t_0}}$ по результатам эмпирических данных.

Измерительный комплекс CLab - fx-9860GII позволяет оценить U_0 и t_0 как по выборочным данным, зафиксированным в таблице 1.2 (или см. четвертую строку таблицы 1.3), так и по всей совокупности данных. При этом будет хорошо видно, что включение малых значений, по-лученных в конце разрядки, увеличивает отклонение параметров U_0 и t_0 от действительных значений.

Способ 1. Оценка U_0 и t_0 по выборочным данным.

Оцените U_0 и t_0 по результатам измерений от 0 до 8,8, 11 и 17,6 с.

Так как в столбце 2 режима STAT калькулятора содержатся данные напряжения на интервале 0 ÷ 17,6 с, целесообразно выполнить расчеты, начиная с максимального из заданных временных интервалов. В столбец 1 введите значения времени, соответствующие значениям напряжения столбца 2. Отметим, что столбец 1 можно предварительно очистить, выбрав в основном функциональном меню статистического режима функцию DEL-A (delite all — англ., удалить все), либо просто ввести новые данные в ячейки, так как при сохранении новых значений старые автоматически удаляются.

В основном функциональном меню нажмите [F2] (CALC) для входа в подменю статистической обработки данных. Проверьте настройку параметров обработки, для чего нажмите [F6] (SET) для входа в окно выбора обрабатываемых данных. В этом окне в строке 2Var XList задается номер столбца таблицы, содержащего независимую величину (аргумент) совместных измерений двух функционально связанных величин; в строке 2Var YList — номер столбца таблицы, содержащего зависимую величину (функцию) двух функционально связанных величин; в строке 2Var Freq — номер столбца таблицы, содержащего частоту повторения пар данных. Заводская настройка калькулятора такова, что аргументом задаются данные столбца 1, функцией — столбца 2, а частота принимается равной единице. Однако при изменении параметров этого окна новые настройки сохраняются для всех последующих расчетов. При необходимости замены столбца аргумента нужно переместить выделение в строку 2Var XList и нажать [F1]: откроется окно ввода номера столбца. Нужно ввести соответствующий номер и нажать [ЕХЕ]. Аналогично проводится замена в строках функции и частоты. Нажмите [EXIT] для выхода из окна выбора обрабатываемых данных.

Нажмите [F3] (REG) для входа в подменю выбора функции, аппроксимирующей экспериментальные данные. Нажав [F6] (▶), переместитесь во второе окно этого подменю, в котором выберите экспоненциальную зависимость, нажав [F2] (Ехр). Калькулятор выведет на экран результаты расчета:



В этом окне в нижней строке представлен вид расчетной функции, а в верхних двух строках, соответственно, — ее коэффициенты. Таким образом, функция имеет вид: $y = 3,98 \cdot e^{-0.21x}$. Следовательно по результатам измерений $U_0 = 3,98$ В, $\frac{1}{t_0} = 0,21$ с⁻¹. Зависимость напряжения от времени имеет вид $U = 3,98 \cdot e^{-0.21x}$, значит $t_0 = R \cdot C = \frac{1}{0,21} = 4,8$ с. Заполните соответствующую строку таблицы 1.5.

Удалите из столбцов 1 и 2 данные до t = 11 с. По аналогии проведите расчет параметров экспоненциальной регрессии для интервала $0 \div 11$ с. Снова удалив лишние данные, рассчитайте регрессию для интервала $0 \div 8,8$ с. Заполните таблицу 1.5.



Таблица	1.5
---------	-----

t _{max} , c	U_0, B	$-1/t_0$, 1/c	<i>t</i> ₀ , c	Вид зависимости U от t
8,8	4,34	-0,23	4,4	$U=4,34\cdot e^{-\frac{t}{4,4}}$
11	4,29	-0,22	4,5	$U = 4,29 \cdot e^{-\frac{t}{4,5}}$
17,6	3,98	-0,21	4,8	$U = 3,98 \cdot e^{-\frac{t}{4,8}}$

Во всех случаях (см. табл. 1.5) величина t_0 попадает в интервал достоверных значений.

Способ 2. Оценка U_0 и t_0 по всему ряду экспериментальных данных.

Параметры U_0 и t_0 в уравнении $U = U_0 \cdot e^{-\frac{1}{t_0}}$ можно оценить по всей совокупности эмпирических данных, собранных измерительным комплексом. Определите U_0 и t_0 для двух случаев: по данным в интервале погрешностей 5,5 % и на всем интервале.

Вариант 1.

Случай 1. Войдите в E-CON2. Перейдите в режим графического анализа GRPH ([F5]).

В этом режиме возможно построение от одного до трех графиков одновременно. Данные для построения задаются в строках Gph1 (график 1), Gph2 (график 2) и Gph3 (график 3). В строке Gph1 указано название сохраненного в пункте 5 файла данных. Стрелка слева от надписи Gph1 указывает на то, что при нажатии на клавишу [F6] (DRAW) этот график будет выведен на экран. Отметим, что отсутствие стрелки говорит о том, что построение графика отменено. Выбор графика для построения, равно как и отмена построения, осуществляется клавишей [F1] (SEL).

Выведите график на экран, нажав [F6] (DRAW). Перейдите к масштабу отображения на экране всех экспериментальных точек (см. п. 4.2 работы 1.1). Нажмите [OPTN] для вывода на экран меню дополнительных функций обработки экспериментальных данных. Нажмите [F4] (CALC) для входа в подменю аппроксимации экспериментальных данных. Нажав [F6], перейдите ко второй странице этого подменю.



Нажмите [F4] (Ехр) для выбора экспоненциальной зависимости: на графике появится курсор в виде крестика. Переместите курсор в точку с абсциссой 1 с и нажмите [EXE], чтобы ее зафиксировать. Обратите внимание на то, что при этом координата x этой точки примет нулевое значение. Так как согласно данным таблицы 1.3 границей интервала 5,5% погрешности можно принять t = 11 с, то переместите курсор в точку с абсциссой 11 с и нажмите [EXE].



Калькулятор выполнит расчет коэффициентов заданной функции (во время выполнения расчета в правом верхнем углу отображается индикатор работы калькулятора — черный квадрат).



Таким образом, зависимость напряжения от времени имеет вид: $U = 5,33 \cdot e^{-\frac{t}{4,5}}$.

Отметим, что график рассчитанной функции можно непосредственно наложить на экспериментальные данные, нажав [F6] (DRAW) или сохранить в виде функции в графическом редакторе, нажав [F5] (COPY). График сохраненной таким образом зависимости можно наложить на экспериментальные данные с помощью функции Y=fx из меню дополнительных функций.

Случай 2. Нажмите [EXIT] для возврата к графику. Уменьшите масштаб графика по оси x, для того чтобы использовать при аппроксимации все экспериментальные точки. Для этого нажмите [F2] для входа в подменю масштабирования ZOOM. В центре экрана появится курсор в виде лупы. Клавишей [REPLAY] переместите курсор в точку, которая станет центром масштабирования, то есть масштаб графика будет изменяться относительно этой точки. Нажмите [EXE] для сохранения заданного центра. Стрелкой влево клавиши [REPLAY] уменьшите масштаб по оси x так, чтобы правая граница окна просмотра оказалась примерно на 5 с больше экспериментального интервала. Нажмите [EXE] для сохранения заданного масштаба.



Так же, как в случае 1, рассчитайте экспоненциальную зависимость, но с той разницей, что верхней границей расчетного временного интервала задайте крайнюю правую точку экспериментального графика.



Получим:
$$U = 3,92 \cdot e^{-\frac{1}{5,6}}$$

Вариант 2.

Случай 1. Скопируйте экспериментальные данные в таблицу режима STAT. Для этого при выведенном на экран графике нажмите [OPTN] для входа в меню дополнительных функций обработки экспериментальных данных. Нажмите [F2] (LMEM) для входа в подменю сохранения данных в табличном редакторе. В открывшемся списке функций имеется возможность скопировать все данные, нажав [F1] (ALL) или выборочный диапазон данных — [F2] (SEL). Нажмите [F2]: на графике появится курсор. Переместите его в точку с абсциссой 1 с и нажмите [EXE]. Затем переместите курсор в точку с абсциссой 11 с и нажмите [EXE]. Калькулятор выдаст запрос о том, в каких столбцах таблицы статистического редактора следует сохранить данные. Так как первые пять столбцов заняты данными предыдущих расчетов, измените номера столбцов на 6 и 7. Для изменения номера столбца переместите выделение цветом на нужную строку, нажмите стрелку вправо клавиши [REPLAY], удалите старый номер, введите новое число и нажмите [EXE]. Повторное нажатие [EXE] приведет к выполнению копирования, по окончании которого калькулятор выдаст сообщение о завершении копирования: Complete! — Выполнено! Теперь столбцы 6 и 7 таблицы режима STAT заполнены экспериментальными данными.



В столбце 6 отсчет времени начинается с 1 с. Целесообразно откорректировать его таким образом, чтобы отсчет начинался с 0 с, то есть вычесть из каждого значения времени единицу. Для этого выделите шапку столбца 6 и введите формулу: List6—1. Нажмите [EXE] для выполнения расчета.

SUB 2 3 4 Li	L:St 4 2.1121 2.6119 2.101 2.5526 St 6-	L:St 5 2.6759 2.4832	L:St 6 TIME 02 04 05	L;St 7 Voltag 4.3798 4.3692 4.3376 4.3271	SUB 1 2 3 4	L:St 4 2.1121 2.6119 2.101 2.5526	L:St 5 2.6759 2.4832	L:St 6 TIME 0.02 0.04 0.05	L:St 1 Uolta3 4.3198 4.3692 4.3316 4.3316 4.3211
					GR	PH, CALC	TEST, I	NTR DIS	an ⊳

Теперь проведите аппроксимацию экспериментальной зависимости в меню CALC. Обратите внимание на то, что в окне настройки SET в строках выбора столбцов аргумента и функции нужно установить номера столбцов, соответственно, 6 и 7.



Получим: $U = 4,27 \cdot e^{-\frac{1}{4,5}}$.

Случай 2. Выведите на экран экспериментальный график. Уменьшите его масштаб по оси x так, чтобы правая граница окна просмотра оказалась примерно на 5 с больше экспериментального интервала. Скопируйте экспериментальные данные в столбцы 8 и 9 таблицы режима STAT, задав левую границу интервала копирования по оси времени 1 с, а правую — последнее экспериментальное значение. Откорректируйте данные столбца 8 таким образом, чтобы отсчет времени начинался с 0 с. Измените параметры аргумента и функции в окне настройки SET. Проведите расчет экспериментальной зависимости.



Получим: $U = 3,27 \cdot e^{-\frac{t}{5,6}}$.

7. Определение емкости конденсатора на основе измерения накопленного им заряда.

Результаты исследования позволяют оценить емкость конденсатора, определив заряд, который был накоплен в нем в начальный момент времени.

Для нахождения заряда надо определить площадь под графиком зависимости силы разрядного тока от времени (рис. 1.9).

Эта площадь численно равна $q = \int_{0}^{0} i(t)dt$. Вид функции i(t) неизвестен, но известен вид функции u(t). Учет того, что $u(t) = R \cdot i(t)$, дает $\int_{0}^{t_0} u(t)dt =$

$$= \int_{0}^{t_{0}} R \cdot i(t)dt = R \cdot \int_{0}^{t_{0}} i(t)dt = R \cdot q.$$
 Таким образом, заряд $q = \frac{0}{R}$.
Определите величину заряда, проведя графическое интегрирование на рис. 1.8 и вычислив интеграл на калькуляторе. Используйте функцию $U = 3,98 \cdot e^{-\frac{t}{4,8}}$ из таблицы 1.5.
Для нахождения $\int_{0}^{t_{0}} u(t)dt$ с помощью калькулятора в режиме GRAPH постройте график функции $U = 3,98 \cdot e^{-\frac{t}{4,8}}$. При выведенном на

экран графике нажмите [F5] для входа в меню анализа графиков G-Solv. Нажав [F6], перейдите ко второй странице этого меню. Нажмите [F3] (dx) для выбора функции интегрирования.



Для ввода левого предела интегрирования нажмите $[X, \theta, T]$: на экране появится окно ввода нижнего предела интегрирования (Enter Lower Bound — Введите Нижний Предел). Наберите 0 и нажмите [EXE] для сохранения введенного значения. Для ввода правого предела интегрирования снова нажмите $[X, \theta, T]$: на экране появится окно ввода верхнего предела интегрирования (Enter Upper Bound — Введите Верхний Предел). Наберите 17.6 и нажмите [EXE] для проведения интегрирования. Результатом интегрирования является штриховка области интегрирования и вывод в нижней строке экрана численного значения интеграла для указанных пределов.



Таким образом,
$$\int_{0}^{t_0} u(t)dt = R \cdot q = 18,6$$
 В · с. Следовательно $q = \frac{18,6}{20000} = 9,3 \cdot 10^{-4}$ (Кл).

