

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ №2 «ИССЛЕДОВАНИЕ ЦЕПЕЙ ОДНОФАЗНОГО СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА В СРЕДЕ TINA TI»

1.1. Порядок выполнения

1.1.1. Общие положения

1. Внесите в бланк отчёта номер группы, Фамилию И.О. и номер студенческого билета (зачётки; студенческий шифр)
2. Впишите в бланк отчёта номер варианта и соответствующие ему номиналы элементов и значение начальной частоты.

Номер варианта соответствует **двум последним цифрам** студенческого билета (зачётки, шифра).

Например: 23K0166 → 66 вариант, 23Б0200 → 100 вариант.

Таблица вариантов:

Вар.	L, мГн	C, нФ	R, Ом	f _{нач} , кГц
1	0,81	21	103	13,0
2	0,54	57	51	10,0
3	0,98	13	145	15,0
4	0,78	18	110	14,0
5	3,88	43	158	4,0
6	2,38	19	186	8,0
7	2,99	15	235	8,0
8	0,51	105	37	7,0
9	1,31	24	123	9,0
10	6,07	75	150	2,0
11	1,82	38	115	6,0
12	1,37	86	66	5,0
13	0,40	174	25	6,0
14	0,61	31	74	12,0
15	1,77	32	124	7,0
16	1,08	27	105	10,0
17	2,91	47	131	5,0
18	0,75	38	74	10,0
19	0,44	74	41	9,0
20	0,97	21	113	12,0
21	1,60	19	153	10,0

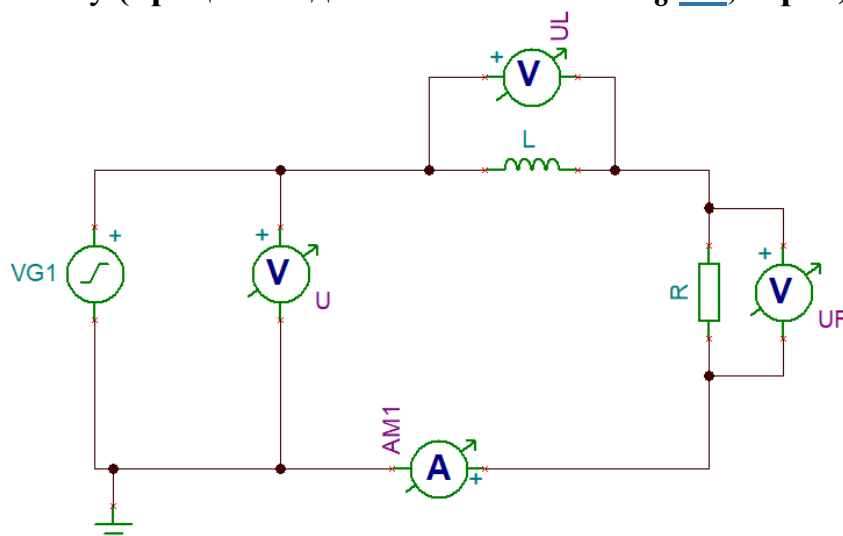
Вар.	L, мГн	C, нФ	R, Ом	f _{нач} , кГц
22	1,21	51	81	7,0
23	0,95	27	99	10,0
24	0,67	38	70	11,0
25	1,91	109	70	4,0
26	2,10	48	110	5,0
27	3,04	99	92	3,0
28	1,37	136	53	4,0
29	2,04	73	88	4,0
30	0,73	38	73	10,0
31	1,23	61	75	6,0
32	1,38	38	100	7,0
33	0,79	134	40	5,0
34	1,84	201	50	3,0
35	3,21	85	102	3,0
36	0,91	67	61	7,0
37	1,37	165	48	4,0
38	3,09	37	152	5,0
39	2,59	29	157	6,0
40	0,81	57	63	8,0
41	0,72	103	57	5,7
42	1,25	30	132	8,1

Вар.	L, мГн	C, нФ	R, Ом	f _{нач} , кГц
43	1,89	50	50	5,9
44	1,42	104	132	4,3
45	1,57	65	44	4,9
46	0,52	64	157	9,9
47	1,58	38	215	6,6
48	2,42	77	142	3,8
49	0,99	72	165	6,3
50	1,73	42	61	4,8
51	1,07	111	186	3,7
52	1,35	71	225	3,9
53	2,37	41	216	3,9
54	0,55	56	163	7,3
55	0,95	38	123	6,4
56	2,21	25	148	5,1
57	1,24	120	164	3,1
58	1,13	34	81	6,2
59	2,25	35	173	4,2
60	1,07	115	109	3,4
61	1,33	56	203	4,4
62	2,37	31	171	4,7
63	0,57	61	192	6,8
64	0,98	104	68	3,9
65	0,97	91	97	4,4
66	1,15	32	76	6,5
67	0,55	79	188	6,4
68	1,35	114	79	3,3
69	1,38	18	90	8,1
70	1,69	18	168	7,1
71	0,66	50	144	7,1
72	0,83	59	65	5,5
73	1,12	24	230	7,9
74	