Емкость конденсатора определяется как $C = \frac{q}{U_0} = \frac{9,3 \cdot 10^{-4}}{3,98} =$

= $2,3 \cdot 10^{-4}$ (Ф). Номинальное значение емкости использованного в работе конденсатора $C_{_{\rm HOM.}} = 220 \cdot 10^{-6}$ Ф = $2,2 \cdot 10^{-4}$ Ф. Полученное значение отличается от номинального на 5%. Воспользуйтесь графиком *1* на рис. 1.8 и определите заряд конденсатора и его емкость (рис. 1.10).

Часть В (второй уровень)

При исследовании разряда конденсатора можно найти достаточно много интересных проблем. Попытайтесь самостоятельно отыскать такую проблему и разработать способ ее экспериментальной проверки по аналогии с исследованием в части А.

Одна из возможных проблем: выяснить, как изменятся результаты измерений при увеличении шага замеров до 0,1 с.



Рис. 1.10

Другая проблема: выяснение влияния величины сопротивления резистора и емкости конденсатора на длительность протекания процесса разрядки. Например, можно заменить резистор 20 кОм на резистор 1 кОм. Удастся ли обнаружить уменьшение времени релаксации в 20 раз?

1.2. Исследование зарядки конденсатора, подключенного через резистор к источнику постоянного напряжения

I. Оборудование и цель исследования

Оборудование (рис. 1.11): цифровая лаборатория *CLab*; графический калькулятор *fx*-9860GII; кабель для обмена данными между CLab и





графическим калькулятором; датчик (зонд) напряжения; неполярный электролитический конденсатор 220 мкФ; резисторы — 1 кОм, 20 кОм; батарея гальванических элементов 4,5 В; проводники, переключатель.

Цель исследования и краткая технология его проведения. Цель исследования — выяснить, как изменяется с течением времени напряжение U между обкладками конденсатора при его зарядке, т. е. определить вид функции U = u(t).

Для исследования зарядки конденсатора используется электрическая цепь, собранная по схеме, представленной на рис. 1.12. При замыкании ключа конденсатор начинает постепенно заряжаться, и напряжение на нем нарастает от нуля до U_0 .





Рис. 1.12

Рис. 1.13

Для измерения напряжения между обкладками конденсатора и выяснения характера зависимости u(t) используются датчик напряжения 1 (рис. 1.13), цифровая лаборатория CLab и калькулятор fx-9860GII. Датчик напряжения включается в цепь параллельно исследуемому конденсатору в точках A, B (рис. 1.12). Разъем датчика подключается к аналоговому каналу CH1 лаборатории *CLab*. Кабель обмена данными соединяет порт обмена данными «Мастер» 2 (рис. 1.13) лаборатории с калькулятором.

II. Явления, процессы, физические величины, выдвижение гипотез

В любой момент времени напряжение U_0 , создаваемое источником (рис. 1.14), равно $U_0 = R \cdot i + U$, где $U_0 - ЭДС$, U - напряжение $на конденсаторе. Отсюда следует, что <math>(U_0 - U) = R \cdot i$. Следовательно, $\Delta q = -\frac{1}{2} \cdot (U_0 - U)$

$$\frac{1}{\Delta t} = -\frac{1}{R} \cdot (U_0 - U)$$

Заменим
$$\Delta q$$
 на $(C \cdot \Delta U)$. Получим: $\frac{\Delta U}{\Delta t} = -\frac{1}{R \cdot C} \cdot (U_0 - U)$

Это уравнение аналогично уравнению $\frac{\Delta U}{\Delta t} = -\frac{1}{R \cdot C} \cdot U$ для разрядки конденсатора, если заменить в нем U на $(U_0 - U)$. Таким образом, мы можем записать $(U_0 - U) = U_0 \cdot e^{-\frac{t}{R \cdot C}}$, то есть $U = U_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{R \cdot C}}\right)$.

Каков физический смысл времени релаксации t₀ (рис. 1.14)?

Определим значения: U_1 – через промежуток времени $t_1 = t_0$, U_2 – через промежуток времени $t_2 = 2t_0$, U_3 – через промежуток времени $t_3 = 3t_0$.

$$U_1 = U_0 \cdot (1 - 2, 7^{-1}) = U_0 \cdot \left(1 - \frac{1}{2, 7}\right) = 0,63 \cdot U_0.$$
(1)



$$U_2 = U_0 \cdot \left(1 - \frac{1}{2, 7^2}\right) = 0,86 \cdot U_0.$$
⁽²⁾

$$U_{3} = U_{0} \cdot \left(1 - \frac{1}{2, 7^{3}}\right) = 0,95 \cdot U_{0}.$$
 (3)

Часть А (первый уровень)

Возможный вариант выполнения исследования.

1. Сборка электрической цепи.

Соберите электрическую цепь (рис. 1.15, δ) в соответствии со схемой, представленной на рис. 1.15, *а*. При необходимости быстро разрядить конденсатор используется провод 2—В (рис. 1.15, *а*).

2. Настройка оборудования, подготовка к измерению и проведение измерения.

Проведите настройку оборудования и подготовку к измерению так же, как при выполнении работы 1.1. Датчик напряжения включите в цепь параллельно исследуемому конденсатору в точках A, B (рис. 1.15, *a*). Проведите измерение.

3. Обработка результатов измерения.

По результатам измерения (рис. 1.16, таблица 1.6) постройте на планшете график зависимости *U*(*t*) (график 2 на рис. 1.8).

В режиме TABLE рассчитайте значения функции

$$U = U_0 \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{t_0}}\right) = 4,64 \cdot \left(1 - 2,7^{-\frac{t}{4,4}}\right)$$

и оцените отклонение б (см. раб. 1.1, п. 6.1).

Сравните характер изменения δ с аналогичным параметром процесса зарядки, дайте объяснение.





Рис. 1.15



Рис. 1.16

Таблица 16

									1 40.00	<i>iuu 1.0</i>
п				1		2		3		0
t_n , c	0	1,0	3,2	5,4	7,6	9,8	12,0	14,2	16,4	18,6
U_n , B	0,07	1,12	2,57	3,42	3,92	4,24	4,42	4,52	4,595	4,64
$U_{n \text{ teop.}}, B$	0	0,94	2,38	3,26	3,81	4,13	4,33	4,45	4,52	4,57
δ", %	8	20	8	5	3	2,5	2	1,6	1,5	1,5

4. Анализ эмпирических данных.

Анализ эмпирических данных можно провести двумя способами. *Способ 1.*

$$\frac{U_1}{U_0} = 0,63$$
 (см. формулу (1)), $\frac{U_2}{U_0} = 0,86$ (см. формулу (2)), $\frac{U_3}{U_0} = 0,95$

(см. формулу (3)).

Из таблицы 1.6 видно, что $U_1 = 3,42$ B; $U_2 = 4,24$ B; $U_3 = 4,52$ B. Получается: $\frac{U_1}{U_0} = \frac{3,42}{4,64} = 0,73$. Отклонение от теоретического результата составляет $\delta_1 = \frac{0,10}{0,63} = 16$ %. $\frac{U_2}{U_0} = \frac{4,24}{4,64} = 0,91$; $\delta_2 = \frac{0,05}{0,91} = 5,5$ %. $\frac{U_3}{U_0} = \frac{4,52}{4,64} = 0,97$; $\delta_3 = \frac{0,02}{0,95} = 2$ %.

Способ 2.

Определение параметров U_0 и t_0 функции $U = U_0 - U_0 \cdot e^{-\frac{t_0}{t_0}}$ по результатам, зафиксированным при измерениях (см. табл. 1.6).

Как и при анализе зарядки конденсатора, необходимо исключить значения, имеющие наибольшие погрешности. Целесообразно воспользоваться значениями, погрешность которых находится в границах 5%.

В калькуляторе экспоненциальная функция запрограммирована только в виде $a \cdot e^{bx}$, поэтому преобразуйте к этому виду функцию

 $U = U_0 - U_0 \cdot e^{-\frac{t}{t_0}}$, записав $U_0 \cdot e^{-\frac{t}{t_0}} = U_0 - U = u$, то есть $u = U_0 \cdot e^{-\frac{t}{t_0}}$.

Найдите значения $u = U_0 - U$ и заполните таблицу 1.7.

В столбцы 1 и 2 таблицы режима STAT введите, соответственно, время и напряжение.



Выделите шапку столбца 2, введите формулу для нахождения *и*: 4.64–List2. Нажмите [EXE] для выполнения расчета.



Таблица 1.7

<i>t</i> , c	5,4	7,6	9,8	12,0	14,2	16,4	18,6
<i>U</i> , B	3,42	3,92	4,24	4,42	4,52	4,595	4,64
$U_0 - U$, B	1,22	0,72	0,39	0,22	0,12	0,05	0

В меню САLС проведите аппроксимацию экспериментальных данных экспоненциальной регрессией (см. раб. 1.1, п. 6.3, способ 1).



Отметим, что при аппроксимации нельзя использовать пару данных (18,6 с; 0 В), так как показательная функция не может обращаться в ноль. При наличии этих значений в таблице калькулятор выдаст сообщение об ошибке:

su	Ma ERROR	
	Press:[EXIT]	
		1
Γ	.09 Exp Pwr Sin L9St D	•

Итак: a = 6,2; b = -0,28. Таким образом, функция имеет вид: $y = 6, 2 \cdot e^{-0,28x}$, соответственно, $u = 6, 2 \cdot e^{-\frac{t}{t_0}}$, где $\frac{1}{t_0} = 0,28$. $t_0 = \frac{1}{0,28} = 3,6$ (c) принад-

лежит интервалу достоверных значений (см. раб. 1.1, п. II).

Отметим, что отклонение рассчитанной величины U_0 от экспериментального значения составляет $\frac{6,2-4,64}{6,2} \cdot 100 \% = 25 \%$.

Наконец, можно оценить параметры функции $U = U_0 \cdot e^{-\frac{1}{t_0}}$ в интервале малых погрешностей по всему массиву полученных значений (см. раб. 1.1, п. 6.3, способ 2).

5. Сравнение процессов зарядки и разрядки.

Сравните процессы зарядки и разрядки. Для этого постройте графики зарядки и разрядки конденсатора одновременно.

При выведенном на экран графике зарядки нажмите [EXIT] для возврата в главное меню E-CON2. В нем войдите в режим графического анализа, нажав [F5] (GRPH). В строке Gph1 (график 1) указано название канала CH1. По умолчанию график 1 строится по данным последних измерений. Клавишей [REPLAY] переместите выделение на строку Gph2 (график 2). Нажмите [F2] (DATA) для входа в подменю измеренных данных. Клавишей [REPLAY] выделите строку 1, в которой указано название файла с данными исследования А, проведенного с резистором 20 кОм, и нажмите [EXE]. Калькулятор вернется в окно режима графического анализа. Теперь в строке Gph2 указано название файла сохраненных данных. Постройте одновременно оба графика, нажав [F6] (DRAW).



Примечание: в режиме графического анализа возможно построение от одного до трех графиков одновременно. Стрелка слева от надписи Gph1, Gph2 или Gph3 указывает на то, что при нажатии на клавишу [F6] (DRAW) соответствующий график будет выведен на экран. Отсутствие стрелки говорит о том, что построение соответствующего графика отменено. Выбор графика для построения, равно как и отмена построения, осуществляется клавишей [F1] (SEL).

Для замены данных в строке Gph1, Gph2 или Gph3 нужно переместить выделение на нужную строку, перейти в подменю измеренных данных DATA, выделить строку с требуемыми данными и нажать [EXE]: калькулятор вернется в окно режима графического анализа. Теперь в выбранной строке (Gph1, Gph2 или Gph3) прежнее название файла сохраненных данных будет заменено на новое. Для удаления данных нужно выделить строку Gph1, Gph2 или Gph3 и нажать [F3] (DEL).

Часть В (второй уровень)

При исследовании зарядки конденсатора можно найти достаточно много интересных проблем. Попытайтесь самостоятельно отыскать такую проблему и разработать способ ее экспериментальной проверки по аналогии с исследованием в части А работы 1.1.

Одна из возможных проблем: выяснить, как изменятся результаты измерений при увеличении шага замеров до 0,1 с.

Другая проблема: выяснение влияния величины сопротивления резистора и емкости конденсатора на длительность протекания процесса зарядки. Например, можно заменить резистор 20 кОм на резистор 1 кОм. Удастся ли обнаружить уменьшение времени релаксации в 20 раз?

1.3. Исследование изменения силы тока в электрической цепи с индуктивностью и оценка динамической индуктивности первичной катушки трансформатора ВУ-4М (ВУ-4)

I. Оборудование и цели исследования

Оборудование (рис. 1.17): цифровая лаборатория *CLab*; графический калькулятор *fx*-9860GII; кабель для обмена данными между *CLab* и графическим калькулятором; датчик (зонд) напряжения; источник питания ВУ-4М (ВУ-4), первичная катушка которого имеет сопро-



тивление $R_{\rm k} = 8$ Ом, батарея гальванических элементов с ЭДС = 4,5 В и внутренним сопротивлением r = 1 Ом; проводники, выключатель, резисторы — 360 Ом, 20 кОм и 360 кОм.

Цели исследования и краткая технология его проведения. Цели исследования — выяснить, как нарастает с течением времени сила тока в электрической цепи с индуктивностью, определить величину динамической индуктивности.

Для измерения силы тока, протекающего через катушку, можно использовать датчик напряжения. Однако измерение напряжения непосредственно на катушке не позволяет определить силу тока, протекающего через нее, так как в катушке действует неизвестная ЭДС самоиндукции. Датчик напряжения 1 (рис. 1.18) включается параллельно резистору R, соединенному последовательно с катушкой L. Разъем датчика включается в аналоговый канал СН1 лаборатории *CLab*. Кабель обмена данными соединяет порт обмена данными «Мастер» 2 лаборатории с калькулятором.

II. Явления, процессы, физические величины, выдвижение гипотез

Рассмотрим электрическую цепь, состоящую из катушки с индуктивностью L и сопротивлением R_{κ} , подключенную к источнику с ЭДС \mathcal{E} и внутренним сопротивлением r (рис. 1.18). Последовательно с катушкой включен резистор R. Общее сопротивление электрической цепи $R_{o} = R_{\kappa} + r + R$. Так как сопротивление катушки и внутреннее сопротивление источника не превосходят 10 Ом, то ими можно пренебречь по сравнению с любым резистором, который имеется в наборе оборудования. Следовательно, можно считать, что общее сопротивление цепи равно сопротивлению резистора, включенного в цепь последовательно с катушкой. Что будет происходить в цепи, если замкнуть ключ K? В соответствии с законом Ома для полной цепи сила тока в цепи равна $i = \frac{\mathcal{E} + e_{c.n.}}{R_o}$, где $e_{c.n.} = -L \cdot \frac{\Delta i}{\Delta t}$ — ЭДС самоиндукции. Тогда $i = \frac{\mathcal{E} - L \cdot \frac{\Delta i}{\Delta t}}{R_o}$ или $i \cdot R_o = \mathcal{E} - L \cdot \frac{\Delta i}{\Delta t}$. Следовательно, $L \cdot \frac{\Delta i}{\Delta t} = \mathcal{E} - i \cdot R_o$. Запишем это уравнение в виде: $\frac{\Delta i}{\Delta t} = \frac{1}{L} (\mathcal{E} - i \cdot R_o)$ или $\frac{\Delta i}{\Delta t} = -\frac{R_o}{L} \left(i - \frac{\mathcal{E}}{R_o} \right)$. Это уравнение аналогично уравнению для зарядки конденсатора, полученному в работе 1.2, следовательно, $i = \frac{\mathcal{E}}{R_o} - \frac{\mathcal{E}}{R_o} \cdot e^{-\frac{R_o}{L}t}$.

Отношение $\frac{\mathcal{E}}{R_o} = i_0$ — это сила тока, протекающего в цепи после того, как ЭДС самоиндукции обратится в ноль.

Итак, $i = i_0 - i_0 \cdot e^{-\frac{K_0}{L}t}$. Запишем эту формулу в виде $i = i_0 - i_0 \cdot e^{-\frac{t}{R_0}} = i_0 - i_0 \cdot e^{-\frac{t}{t_0}}$ и выясним физический смысл величины $t_0 = \frac{L}{R_0}$. Это время называется *временем релаксации*. Данная величина имеет размерность времени. Действитель-

HO,
$$[t_0] = \frac{[L]}{[R]} = \frac{\Gamma_{\rm H}}{O_{\rm M}} = \frac{\frac{B^{\rm VC}}{A}}{\frac{B}{A}} = c.$$

Найдем значение силы тока i_1 через промежуток времени $t_1 = t_0$.

$$i_{1} = i_{0} - i_{0} \cdot e^{-\frac{i_{0}}{t_{0}}} = i_{0} - i_{0} \cdot e^{-1} = i_{0} - \frac{i_{0}}{e} = i_{0} \cdot \left(1 - \frac{1}{e}\right) = 0,63 \cdot i_{0}.$$

Найдем значение силы тока i_2 через промежуток времени $t_2 = 2t_0$.

$$i_2 = i_0 \cdot \left(1 - \frac{1}{e^2}\right) = 0,86 \cdot i_0.$$

Для $t_3 = 3t_0$ сила тока $i_3 = i_0 \cdot \left(1 - \frac{1}{e^3}\right) = 0,95 \cdot i_0$

Для $t_4 = 4t_0$ окажется, что сила тока $i_4 = 0.98 \cdot i_0$. График зависимости i(t) представлен на рис. 1.19.

Замену измерения силы тока на измерение напряжения на резисторе *R* можно сделать на основе следующих рассуждений. Умножим обе части уравнения $i = i_0 - i_0 \cdot e^{-\frac{t}{t_0}}$ на сопротивление *R*. Получим: $U = U_0 - U_0 \cdot e^{-\frac{t}{t_0}}$, где *U* — напряжение на резисторе *R*.







Рис. 1.20

Возможный вариант выполнения исследования.

1. Сборка электрической цепи, настройка оборудования и проведение измерений.

Соберите электрическую цепь в соответствии с рис. 1.20 и со схемой на рис. 1.18. Для включения в цепь первичной катушки трансформатора источника ВУ-4 или ВУ-4М используйте «крокодилы». Настройте измерительный комплекс и проведите измерение с резистором 360 Ом. Сохраните результаты этого измерения и аналогично проведите измерения с резисторами 20 кОм и 360 кОм.

Возможные результаты измерений приведены на рис. 1.21: графики процесса нарастания напряжения при разных сопротивлениях резисторов. Обратим внимание на рис. 1.21, *в*: ясно видно, что при очень больших сопротивлениях экспонента вырождается в прямую; сила тока

 $i = \frac{U}{R}$ изменяется линейно.

2. Оценка динамической индуктивности.

Оценка динамической индуктивности требует определения времени релаксации t_0 по результатам измерения с одним из резисторов. В за-

висимости $U = U_0 - U_0 \cdot e^{-\frac{t}{t_0}}$ время релаксации $t_0 = \frac{L}{R_0}$, значит $L = R_0 \cdot t_0$.

Воспользуемся результатами измерения напряжения на резисторе 360 Ом (рис. 1.21, *a*). Так как внутреннее сопротивление источника и

катушки не превосходит 10 Ом, то в формуле $L = R_0 \cdot t_0$ можно считать R_0 равным 360 Ом.

Способ 1. Оценка индуктивности на основе прямого анализа эмпирических данных.

Теоретическая зависимость U(t) «приводится» к зафиксированному в эксперименте напряжению $U_0 = 4,227$ В.

Для моментов времени $t_n = n \cdot t_0$, заданных во второй строке таблицы 1.8, рассчитаем значения $U_{\text{расч.}} = k \cdot U_0$ (4-я строка таблицы 1.8), где $k = 1 - e^{-\frac{t}{t_0}}$ (3-я строка таблицы 1.8).



Рис. 1.21. *a*) *R* = 360 Ом, *б*) *R* = 20 кОм, *в*) *R* = 360кОм

Теперь просканируем экспериментальную кривую: найдем моменты времени ($t_{
m эксп.}$), в которые экспериментальные ($U_{
m эксп.}$) и расчетные ($U_{
m расч.}$) значения напряжения совпадают (с максимально возможным приближением). Заполним строки 5 и 6 таблицы 1.8.

Для нахождения $t_{n \text{ эксп.}} = n \cdot t_{0 \text{ эксп.}}$ (7-я строка таблицы 1.8) необходимо из значений времени $t_{\text{эксп.}}$ вычесть интервал времени, прошедший между включением измерительного комплекса и замыканием цепи, в данном случае 0,6567 с.



Экспериментальное значение времени релаксации $(t_{0 \text{ эксп.}})$ получим делением $t_{n \text{ эксп.}}$ на n.

Таблица 1.8

1	n	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4
2	<i>t_n</i> , c	0	$0,5t_0$	t_0	$1,5t_0$	$2t_0$	$2,5t_0$	$3t_0$	$3,5t_0$	$4t_{0}$
3	k	0	0,39	0,63	0,78	0,86	0,92	0,95	0,97	0,98
4	U _{pacy.} , B	0	1,648	2,663	3,297	3,635	3,888	4,015	4,100	4,142
5	<i>U</i> _{эксп.} , В	0	1,673	2,663	3,2949	3,6372	3,89	4,005	4,1059	4,148
6	<i>t</i> _{эксп.} , с	0	0,6617	0,6687	0,6762	0,6817	0,6877	0,6922	0,6982	0,7022
7	<i>t</i> _{<i>n</i> эксп.} , с	0	0,005	0,012	0,0195	0,025	0,031	0,0355	0,0415	0,0455
8	<i>t</i> _{0 эксп.} , с	0	0,01	0,012	0,013	0,0125	0,012	0,012	0,012	0,011

Среднее значение $t_{0 \text{ эксп. ср.}} = 0,012 \text{ с.}$ Индуктивность $L = R \cdot t_{0 \text{ эксп. ср.}} = 4,3 \text{ Гн.}$

Способ 2. Оценка индуктивности на основе уравнения $U = U_0 - U_0 \cdot e^{t_0}$, параметры которого определяются по всей совокупности экспериментальных данных.

Как отмечалось в работе 1.2, экспоненциальная функция запрограммирована в калькуляторе только в виде $a \cdot e^{bx}$.

Преобразуем функцию напряжения в вид $U_0 - U = u = U_0 \cdot e^{-\overline{t_0}}$.

Введем экспериментальные данные из таблицы 1.8 в таблицу режима STAT и выполним расчет экспоненциальной регрессии (см. раб. 1.2, п. 4, способ 2).



Таким образом, функция имеет вид: $y = 4, 4 \cdot e^{-85x}$, то есть $u = 4, 4 \cdot e^{-\frac{t}{t_0}}$. $t_0 = \frac{1}{85} = 0,012$ (c). Индуктивность $L = R \cdot t_0 = 4,3$ Гн.

Отметим, что отклонение рассчитанной величины U_0 от экспери-4 4 – 4 227

ментального значения составляет $\frac{4,4-4,227}{4,4} \cdot 100 \% = 4 \%$.

Возьмем теперь 125 пар значений:

LIST I LIST 2 LIST 3 LIST 4 I U 4.219 BE-3 0.5557 5 5E-4 3.819 0.0031 0.5557 3 1E-3 3.602 0.625 0.5577 4 1.55-3 3.4229 0.8041 0.5582 5 2E-3 3.4229 0.9462 0.5577 (1325 0.5587 4 1155 0.5587 (1326 0.5587) (1326	!	L:St 1 L:St 2 L:St 3 L:St 4 122 0.051 0.0105 4.2165 0.1171 123 0.052 5.25 34.2218 0.1181 124 0.053 5.25 34.2218 0.1181 125 0.054 5.25 34.2218 0.1871 125 4.2218 0.121 4.221 0.121 0.121 4.221 0.121 0.121 0.121		ExpReg a =5.44058365 b =-95.881469 r =-0.9907321 r²=0.9815502 MSe=0.05760035 y=a.e^bx	COPY
--	---	--	--	---	------

Из результатов видим, что $a = U_0 = 5,4$ В. Отличие от 4,227 В не превосходит 25 %.

Постоянная b = -96, следовательно $t_0 = 0,01$ с, что вполне согласуется с ранее полученной оценкой $t_{0 \text{ эксп. ср.}} = 0,012$ с.

Так же, как в работе 1.2, параметры функции $U = U_0 \cdot e^{-\overline{t_0}}$. можно оценить и по всему массиву полученных значений.

РАЗДЕЛ 2. Разработки учителей – участников научно-методического проекта «Школьный калькулятор»

2.1. Измерение напряжения на различных участках электрической цепи

Л.П. Якимчук, МОУ СОШ № 37 г. Комсомольска-на-Амуре; М.Ю. Жилкина, МОУ СОШ Селихинского с. п.

Цели:

1) Экспериментально проверить законы последовательного соединения проводников.

2) Сравнить точность измерения напряжения лабораторным вольтметром ВЛ-2,5 и цифровым комплексом *EA-200 — fx*-9860G.

Оборудование: источник питания, спирали-резисторы (2 штуки), низковольтная лампа на подставке, вольтметр ВЛ-2,5, цифровой измерительный комплекс *EA-200 — fx*-9860G, ключ и соединительные провода.

Указания к проведению работы.

1. Соберите цепь из источника питания, спиралей, лампы и ключа, соединив все приборы последовательно. Замкните цепь.

2. Начертите схему собранной цепи и покажите на ней, к каким точкам необходимо подключить вольтметр при измерении напряжения на каждой спирали и лампе, а также на всем участке цепи.

3. Измерьте напряжение на концах каждой из спиралей U_1 , U_2 ; на лампе U_3 ; на участке цепи U, состоящем из двух спиралей и лампы, и занесите данные в таблицу:

Измерительный прибор	U_1 , B	<i>U</i> ₂ , B	<i>U</i> ₃ , B	<i>U</i> , B	$U_1 + U_2 + U_3, B$
Вольтметр ВЛ-2,5					
Комплекс <i>EA-200 – fx</i> -9860G					

4. Порядок проведения измерений с комплексом *EA-200 — fx-*9860G.

1) Подключите датчик напряжения к каналу СН1 лаборатории ЕА-200.

2) Подключите лабораторию к калькулятору соединительным кабелем.

3) Подключите датчик напряжения на клеммы приборов цепи.

4) Включите калькулятор и войдите в режим E-CON2.

5) Войдите в меню настроек лаборатории, нажав [F1] (SET).



6) Выберите режим измерений «мастер настройки» (работа с подсказками в простом режиме измерений с одним датчиком), нажав [F1] (WIZ).



7) Выберите тип измерительных комплектов CASIO, нажав [F1].



8) В списке датчиков выберите датчик напряжения Voltage и нажмите [EXE].



9) Задайте временной интервал измерения 10 с: введите число 10 и нажмите [EXE].



10) Задайте единицы измерения временного интервала: выделите строку «1:sec» (секунды) и нажмите [EXE].



11) В окне подтверждения введенных параметров нажмите [F1], если все задано верно, или [F6], если требуется что-то изменить в настройках.



12) После нажатия [F1] появится меню:



в котором:

1:Start Setup — начало измерения с заданными параметрами.

2:Save Setup-MEM — сохранение текущей настройки.

3: Convert Program — преобразование текущей настройки в программу.

13) Нажмите [1] (Start Setup). Появится запрос о проверке готовности системы к выполнению измерения.



14) Нажмите [EXE]. Появится запрос на проведение измерения: «Start sampling? Press: [EXE]».



15) Нажмите [EXE]. Результаты измерения будут показаны на экране калькулятора в виде графика зависимости напряжения от времени.

5. Вычислите сумму напряжений $(U_1 + U_2 + U_3)$ на двух спиралях и лампе и сравните ее с напряжением на всем участке U.

6. Сравните результаты измерений, выполненных лабораторным вольтметром и комплексом *EA-200 — fx-*9860G, и сделайте вывод о точности измерения по числу значащих цифр.

2.2. Измерение мощности электрической лампы

Т.А. Жолнович, МОУ СОШ № 38 г. Комсомольска-на-Амуре; С.В. Шарова, МОУ СОШ № 9 г. Амурска

Цели:

1) Научиться определять мощность лампы, используя амперметр и вольтметр.

2) Сравнить результаты измерения силы тока и напряжения с их номинальными значениями, указанными на цоколе лампы.

3) Сравнить результаты измерения напряжения, полученные с применением вольтметра и цифрового измерительного комплекса *EA-200 — fx-*9860G. **Оборудование:** источник питания, низковольтная лампа на подставке, амперметр АЛ-2,5, вольтметр ВЛ-2,5, цифровой измерительный комплекс *EA-200 — fx*-9860G, ключ, соединительные провода.

Указания к проведению работы.

1. Соберите электрическую цепь, соединив последовательно источник питания, лампу, амперметр и ключ.

2. Начертите в тетради схему собранной цепи.

3. Измерьте амперметром силу тока в лампе и запишите показания в таблицу.

4. Измерьте вольтметром и комплексом *EA-200* — *fx*-9860G напряжение на лампе и запишите показания в таблицу. Показания комплекса *EA-200* — *fx*-9860G округлите до сотых. Порядок проведения измерений с измерительным комплексом *EA-200* — *fx*-9860G смотрите в п. 4 работы 2.1.

5. Определите относительную погрешность ε_1 измерения напряжения вольтметром ВЛ 2,5, считая, что абсолютная погрешность равна 0,2 В.

Определите относительную погрешность ε_2 измерения напряжения комплексом *EA-200 — fx*-9860G. Абсолютная погрешность равна 0,005 B, так как показания комплекса были округлены до сотых.

Измерительный прибор	<i>U</i> , B	ε, %
Вольтметр ВЛ 2,5		
Комплекс <i>EA-200 — fx</i> -9860G		

Сделайте вывод о точности измерений.

6. Вычислите мощность тока в лампе и занесите результаты в таблицу.

Амперметр	Вольтмет	р ВЛ-2,5	Комплекс <i>EA-200 — fx-</i> 9860G			
<i>I</i> , A	U_1 , B	<i>P</i> ₁ , Bt	U_2, \mathbf{B}	<i>P</i> ₂ , Вт		

2.3. Измерение энергии заряженного конденсатора

И.В. Антонов, МОУ СОШ № 12 г. Рыбинска; Е.Д. Федосова, МОУ СОШ № 26 г. Рыбинска

При изучении темы «Электростатика» в 10 классе мы проводим лабораторную работу «Измерение энергии заряженного конденсатора». Данную работу можно выполнить фронтально, в виде экспериментального задания или практикума.

Цели:

1) Расширение и укрепление практических умений и навыков учащихся в ходе изучения темы «Электростатика». 2) Организация исследовательской деятельности учащихся с использованием индивидуальных экспериментальных заданий повышенной трудности.

3) Формирование умений эффективно работать с измерительным комплексом *EA-200 — fx-*9860G.

Оборудование: батарейка, электролитический конденсатор емкостью 220 мкФ, цифровой измерительный комплекс *EA-200 — fx*-9860G, ключ, соединительные провода.

Указания к проведению работы.

1. Соберите схему в соответствии с рисунками 2.1 и 2.2.

2. Переведите выключатель в положение *1* (рис. 2.1) для зарядки конденсатора.

3. Настройте измерительный комплекс в режиме «мастер настройки», задав интервал измерения 10 минут (порядок проведения измерений с измерительным комплексом *EA-200 — fx-*9860G смотрите в п. 4 работы 2.1).

4. Переведите переключатель в положение 2 (рис. 2.1) и начните измерение напряжения.

На дисплее калькулятора во время проведения измерения строится график зависимости напряжения от времени.

5. Результаты измерения напряжения занесите в таблицу (в таблице указаны данные реального эксперимента):

Время разрядки конденсатора <i>t</i> , с	Напряжение на конденсаторе <i>U</i> , В	Энергия конденсатора <i>W</i> , Дж
0	4,27	
50	3,56	
100	3,08	
150	2,72	
200	2,47	
250	2,30	
300	2,16	
350	2,05	
400	1,96	

6. Рассчитайте энергию конденсатора по формуле:

$$W=\frac{C\cdot U^2}{2}$$

и занесите данные в таблицу.

7. Сделайте вывод о зависимости напряжения на конденсаторе от времени разрядки (см. работы 1.1. и 1.2).



Рис. 2.1

Рис. 2.2

8. Задание повышенного уровня. Оценка внутреннего сопротивления лаборатории *EA-200*.

Пользуясь таблицей, найдем напряжение через 300 с после разрядки. Оно равно 2,2 В. В соответствии с уравнением $U = U_0 \cdot e^{-\frac{t}{RC}}$ можно написать 2,2 = 4,3 $\cdot e^{-\frac{300}{RC}}$. Отсюда следует, что $e^{\frac{300}{RC}} = \frac{4,3}{2,2}$. Возьмем логарифм по основанию $e: \frac{300}{R \cdot C} = 0,67$.

Получим
$$R = \frac{300}{0,67 \cdot 220 \cdot 10^{-6}} = 2 \cdot 10^6$$
 (Ом) = 2 МОм.

Постройте график зависимости силы разрядного тока, который течет через *EA-200*, от времени на основе рассчитанного значения внутреннего сопротивления лаборатории.

2.4. Изучение последовательного соединения проводников

Т.Л. Панфилова, МОУ СОШ № 88 г. Ярославля

Цель: экспериментально проверить законы последовательно соединенной цепи.

Оборудование: источник тока (батарейка 4,5 В или 9 В), амперметр АЛ-2,5, цифровой измерительный комплекс *EA-200 —fx-*9860G, 2 резистора, реостат, ключ, соединительные провода.

Данная лабораторная работа может быть выполнена с подключением одного или двух датчиков напряжения к лаборатории *EA-200*.



Рассмотрим более простой вариант выполнения данной работы с подключением одного датчика. Схема электрической цепи показана на рис. 2.3. Датчик напряжения условно обозначен как вольтметр.

Законы последовательно соединенной цепи:

$$I = I_1 = I_2,$$

 $U = U_1 + U_2,$
 $R = R_1 + R_2.$

Для измерения силы тока в цепи используется школьный амперметр со шкалой 0-2 А. Напряжение на различных участках цепи измеряется с помощью комплекса *EA-200 — fx*-9860G. Высокая чувствительность прибора, которым производится измерение напряжения, позволяет вычислить не только сопротивления резисторов, но и сопротивление провода, соединяющего резисторы.

Подготовка к проведению работы.

1. Подготовьте бланк отчета со схемой электрической цепи и таблицей для записи результатов измерений и вычислений:

№ измерения	U, B	$U_1,$ B	$U_2,$ B	$U_{\text{np.}},$ B	I, A	<i>R</i> ₁ , Ом	<i>R</i> ₂ , Ом	<i>R</i> _{пр.} , Ом	<i>R</i> , Ом
1									
2									
3									
Среднее значение									

2. Соберите электрическую цепь согласно рисунку 2.3. Проверьте надежность электрических контактов, правильность подключения амперметра и датчика напряжения.

3. Настройте измерительный комплекс *EA-200* — *fx*-9860G, задав время измерения 120 с (порядок проведения измерений с комплексом *EA-200* — *fx*-9860G смотрите в п. 4 работы 2.1).

Проведение эксперимента, обработка результатов.

1. Замкните ключ и установите с помощью реостата силу тока 0,5 A (батарейка 4,5 B) или 1 A (батарейка 9 B).

2. Запустите комплекс *EA-200 — fx*-9860G на проведение измерения.

3. В начале отсчета на протяжении 10—15 с измерьте напряжение на всем участке цепи, состоящем из 2 резисторов, последовательно соединенных друг с другом.



4. Клеммы датчика напряжения аккуратно отсоедините от указанных выше точек и следующим шагом произведите измерение напряжения на первом резисторе (см. рис. 2.3).



5. Через 10-20 с подсоедините датчик ко второму резистору.



6. Два резистора соединены проводом, сопротивлением которого либо можно пренебречь, либо пренебрегать нельзя. Для ответа на этот вопрос измерьте напряжение на концах проводника, соединяющего контакты резисторов.



7. Проанализируйте получившийся график. Первый горизонтальный участок — напряжение на всем исследуемом участке цепи, второй — на первом резисторе, третий — на втором резисторе, четвертый — на концах проводника, соединяющего резисторы между собой.

Анализ графика можно провести в режиме трассировки Trace. Перемещая курсор по графику клавишей [REPLAY], снимем для каждого из горизонтальных участков по несколько значений напряжения для нахождения усредненной величины. Именно эти результаты и представлены в таблице в п. 8.

8. Заполните подготовленную таблицу, рассчитайте средние значения напряжений на участках, сопротивления этих участков и проверьте законы последовательно соединенной цепи. Расчеты можно выполнить с помощью графического калькулятора в режиме RUN-MAT или научного калькулятора CASIO.

№ измерения	U, B	$U_1,$ B	U ₂ , B	U _{np.} , B	I, A	<i>R</i> ₁ , Ом	<i>R</i> ₂ , Ом	<i>R</i> _{пр.} , Ом	<i>R</i> , Ом
1	1,2253	0,4934	0,4828	0,2827					
2	1,2530	0,4354	0,4670	0,2985					
3					0,5	0,9288	0,9498	0,5812	2,4783
Среднее значение	1,23915	0,4644	0,4749	0,2906					

9. Проверьте законы последовательно соединенной цепи:

$$U = U_1 + U_2 + U_{\pi p}$$

1,23915 = 0,4644 + 0,4749 + 0,2906. 1,23915 = 1,2299 — верное равенство, так как

$$\epsilon = \frac{\left|1,2299-1,23915\right|}{1,23915} \cdot 100 \ \% = 0,7 \ \%.$$

$$R = R_1 + R_2 + R_{\rm mp}$$

2,4783 = 0,9288 + 0,9498 + 0,5812.
2,4783 = 2,4598 — верное равенство, так как
$$\varepsilon = \frac{|2,4783 - 2,4598|}{2,4783} \cdot 100 \% = 0,7 \%.$$

10. Сделайте вывод.

Вывод: В лабораторной работе были измерены напряжения на исследуемом участке и отдельных участках последовательно соединенной цепи: U = 1,23915 В, $U_1 = 0,4644$ В, $U_2 = 0,4749$ В, $U_{np.} = 0,2906$ В; рассчитаны сопротивления участков R = 2,4783 Ом, $R_1 = 0,9288$ Ом, $R_2 = 0,9498$ Ом, $R_{np.} = 0,5812$ Ом. Законы последовательно соединенной цепи $U = U_1 + U_2 + U_{np.}$ и $R = R_1 + R_2 + R_{np.}$ выполняются с высокой степенью точности (ошибка составляет 0,7%). Для точного расчета электрических цепей нельзя пренебрегать сопротивлением проводов: в лабораторной работе сопротивление соединительного провода составило в среднем 62% от сопротивления каждого из резисторов и 23% от общего сопротивления участка.

2.5. Изучение последовательного и параллельного соединения проводников

Е.А. Щенникова, МОУ СОШ № 31 г. Комсомольска-на-Амуре

Цель: проверить законы последовательного и параллельного соединения проводников.

Оборудование: источник тока, два проволочных резистора, реостат, ключ, соединительные провода, амперметр АЛ-2,5, вольтметр ВЛ-2,5, цифровой измерительный комплекс *EA-200 — fx*-9860G.

Указания к проведению работы.

Последовательное соединение проводников.

1. Соберите электрическую цепь по схеме на рис. 2.4.

2. Подключив амперметр к разным участкам цепи, убедитесь, что сила тока не изменяется: *I* = .

Измерьте вольтметром напряжение на резисторе *R*₁: *U*₁ = ____.
 Измерьте вольтметром напряжение на

резисторе R_2 : $U_2 = ...$



5. Измерьте вольтметром напряжение на участке, содержащем резисторы R_1 и R_2 : $U = _$ ____.

6. Рассчитайте по закону Ома для участка цепи величины сопротивлений: $R_1 = ; R_2 = ; R = .$

7. Проверьте с	справедливость формул:	
a) $U_1 + U_2 = U$:		•
5) $R_1 + R_2 = R$:		·
$\frac{U_1}{U_1} - \frac{R_1}{L} \cdot$		
$U_2 = R_2$		
8 Повторите и	измерения используя шифровой измери	тельный

8. Повторите измерения, используя цифровой измерительный комплекс *EA-200 — fx*-9860G.

9. Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу:

Измерительный прибор	$U_1,$ B	<i>U</i> ₂ , B	<i>U</i> , В	$\begin{array}{c} U_1 + U_2, \\ B \end{array}$	<i>R</i> ₁ , Ом	<i>R</i> ₂ , Ом	<i>R</i> , Ом	$R_1 + R_2,$ Om	$rac{U_1}{U_2}$	$\frac{R_1}{R_2}$	I, A
Вольтметр ВЛ-2,5											
Комплекс <i>EA-200 — fx</i> -9860G											

Вывод: _____



Вывод:

Пример результатов выполнения работы.

Последовательное соединение проводников.

Измерительный прибор	<i>U</i> ₁ , B	U ₂ , B	U, B	$U_1 + U_2,$ B	<i>R</i> ₁ , Ом	<i>R</i> ₂ , Ом	<i>R</i> , Ом	$\begin{array}{c} R_1 + R_2, \\ OM \end{array}$	$rac{U_1}{U_2}$	$\frac{R_1}{R_2}$	I, A
Вольтметр ВЛ-2,5	2,4	1,4	3,8	3,8	12	7	19	19	1,7	1,7	
Комплекс <i>EA-200 — fx</i> -9860G	2,45	1,4	3,85	3,85	12,25	7	19,25	19,25	1,75	1,75	0,2

Параллельное соединение проводников.

U, B	I ₁ , A	I ₂ , A	I, A	$\begin{array}{c}I_1+I_2,\\A\end{array}$	<i>R</i> ₁ , Ом	<i>R</i> ₂ , Ом	<i>R</i> , Ом	$\frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}, \text{ OM}$	$\frac{I_1}{I_2}$	$\frac{R_2}{R_1}$
2,4	0,2	0,35	0,55	0,55	12	7	4,36	4,42	0,57	0,58

Выводы: Результаты измерений подтверждают теоретический вывод о том, что при последовательном соединении отношение напряжений на резисторах равно отношению их сопротивлений. При параллельном соединении отношение сил тока, протекающего через резисторы, обратно пропорционально отношению их сопротивлений.

2.6. Изучение преобразования энергии в электрической цепи

Л.П. Мошейко, ХК ИППК ПК г. Хабаровска

Цель: исследование зависимости мощности, потребляемой участком электрической цепи, от его сопротивления.

Оборудование: цифровой измерительный комплекс *EA-200* — *fx*-9860G, источник тока, лабораторный, ключ, амперметр лабораторный АЛ-2,5, мультиметр, реостат (10 Ом \pm 10 %), резистор, соединительные провода (рис. 2.6).

Указания к проведению работы.

1. Соберите цепь, соединив последовательно источник тока, амперметр, ключ, резистор, реостат (рис. 2.7).

2. Подключите зажимы электронного вольтметра параллельно реостату.



3. Настройте комплекс EA-200 - fx-9860G на проведение измерения, задав время измерения 10 с.

4. Запустите комплекс EA-200 - fx-9860G на проведение измерения, замкните цепь и начните изменять сопротивление реостата.

5. Проанализируйте полученный график изменения напряжения от времени. В режиме трассировки определите значения напряжения в заданные моменты времени и запишите эти данные в таблицу:

<i>t</i> , c					
$U_{\text{peoct.}}, \mathbf{B}$					

6. Используя паспортные данные источника тока и показания электронного вольтметра, рассчитайте значения напряжения на резисторе в каждый из моментов времени.

7. Используя закон Ома для участка цепи, рассчитайте величину тока, проходящего через резистор в каждый из моментов времени.

8. Используя закон постоянства тока для последовательно соединенных участков цепи, рассчитайте величину сопротивления реостата в каждый из моментов времени.

9. Рассчитайте мощность, потребляемую участком электрической цепи $P = I \cdot U_{\text{peocr}}$. Полученные в п. 6—9 данные занесите в таблицу:

<i>t</i> , c					
$U_{\text{pe3.}}, B$					
<i>I</i> , A					
<i>R</i> _{реост.} , Ом					
Р, Вт					

10. Войдите в режим STAT калькулятора. Внесите в первый столбец значения сопротивления реостата, во второй — значения мощности. Постройте график зависимости мощности, потребляемой участком электрической цепи, от его сопротивления. Проанализируйте вид полученной линии.

11. Определите по графику сопротивление участка цепи, при котором потребляемая мощность принимает максимальное значение. Сделайте вывод.

Пояснения и пример результатов выполнения работы.

Использование комплекса *EA-200 — fx-*9860G в режиме электронного вольтметра позволяет получить точные значения напряжения в определенные моменты времени в пределах заданного интервала. Для нахождения в эти же моменты времени значений силы тока на реостате необходимо использовать закономерности последовательного соединения проводников. Амперметр в электрической цепи выполняет

только роль индикатора тока, так как не позволяет получить необходимые в опыте точные значения силы тока в каждую секунду измерения. Учащимся полезно увидеть это в ходе работы для оценки необходимости применения в данной работе именно электронного датчика. Вследствие малого внутреннего сопротивления амперметра падение





напряжения на этом участке незначительно.

В процессе проведения измерения, то есть после замыкания электрической цепи (рис. 2.7), на дисплее калькулятора будет строиться график, состоящий из двух линий: горизонтальной и наклонной относительно оси времени. Например, в течение 1,2 с напряжение не изменялось (горизонтальная линия), на промежутке от 1,2 до 10 с напряжение линейно возрастало. Горизонтальный участок соответствует интервалу времени, в котором лаборатория уже начала проводить замеры, а сопротивление реостата еще не изменяется. Вследствие этого анализу в режиме трассировки подлежит вторая часть графика: при увеличении сопротивления реостата почти линейно возрастает напряжение (рис. 2.8). Перемещая курсор по этой линии, можно получить точные значения напряжения на реостате $U_{\text{реост.}}$ в определенные моменты времени (таблица 2.1).

Измеренное мультиметром значение напряжения на источнике тока U равно 4,8 В. Зная показания датчика напряжения U_{пеост}, найдем значения напряжения на постоянном сопротивлении $U_{\text{peg}} = U - U_{\text{peger}}$ (таблица 2.2).

Используя закон Ома для участка цепи, измеренное мультиметром значение сопротивления резистора (5 Ом) и вычисленные значения напряжения на этом участке, найдем величину тока, проходящего

Таблица 2.1

Результаты показаний электронного вольтметра.

<i>t</i> , c	1,2	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$U_{\text{peoct.}}, \mathbf{B}$	0,34	0,65	0,86	1,13	1,39	1,58	1,82	2,01	2,13	2,32

Таблииа 2.2

Вычисленные значения физических величин.

<i>t</i> , c	1,2	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$U_{\text{pes.}}, B$	4,46	4,15	3,94	3,67	3,41	3,22	2,98	2,79	2,67	2,48
<i>I</i> , A	0,89	0,83	0,79	0,73	0,68	0,64	0,60	0,56	0,53	0,50
$R_{\text{peoct.}}, \text{ Om}$	0,38	0,78	1,09	1,55	2,04	2,47	3,03	3,59	4,02	4,64
Р, Вт	0,30	0,54	0,68	0,83	0,95	1,01	1,09	1,12	1,13	1,16



через резистор в каждый из обозначенных моментов времени (таблица 2.2).

Основываясь на том, что при последовательном соединении проводников сила тока на каждом из участков цепи не изменяется, рассчитаем сопротивления реостата в каждый из моментов

Рис. 2.9

времени по формуле $R_{\text{реост.}} = \frac{U_{\text{реост.}}}{I}$. Затем по

формуле $P = U_{\text{реост.}} \cdot I$ рассчитаем мощность, потребляемую участком

электрической цепи (таблица 2.2).

Для построения графика зависимости мощности, потребляемой участком электрической цепи, от его сопротивления используем режим STAT калькулятора или эмулятора. После внесения данных в таблицу и получения диаграммы разброса экспериментальных точек необходимо подобрать тип линии экспериментальной зависимости (наиболее приемлемой для данного случая является парабола). Вид полученного графика изображен на рис. 2.9.

После анализа графика учащиеся делают вывод о квадратичной зависимости мощности, потребляемой участком электрической цепи, от его сопротивления.

2.7. Измерение ЭДС и внутреннего сопротивления источника тока

Т.Л. Панфилова, МОУ СОШ № 88 г. Ярославля

Цели:

1) Исследовать изменение напряжения на полюсах источника тока при подключении к нему резистора.

2) Научиться экспериментально определять ЭДС и внутреннее сопротивление источника тока на основе проведенного исследования.

Оборудование: источник тока (батарейка 4,5 или 9 В), амперметр АЛ-2,5, цифровой измерительный комплекс *EA-200 — fx-*9860G, резистор, реостат, ключ, соединительные провода.

Схема электрической цепи представлена на рис. 2.10. Датчик напряжения условно обозначен как вольтметр. В качестве источника тока используется батарейка 4,5 или 9 В. Для измерения напряжения применяется комплекс *EA-200 — fx*-9860G с датчиком напряжения.

При разомкнутом ключе ЭДС источника тока равна напряжению на внешней цепи. В эксперименте источник тока с помощью датчика напряжения подключается к *EA-200* (сопротивление которого много больше внутреннего сопротивления источника тока r). Так как сопротивление источника обычно мало, то, действительно, $R \gg r$. При



Рис. 2.10

этом отличие \mathcal{E} от U не превышает десятых долей процента, поэтому погрешность измерения ЭДС равна погрешности измерения напряжения.

Внутреннее сопротивление источника тока можно измерить косвенно, сняв показания амперметра и *EA-200* при замкнутом ключе.

Из закона Ома для замкнутой цепи получаем $\mathcal{E} = U + I \cdot r$, где

 $U = I \cdot R$ — напряжение на внешней цепи. Следовательно, $r = \frac{\mathcal{E} - U}{I}$.

Для измерения силы тока в цепи можно использовать школьный амперметр со шкалой 0–2 А.

Подготовка к проведению работы.

1. Подготовьте бланк отчета со схемой электрической цепи (рис. 2.10) и таблицей для записи результатов измерений и вычислений:

№ опыта	Е, В	<i>U</i> , B	<i>I</i> , A	<i>r</i> , Ом
1				
2				
3				
Среднее значение				

2. Соберите электрическую цепь согласно рис. 2.10. Проверьте надежность электрических контактов, правильность подключения амперметра и датчика напряжения.

3. Настройте комплекс *EA-200 — fx-*9860G в режиме «мастер настройки», задав интервал измерения 60 с (порядок проведения измерений с измерительным комплексом *EA-200 — fx-*9860G смотрите в п. 4 работы 2.1).

4. Проверьте работу цепи при разомкнутом и замкнутом ключе.

Проведение эксперимента, обработка результатов.

1. Запустите программу снятия данных комплексом *EA-200 — fx-*9860G.

2. Замкните ключ и установите с помощью реостата силу тока 0,5 A (батарейка 4,5 B, см. рис. 2.11) или 1 A (батарейка 9 B).

3. Через 30 секунд после начала измерения разомкните ключ. В процессе измерения экспериментальные данные отображаются на дисплее калькулятора в виде графика (см. рис. 2.12).

4. Проанализируйте построенный график. Первый участок будет соответствовать напряжению на активном сопротивлении, второй — ЭДС источника тока. Анализ графика можно провести в режиме трассировки Trace.

Последовательность выполнения пунктов 1—3 можно поменять: тогда график будет иметь вид, представленный на рис. 2.13.

5. Заполните подготовленную таблицу и рассчитайте значение внутреннего сопротивления батарейки:

№ опыта	<i>E</i> , B	<i>U</i> , B	<i>I</i> , A	<i>r</i> , Ом
1	3,78	2,76		
2	3,86	2,77	0.5	2.12
3	3,78	2,72	0,5	2,12
Среднее значение	3,81	2,75		

Расчеты можно выполнить с помощью графического калькулятора в режиме RUN-MAT или научного калькулятора CASIO.

6. Сделайте вывод.

Вывод: В лабораторной работе получено значение ЭДС источника тока, равное 3,8 В. По экспериментальным данным, с использованием закона Ома для полной цепи, рассчитано внутреннее сопротивление













Рис. 2.13

батарейки, оно равно 2,12 Ом. Батарейка 4,5 В оказалась частично разряженной согласно данным лабораторного эксперимента.

7. Контрольные вопросы.

7.1. Почему показания вольтметра при разомкнутом и замкнутом ключе различны?

7.2. Можете ли вы предложить другие способы измерения ЭДС и внутреннего сопротивления источника тока?

2.8. Определение ЭДС и внутреннего сопротивления источника тока графическим методом

И.А. Духовникова, МОУ СОШ № 33 г. Комсомольска-на-Амуре

Цели:

1) Исследование зависимости напряжения на полюсах источника тока от силы тока в цепи. Вторичное осмысление и практическое применение закона Ома для полной цепи.

2) Измерение ЭДС и внутреннего сопротивления на основе проведенного исследования.

Оборудование: гальванический элемент, амперметр АЛ-2,5, вольтметр ВЛ-2,5, проволочный резистор, переменный резистор, ключ, соединительные провода, металлический планшет, цифровой измерительный комплекс *EA-200 — fx*-9860G.

Указания к проведению работы.

I. Теоретическая часть работы.

Из закона Ома для полной цепи следует, что напряжение на выходе источника тока линейно зависит от силы тока в цепи.

Гак как
$$I = \frac{\mathcal{E}}{R+r}$$
, то $I \cdot R + I \cdot r = \mathcal{E}$. Но $I \cdot R = U$, откуда $U + I \cdot r = \mathcal{E}$ или
 $U = \mathcal{E} - I \cdot r.$ (4)

Если построить график зависимости U от I, то по его точкам пересечения с осями координат можно определить ЭДС \mathcal{E} и силу тока короткого замыкания $I_{\text{к.з.}}$ (ток, который потечет в цепи источника, когда внешнее сопротивление R станет равным нулю).

ЭДС определяют по точке пересечения графика с осью напряжения. Эта точка графика соответствует состоянию цепи, при котором ток в ней отсутствует и, следовательно, $U = \mathcal{E}$.

Силу тока короткого замыкания определяют по точке пересечения графика с осью силы тока. В этом случае внешнее сопротивление R = 0 и, следовательно, напряжение на выходе источника U = 0.

Внутреннее сопротивление источника находят по тангенсу угла наклона графика относительно оси силы тока. (Сравните формулу (4) с математической функцией вида y = ax + b и вспомните смысл коэффициента при x).

II. Практическая часть работы.

1. Исходя из перечня оборудования, рекомендованного для выполнения работы, составьте схему установки для исследования зависимости напряжения на выходе источника тока от силы тока в цепи.

2. Для записи результатов измерений подготовьте таблицу:

<i>U</i> , B			
<i>I</i> , A			

3. После проверки схемы преподавателем соберите электрическую цепь (рис. 2.14). Ползунок переменного резистора установите в поло-



жение, при котором сопротивление цепи, подключенной к источнику тока, будет максимальным.

4. Определите значение силы тока в цепи амперметром и напряжение на зажимах источника при максимальной величине сопротивления переменного резистора комплексом *EA-200* — *fx*-9860G. Данные измерений занесите в подготовленную таблицу.

Рис. 2.14

5. Проведите совместные измерения силы тока и напряжения, уменьшая всякий раз величину переменного сопротивления так, чтобы напряжение на зажимах источника

уменьшалось примерно на одну и ту же величину. Результаты также занесите в таблицу.

<i>U</i> , B	5,4	5,0	4,6	4,4	4,0	3,6	3,2
<i>I</i> , A	0	0,35	0,8	1,0	1,5	1,85	2,0

6. По полученным данным определите вид зависимости напряжения от силы тока.

6.1. Из главного меню калькулятора перейдите в режим STAT.

6.2. В столбец List1 введите значения силы тока, в столбец List2 — напряжения.

6.3. Войдите в меню построения графиков GRPH, нажав [F1], и постройте график GPH1 ([F1]).



6.4. Войдите в меню аппроксимации экспериментальных данных CALC, нажав [F1], и выберите линейную зависимость X, нажав [F2].

6.5. В открывшемся окне параметров рассчитанной зависимости нажмите [F5] (COPY) для копирования данной функции в режим построения графиков GRAPH. В появившемся списке функций режима GRAPH переместите выделение на нужную строку и нажмите [EXE] для сохранения функции.

6.6. В окне параметров рассчитанной зависимости нажмите [F6] (DRAW) для построения графика рассчитанной линейной функции.



7. По пересечению графика с осями координат определите величины \mathcal{E} и I_{κ_3} .

7.1. Из главного меню калькулятора перейдите в режим GRAPH.

7.2. Настройте окно вывода графиков ([SHIFT], [F3]), задав по оси X интервал от -1 до 7, по оси Y — от -1 до 7.

7.3. Выделите для построения рассчитанную в п. 6 функцию, нажав [F1] (SEL).

7.4. Постройте график функции, нажав [F6] (DRAW).

7.5. Определите силу тока короткого замыкания, используя функцию X-CAL ([F5], [F6], [F2]): *U* = Y = 0.

7.6. Определите ЭДС источника, используя функцию Y-CAL ([F5], [F6], [F1]): *I* = X = 0.



8. Измерьте ЭДС источника, подключив датчик напряжения к его выводам при разомкнутой внешней цепи. Сопоставьте значения ЭДС, полученные двумя способами, и укажите причину возможного расхождения результатов.

9. Определите внутреннее сопротивление источника тока. Для этого вычислите тангенс угла наклона построенного графика к оси токов. Так как тангенс угла в прямоугольном треугольнике равен отношению противолежащего катета к прилежащему, то практически это можно сделать, найдя отношение $\mathcal{E}/I_{\rm k.s.}$

РАЗДЕЛ З. Общие принципы обеспечения работы цифрового измерительного комплекса *CLab — fx-*9860GII

Графические калькуляторы CASIO серии *fx*-9860GII имеют возможность работы между собой и с компьютером, а также подключения к различным внешним устройствам.

Работа калькуляторов серии fx-9860GII с внешними устройствами.

У калькуляторов серии *fx*-9860GII предусмотрено два порта: мини-USB и 3pin (3-х контактный). Разъемы портов находятся на верхней торцевой стороне калькулятора, над экраном (рис. 3.1).

Порт мини-USB предназначен для подключения калькулятора к компьютеру. К этому же порту подключается внешний экран калькулятора — проекционная панель (OHP-9860), предназначенная для передачи изображения с дисплея калькулятора на большой экран через кодоскоп.

Порт 3pin используется для подключения калькуляторов друг к другу, а также аналого-цифрового преобразователя *CLab*.

Порт 3pin Порт мини-USB



К *CLab* могут подключаться различные датчики, аналоговые сигналы которых она преобразует в числовую форму и передает на обработку калькулятору.

Настройка калькулятора на работу с внешними устройствами осуществляется в режиме обмена данными LINK (link англ., подключение, связь). Вход в режим осуществляется через главное меню калькулятора.



В главном меню режима обмена данными представлена таблица, информирующая о текущем состоянии настроек подключения. Обратим внимание на значения функциональных клавиш.

Клавиши [F1] и [F2] используются для переключения между режимами связи. При обмене информацией с компьютером или

другим калькулятором калькулятор может работать только в двух режимах: приема или передачи информации. Переключать эти режимы требуется вручную.

Клавиши [F4] – [F6] служат для задания настроек калькулятора при работе в данном режиме.

Клавиша [F3] не используется. Поскольку команды настройки и переключения режимов связи функционально относятся к разным группам, оставленное пустое поле в строке значений функциональных клавиш ([F3]) отделяет одну группу команд от другой.

В таблице 3.1 представлено описание функциональных возможностей режима LINK.

Таблица 3.1

Описание функциональных возможностей режима LINK.

Назначение функцио- нальных клавиш глав- ного меню режима LINK.	Описание настройки параметров обмена данными.
[F1]: TRAN (transmit – англ., передавать). Настройка режима передачи данных.	 [F1]: МАІN (Main Memory – Основная Память) – выбор для передачи данных, хранящихся в основной памяти. [F2]: SMEM (Storage Memory – Флеш-память) – выбор данных из дополнительной памяти. Следующим шагом нужно выбрать тип данных для передачи: [F1] – Select (Новые), [F2] – Current (Paнee Выделенные). Далее на экран выводится список данных, содержащихся в соответствующем разделе памяти. Перемещение по списку данных осуществляется клавишей [REPLAY]. Для выбора всех данных используется команда ALL ([F2]), для выбора отдельных данных – команда SEL ([F1]), когда строка с именем данных выделена черным цветом. Отмеченные для передачи данных. Снятие маркировки – повторное нажатие на клавишу [SEL]. Передача выделенных данных осуществляется командой TRAN ([F6]) и начинается после ее подтверждения в окне Transmit OK? (Начать Передачу Данных?) командой Yes (Да). Нажатие на клавишу [Action of the set o
[F2]: RECV (receive – англ., принимать). Настройка режима приема данных.	Калькулятор переводится в режим ожидания приема данных, о чем информирует появляющаяся на экра- не надпись Receiving (Прием Данных). Реальный прием данных начнется сразу же, как только данные начнут передаваться передающим устройством. Пре- рывание работы режима приема данных осуществля- ется клавишей [AC].

62

Назначение функцио- нальных клавиш главно- го меню режима LINK.	Описание настройки параметров обмена данными.
[F4]: CABL – Cable Туре (Тип Кабеля). Выбор типа кабеля (порта).	 [F1]: USB (USB cable – USB кабель) – обмен данными будет осуществляться через порт мини-USB. [F2]: 3PIN (3Pin cable – 3Pin кабель) – обмен данными будет осуществляться через порт 3pin.
[F5]: WAKE – Wakeup (Готовность). Настройка режима готовности к приему данных.	 [F1]: Оп (Оп – Включен) – включение режима готовности. [F2]: Off (Off – Выключен) – отключение режима готовности. При включенном режиме готовности в момент соединения с передающим устройством калькулятор включается и (или) переходит в режим ожидания приема данных (необходимо проверить соответствие типа кабеля типу передающего устройства). Реальный прием данных начнется сразу же, как только данные начнут передаваться передающим устройством.
[F6]: САРТ – Сарture (Захват). Настройка режима передачи изображе- ний (снимков экрана калькулятора).	 [F1]: Мет (Метоту – Память) – отключение режимов передачи изображений. [F2]: РС (РС – Компьютер) – режим передачи текущего изображения с экрана калькулятора на компьютер через программу связи калькулятора с компьютером FA-124. Для передачи изображения используется команда CAPTURE (клавиши [SHIFT] и [7]). [F3]: ОНР (ОНР – Проекц. Панель) – режим автоматической передачи изображений с экрана калькулятора на ОНР-устройства, в частности на проекционную панель OHP-9860, и на компьютер через программу <i>fx</i>-9860G Manager PLUS.

Таблица 3.1 (окончание)

Данные настройки используются, в том числе, когда результаты работы комплекса *EA-200 — fx*-9860G требуется продемонстрировать через компьютер с помощью проекционного устройства (электронная доска или проектор).

Физическая лаборатория (аналого-цифровой преобразователь) ЕА-200.

Физическая лаборатория *EA-200* представляет собой аналогоцифровой преобразователь и коммутационное устройство, подключаемое к калькулятору. Оно может работать как от батареек, так и от внешнего устройства электропитания (6 В, 240 мА), входящего в комплект лаборатории. Также в комплект входят три датчика производства CASIO: датчик измерения электрического напряжения, датчик измерения температуры и датчик измерения яркости освещения. Дополнительным устройством является датчик движения *EA-2* – эхолот для измерения расстояния до исследуемого объекта и скорости движения объекта. При работе с датчиком движения требуется подключение лаборатории к внешнему источнику электропитания, так как мощности батареек для проведения измерений недостаточно. Также в качестве дополнительных датчиков возможно использование зондов VERNIER.

Цифровой измерительный комплекс CLab — fx-9860GII.

Объединение *CLab* и калькулятора серии *fx*-9860GII в цифровой измерительный комплекс осуществляется путем коммутации кабелем SB-62, входящим как в комплект калькулятора, так и в комплект лаборатории, через порты 3pin.

Калькулятор управляет работой лаборатории в режиме E-CON2. Вход в него осуществляется через главное меню калькулятора (MAIN MENU). Данный режим является дополнительным программным обеспечением и может быть установлен на калькулятор с компьютера с помощью программы связи калькулятора с компьютером FA-124 или скопирован с другого калькулятора, уже содержащего данную программу.



Главное меню режима E-CON2 имеет следующий вид:

EA-200 Controller F1:Setup EA-200 F2:Setup Memory F3:Program Converter F4:Start Sampling F5:Graph Analysis BET MEN (NOCFISTAT (NAM) (MELD)

В таблице 3.2 кратко описаны функциональные возможности режима E-CON2.

Таблица 3.2

Описание функциональных возможностей режима E-CON2.

Назначение функ- циональной клави- ши главного меню режима E-CON2.	Функциональные возможности.
[F1]: SET – Setup <i>EA-200</i> . Настройка <i>CLab</i> на проведение из- мерений.	[F1]: WIZ (wizard — англ., мастер) — режим «мастер на- стройки». Используется для проведения простых измере- ний с одним датчиком. Настройка параметров ограничена выбором полного интервала проведения измерения. [F2]: ADV (advanced — англ., опытный) — режим «руч- ная настройка». Используется для проведения сложных измерений с одним или несколькими датчиками одно- временно. Параметры измерений задаются пользова- телем.
[F2]: МЕМ – Setup Memory. Работа с сохранен- ными настройками.	Возможно сохранение текущей настройки проведения измерений или осуществление измерения с ранее сохраненными настройками.
[F3]: PROG – Program Converter. Преобразовани е настроек <i>CLab</i> в программный вид.	Возможно преобразование текущей настройки в про- грамму на встроенном в калькулятор языке программи- рования. Программа сохраняется в памяти и может быть отредак- тирована в режиме программирования PRGM. Настройки <i>CLab</i> на проведение измерений в виде прог- раммы могут быть скопированы на другой калькулятор для проведения соответствующих измерений.
[F4]: STRT – Start Sampling. Проведение из- мерений с теку- щей настройкой CLab.	Осуществляется проведение измерений с текущей на- стройкой <i>CLab</i> . Параметры текущей настройки выво- дятся на экран нажатием [OPTN].
[F5]: GRPH – Graph Analysis. Графический ана- лиз эксперимен- тальных данных.	Возможно одновременное построение графиков данных от 1 до 3-х различных измерений, проведение анализа экс- периментальных данных с использованием инструментов анализа данного режима, копирование данных в режим статистической обработки STAT.
[F6]: HELP . Вызов справ- ки о программе E-CON2.	Справочная информация о работе режима E-CON2 и проведении измерений (на английском языке). Просмотр всего текста осуществляется клавишей управления курсором [REPLAY].

Настройка на проведение измерений в режиме «мастер настройки».

Настройка лаборатории на проведение измерений осуществляется в меню режимов настройки Setup *EA-200* ([F1] – **SET**). При входе в него изменяется значение функциональных клавиш:

EA-200 Controller	EA-200 Controller
F1:Setup EA-200 F2:Setup Memory F3:Program Converter F4:Start Sampling F3:Graph Analysis Sep MEM (2005 ISTA (2021) MELP)	F1:Setup EA-200 F2:Setup Memory F3:Program Converter F4:Start Sampling F5:Graph Analysis

Для перехода в режим «мастер настройки» нужно нажать [F1] (WIZ). На экране появится диалоговое окно выбора типа датчика. Комплекс запрограммирован на работу с датчиками CASIO и VERNIER.



В зависимости от типа используемого датчика нужно нажать [F1] (CASIO) или [F2] (VERNIER). Откроется диалоговое окно выбора датчика из списка. В набор CASIO входят 6 датчиков:



Для выбора датчика требуется переместить выделение на нужную строку клавишей управления курсором [REPLAY] и нажать [EXE]. Внешний датчик должен быть подключен к соответствующему порту. В режиме «мастер настройки» для датчиков температуры, освещенности и электронапряжения используется только порт CH1, для датчика движения — порт SONIC, микрофон и динамик являются встроенными и дополнительных подключений не требуют.

Выбор датчиков температуры и движения приведет к появлению запроса на выбор единиц измерения: для температуры — градусы Цельсия или Фаренгейта, для движения — метр или фут. Для выбора размерности нужно выделить соответствующую строку и нажать [EXE].



После выбора единиц измерения, а также после выбора датчика электронапряжения или освещенности появляется диалоговое окно Input Total Sampling Interval (Введите Интервал Измерения), в котором задается длительность проведения измерения (в данном приложении не рассматривается настройка микрофона и динамика). Она может составлять от 0,01 секунды до 30 дней. После ввода числа откроется диалоговое окно Select Unit (Выберите единицы измерения), в котором задается размерность интервала.



Далее выводится окно подтверждения настроек. Для подтверждения надо нажать [F1] (OK), а для отмены и повторного ввода значений — [F6] (Cancel). При выборе [F1] появляется окно завершения настройки Complete! (Выполнено!), которое сообщает, что настройка завершена и можно начать измерения (Start Setup), либо сохранить параметры в памяти (Save Setup-MEM), либо преобразовать настройку в программу (Convert Program). Для выбора надо выделить нужную строку клавишей управления курсором и нажать [EXE].



Сохранение настройки в памяти, после выбора Save Setup-MEM, выполняется в диалоговом окне Setup-MEM Name (Имя Настройки). В квадратные скобки требуется ввести название созданной настройки и нажать [EXE] для его сохранения. В этом окне клавиатура по умолчанию настроена на ввод символов красного цвета. Для возврата к вводу цифр надо нажать клавишу [ALPHA].



После ввода названия настройки в окне Memory Number (Область Памяти) нужно ввести номер области памяти, в которой будет сохранена данная настройка (например 1), и нажать [EXE]. О завершении процедуры сохранения настройки сообщает окно Complete! (Выполнено!). Нажатие на одну из клавиш: [EXE], [EXIT] или [AC^{/ON}] – возвращает к окну завершения настройки.



Преобразование настройки в программу, после выбора Convert Program, выполняется в диалоговом окне Input Program Name (Имя Программы). В квадратные скобки требуется ввести название созданной настройки и нажать [EXE] для сохранения. В этом окне клавиатура по умолчанию настроена на ввод символов красного цвета. Для возврата к вводу цифр надо нажать клавишу [ALPHA]. В строках Calculator (Калькулятор), Model Type (Анализатор) и Calibration (Калибровка) отображаются параметры конвертирования. По умолчанию программа составляется для калькулятора серии *fx*-9860GII, анализатора данных *CLab* и датчиков CASIO и VERNIER. О завершении процедуры создания программы сообщает окно Complete! (Выполнено!): про-грамма сохранена в списке программ и может быть использована в режиме программирования PRGM. Нажатие на одну из клавиш: [EXE], [EXIT] или [AC^{/ON}] — возвращает к главному меню режима E-CON2.



Выполнение измерений в режиме «мастер настройки».

После завершения настройки можно непосредственно начать измерения, выбрав в окне завершения настройки Start Setup. На экране появится запрос о проверке готовности комплекса к выполнению измерения:

1) IS THE SENSOR CONNECTED? — Подключен ли датчик?

2) CONNECT LINK-CABLE FIRMLY? — Прочно ли закреплен кабель связи калькулятора с CLab?

3) IS SAMPLING DONE? — Заданы ли параметры измерения?



После подтверждения готовности нажатием [EXE] калькулятор приступит к подготовке *CLab* к проведению измерения, о чем сообщает диалоговое окно Setting EA-200... (Настройка EA-200...). Прервать процесс можно нажатием [EXIT] или [AC]. Если система готова к работе, появится запрос на проведение измерения: Start sampling? (Начать Измерения?). После нажатия [EXE] комплекс приступит к выполнению измерений.

====== EA-200 ======= #	====== EA-200 =======
Setting EA-200	Start sampling?
Cancel:[AC]	Press:[EXE]

Если калькулятор не подключен к *CLab*, или к *CLab* не подсоединен датчик, или в *CLab* сел аккумулятор, появится сообщение об ошибке — Communication ERROR.

Communication ERROR
*CONNECT LINK-CABLE FIRMLY? *SLIDE CON/OFF] ON EA-200. *Remoue sensor not to use. Press any key

В этом случае нужно нажать любую клавишу калькулятора для возврата в главное меню режима E-CON2, проверить батарейки и правильность подключения датчика и соединительного провода. После этого повторная настройка на проведение измерений не требуется, так как последняя выполненная настройка сохраняется в памяти текущей настройки калькулятора. Для проведения измерения следует нажать [F1] (STRT — сокращ. от англ. старт).



Во время проведения измерений результаты выводятся в виде графика в реальном времени, если интервал измерения больше 10 секунд. При этом индикатором проведения измерения служит черный квадрат в правом верхнем углу экрана калькулятора. Масштаб (параметры окна вывода) рассчитывается калькулятором автоматически.



Выполнение измерений с сохраненными настройками осуществляется в меню Setup Memory ([F2] — **MEM**). В окне Setup-MEM List (Список Настроек) построчно отображаются названия настроек и номера областей памяти, в которых настройки сохранены.

Setup-MEM List 1:TEMP1 EA-200 Controller F1:Setup EA-200 F2:Setup Memory F3:Prosram Converter F4:Start Sampling F5:Graph Analysis Sen Mag 2000 ISTR 0221 MetP STRT SAVE REN DEL LOAD HELP

При нажатии на [OPTN] открывается окно параметров выделенной черным цветом настройки. Окно закрывается нажатием на [EXIT], а при нажатии на [EXE] появляется запрос на проведение измерения с данной настройкой: Start this Setup MEM? (Начать Измерения?). Он же вызывается нажатием на [F1] (STRT).

Нажатие на [F1] (Yes) приведет к появлению запроса о проверке готовности комплекса к выполнению измерения, то есть к началу проведения измерения, а нажатие на [F6] (No) выполнит возврат к предыдущему окну.

Выполнение измерений с помощью сгенерированной программы осуществляется в режиме программирования PRGM. В главном окне режима программирования расположен список программ. Для выполнения измерения нужно переместить выделение на строку с названием нужной программы (например сгенерированной выше программы TT1 для измерения температуры в течение 20 секунд) и нажать [F1] (EXE).



Это приведет к появлению запроса на ввод минимального (Input Ymin?) и максимального (Input Ymax?) значений измеряемой величины. Ввод чисел осуществляется соответствующими цифровыми клавишами, подтверждение — клавишей [EXE]. В заданном интервале будет размечено окно вывода графика результатов в процессе измерения. Далее появляется запрос на проведение измерения: Sampling start? (Начать Измерения?) Нажатие на [EXE] приведет к выполнению измерения.



Во время проведения измерения результаты выводятся в виде графика в реальном времени, если интервал измерения больше 10 секунд. По окончании измерения масштаб меняется так, чтобы график был наиболее удобен для чтения. Отметим, что если часть данных окажется расположенной за пределами заданной области, то после завершения измерения окно вывода графика будет автоматически откорректировано так, чтобы все данные оказались на экране.



По умолчанию результаты измерения, то есть выполнения программы, сохраняются в таблице режима STAT (в столбце List1 время, List2 — измеряемая величина), но место размещения данных можно изменить, откорректировав программу.



Настройка на проведение измерений в режиме «ручная настройка». Для перехода в режим «ручная настройка» в главном меню режима E-CON2 следует выбрать [F1] (SET), в подменю режимов настройки — [F2] (ADV). На экране появится меню режима «ручная настройка».



Отметим, что отображаемое в виде таблицы меню параметров настройки и меню функциональных клавиш не совпадают. Настройка на проведение измерений создается комбинацией следующих параметров:

- [1]: Channel (Канал) настройка портов на прием информации от датчиков.
- [2]: Sample (Замер) настройка количества и частоты замеров.
- [3]: Trigger (Пуск) настройка условия начала измерения.
- [4]: Graph (График) настройка параметров окна вывода графика результатов измерений.
- [5]: Custom Probe (Пользовательский Зонд) настройка датчика, не входящего в список датчиков CASIO или VERNIER.
- [6]: Initialize (Инициализация) сброс текущей настройки.

Для настройки параметра требуется войти в подменю настройки параметра, выделив нужную строку с помощью клавиши управления курсором и нажав [EXE] или нажав соответствующую цифровую клавишу, провести настройку и выйти из подменю, нажав [EXE] или [EXIT].

Меню функциональных клавиш кратко описано в таблице 3.3.

Таблица 3.3

Функциональные возможности режима «ручная настройка».

Назначение функциональных клавиш меню режима «ручная настройка».	Функциональные возможности.
[F4] — STRT (Start Sampling). Проведение измерений с текущей на- стройкой режима «ручная настройка».	Осуществляется проведение измере- ний с текущей настройкой режима «ручная настройка».
[F2] — MLTI (Multimeter). Проведение измерений в режиме «мультиметр».	Осуществляется не ограниченное по времени проведение измерений одним или несколькими заданными датчиками с выводом на экран теку- щих значений измеряемых величин.
[F3] — MEM (Setup Memory). Работа с сохраненными настройками.	Осуществляется переход в меню Setup Memory (см. табл. 3.2).
[F4] — PROG (Program Converter). Преобразование настроек режима «руч- ная настройка» в программный вид.	Осуществляется переход в меню Pro- gram Converter (см. табл. 3.2).
[F5] — GRPH (Graph Analysis). Графический анализ экспериментальных данных.	Осуществляется переход в меню Graph Analysis (см. табл. 3.2).
[F6] — АВТ . Вызов справки об измерительном комплексе.	Справочная информация о состоянии подключенного анализатора <i>EA-200</i> и версии программы E-CON2.

Настройка портов на прием информации от датчиков осуществляется в окне Channel Setup (Настройка каналов) подменю Channel (Канал). В левой части окна расположен список портов *CLab*, в правой части окна требуется указать названия датчиков, подключенных к соответствующим портам.



Выбор настраиваемого порта осуществляется перемещением выделения по списку портов клавишей [REPLAY]. Для выбора датчика используются функциональные клавиши: [F1] (CASIO) — выбор датчика из списка датчиков CASIO.

[F2] (VRNR) — выбор датчика из списка датчиков VERNIER.

- [F3] (CSTM) выбор датчика из списка пользовательских датчиков.
- [F4] (None) закрытие порта для входного сигнала.

При нажатии на соответствующую функциональную клавишу открывается список датчиков, в котором клавишей [REPLAY] нужно переместить выделение на нужный датчик и нажать [EXE]. Название датчика появляется напротив настраиваемого порта, а в нижней строке списка отображается диапазон чувствительности *CLab* при работе с текущим датчиком.



Отметим, что возможно одновременное использование от одного до четырех датчиков, идущих первыми по списку. При работе порта Міс (микрофон) использование других датчиков невозможно.

Настройка количества и частоты замеров осуществляется в окне Sample Setup (Настройка замеров) подменю Sample (Замер). В левой части окна расположен список параметров, в правой части окна требуется указать значения параметров.



Возможности настройки временно́го интервала измерений представлены в таблице 3.4.

Настройка условия начала измерения осуществляется в окне Trigger Setup (Настройка условия пуска) подменю Trigger (Пуск). Список условий расположен в меню функциональных клавиш и изменяется в зависимости от выбранного режима измерений.



Список условий начала измерения представлен в таблице 3.5. Нажатие на [F6] (HELP) вызывает справочную информацию о доступных в данном режиме условиях.

Настройка	време	нно́го	интервала	измерений
в реж	киме «	ручная	настройка	a».

Параметр.	Возможности настройки параметра.
Моdе (Режим). Настройка ре- жима проведе- ния измерений.	Возможность проведения измерений с различными на- стройками реализована в виде ряда режимов: [F1]: R-T (Realtime) — режим реального времени; [F2]: Fast (Fast) — режим быстрых измерений; [F3]: Norm (Normal) — стандартный режим; [F4]: Extd (Extended) — режим медленных измерений; [F1]: Snd (Sound) — режим регистрации звука микрофоном; [F2]: Clck (Clock) — режим регистрации фиксированного события; [F3]: Priod (Period) — режим измерений периодических процессов. Выбор режима осуществляется нажатием соответствую- щей функциональной клавиши. Для перехода от первого списка режимов ко второму нужно нажать [F6]. Нажатием на [F5] вызывается справочная информация о режимах.
Interval (Шаг). Настройка ин- тервала между соседними за- мерами.	Установка шага осуществляется в окне Sampling Interval (Шаг Замеров), вызываемом нажатием на [F1] (NUM). Диапазон допустимых значений для различных режимов: R-T (Realtime) – от 0,2 до 299 с; Fast (Fast) – от 20 до 500 мкс; Norm (Normal) – от 0,0005 до 299 с; Extd (Extended) – от 5 до 240 мин; Snd (Sound) – от 20 до 27 мкс; Clck (Clock) – установка шага отсутствует; Priod (Period) – установка шага отсутствует.
Number (Количество). Настройка коли- чества замеров.	Установка количества замеров осуществляется аналогично настройке шага замеров. Диапазон допустимых значений зависит от режима. Под строкой Number в квадратных скобках отображается полная длительность измерения, вычисляемая калькулято- ром автоматически по заданным шагу и количеству замеров.
Warm-up (Таймер). Настройка времени подго- товки комплекса перед началом проведения из- мерений.	Включение таймера осуществляется после подтверждения запроса о проверке готовности комплекса к выполнению измерения. После выключения таймера появляется запрос на проведение измерения Для выбора типа таймера нужно нажать одну из функциональных клавиш: [F1]: Auto – для каждого датчика устанавливается автома- тическое время подготовки; [F2]: Man – время подготовки задается пользователем; [F3]: None – время на подготовку отсутствует.
FFT Graph	Построение графика Фурье в режиме быстрых измерений.

Таблииа 3.4

Функциональная клавиша.	Условие начала измерения.
[F1]: [EXE] – [EXE]key.	Нажатие на клавишу [ЕХЕ] калькулятора.
[F2]: [Cnt] – CountDown.	Завершение заданного обратного отсчета (от 1 до 10 секунд).
[F3]: [CH1] – CH1.	Регистрация портом CH1 входящего сигнала заданной величины.
[F4]: [Sonic] – SONIC.	Регистрация портом SONIC входящего сигнала заданной величины.
[F5]: [[STR]] – [START]key.	Нажатие на клавишу [START] анализатора <i>CLab</i> .
[F5]: [Mic] – Mic.	Регистрация микрофоном входящего сигнала заданной величины.

Список условий начала измерения.

Таблица 3.6

Список параметров окна вывода графика результатов измерений.

Параметр окна вывода графика.	Назначение параметра.
Graph Func	Вывод на экран названия данных. При построении графика со- храненных данных выводится имя файла, при построении гра- фика данных последнего измерения выводится название порта, с которого данные получены.
Coord	Вывод на экран координат положения курсора в режиме трас- сировки графика.
Econ Axes	Вывод на экран осей координат.
Real Scroll	Прокрутка графика в реальном времени.

Настройка параметров окна вывода графика результатов измерений осуществляется в окне Graph Setup (Настройка Графика) подменю Graph (График). В окне расположен список параметров. Их назначение описано в таблице 3.6. Если при построении графика параметр используется, то напротив него стоит надпись On (Вкл.), если не используется — Off (Выкл.). Переключение между состоянием On и Off выделенного параметра выполняется нажатием соответствующей функциональной клавиши.



Сохранение текущей настройки в памяти и преобразование настройки в программу выполняется так же, как и в режиме «мастер настроек». Для перехода к окну сохранения настройки в меню режима «ручная настройка» нужно нажать [F3] (MEM), для перехода к окну преобразования настройки в программу — [F4] (PROG). Отметим, что сохранение настроек обоих режимов выполняется в общей области памяти, а сохранение программ в списке программ режима программирования PRGM.

Выполнение измерений в режиме «ручная настройка».

Команда на проведение измерений дается нажатием на [F1] (STRT) в меню режима «ручная настройка» после завершения настройки нужных параметров. Дальнейший порядок действий полностью аналогичен проведению измерений с помощью «мастера настроек».

Advanced Setup for EXFERT ID: Champel [2]: Sample [3]: Trigger [4]: Graph	======================================	Start sampling?
[5]: Custom Probe [6]: Initialize [STRT [MLT] [MBD] [2006] [M20] [АВТ]	Press:[EXE]	Press:[EXE]

Выполнение измерений с сохраненными настройками и с помощью сгенерированной программы выполняется так же, как и в режиме «мастер настроек». При выполнении программы в таблице режима статистических расчетов будет заполнено количество столбцов (List) по числу использованных датчиков плюс один — время.

Сохранение экспериментальных данных.

Сохранение экспериментальных данных осуществляется в меню Graph Analysis. Вход в него выполняется либо из главного меню режима E-CON2 нажатием [F5] (**GRPH**), либо из окна построения графика данных нажатием [EXIT]. В окне Mode: Graph Analysis (Графический Анализ) расположен список графиков экспериментальных данных. Список состоит из трех строк: на экране калькулятора может выполняться одновременное построение от одного до трех графиков данных. По умолчанию результаты последнего измерения с одним датчиком заносятся в строку Gph1 (График 1), с двумя датчиками — Gph1 и Gph2, с тремя датчиками — заполняют все строки, при этом напротив названия графика отображается название принимающего канала и измеряемой характеристики. Данные, полученные разными датчиками, сохраняются отдельно. Для сохранения данных требуется переместить выделение на нужную строку и нажать [F2] (DATA). В открывшемся окне Sample Data List (Список Экспериментальных Данных) также требуется выделить нужную строку и нажать [F2] (SAVE).



В открывшемся окне Sample Data Name (Имя Экспериментальных Данных) под заголовком Specifications (Технические Параметры) указана характеристика сохраняемых данных. В квадратные скобки требуется ввести имя файла, в котором будут сохранены данные, и нажать [EXE]. В окне Memory Number (Область памяти) нужно ввести номер области памяти, в которой будут сохранены данные (например 3), и нажать [EXE] для сохранения и возврата в окно списка экспериментальных данных, в котором теперь отображается название файла сохраненных данных.



Отметим, что в списке данных слева от двоеточия указан номер области памяти, в которой сохранен файл данных, а справа — имя файла. Данные последнего измерения сохраняются в области памяти сd и имеют название принимающего канала (например CH1). При новом измерении с использованием данного канала старые данные автоматически удаляются.

Обработка экспериментальных данных.

Анализ экспериментальных данных осуществляется в окне построения графика, вход в которое выполняется автоматически после проведения измерения или из меню Graph Analysis нажатием [F6] (DRAW). При выведенном на экран графике меню функциональных клавиш вызывается нажатием на [SHIFT]. Его функциональные возможности описаны в таблице 3.7.



Таблица 3.7

Описание меню функциональных клавиш окна построения графика

Функциональная клавиша.	Функциональные возможности.
[F1]: TRCE — Trace.	Режим трассировки графика.
[F2]: ZOOM – Zoom.	Масштабирование графика.
[F3]: V-WIN — Vew Window.	Изменение масштаба окна вывода графика и единиц измерения оси времени.
[F4]: SKTCH — Sketch.	Нанесение дополнительных меток, линий и текста на график.

Описание функциональных клавиш меню OPTN окна построения графика.

Функциональная клавиша.	Функциональные возможности.
[F1]: PICT — Picture.	Сохранение графика в памяти картинок каль- кулятора или вызов картинки из этой памяти.
[F2]: LMEM — List Memory.	Сохранение экспериментальных данных в та- блице режима статистической обработки STAT.
[F3]: EDIT — Edit.	Изменение масштаба и перемещение графика по экрану.
[F4]: CALC — Calculate.	Расчет методом наименьших квадратов и по- строение графика аппроксимирующей экспе- риментальные данные функции.
[F5]: Y=fx .	Построение графика произвольно заданной функции.
[F6]: SPKR — Speaker.	Вывод на динамик экспериментальных звуко- вых данных.

Дополнительные возможности обработки экспериментальных данных открываются в меню OPTN при нажатии на клавишу [OPTN]. Возможности этого меню описаны в таблице 3.8.

CHICU US MSU	ec
2.3892	
PILL LPIEP	EUU PULLUP (Y=f× SPKR

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введ	ение
PA3	ДЕЛ 1. Технология и методика использования цифрового
	измерительного комплекса <i>CLab — fx</i> -9860GII
	в практикуме по электродинамике.
	Примеры разноуровневых инструкций 5
1.1.	Исследование разрядки конденсатора 5
1.2.	Исследование зарядки конденсатора, подключенного
	через резистор к источнику постоянного напряжения 28
1.3.	Исследование изменения силы тока в электрической цепи
	с индуктивностью и оценка динамической индуктивности
	первичной катушки трансформатора ВУ-4М (ВУ-4) 35
PA3	ДЕЛ 2. Разработки учителей — участников
	научно-методического проекта
	«Школьный калькулятор» 42
2.1.	Измерение напряжения на различных участках
	электрической цепи 42
2.2.	Измерение мощности электрической лампы 44
2.3.	Измерение энергии заряженного конденсатора 45
2.4.	Изучение последовательного соединения проводников 47
2.5.	Изучение последовательного и параллельного соединения
	проводников
2.6.	Изучение преобразования энергии в электрической цепи 53
2.7.	Измерение ЭДС и внутреннего сопротивления источника
	тока
2.8.	Определение ЭДС и внутреннего сопротивления источника
	тока графическим методом 59
PA3	ДЕЛ 3. Общие принципы обеспечения работы цифрового

РАЗДЕЛ З.	Общие принципы обеспечения работы цифрового
	измерительного комплекса CLab — fx-9860GII 62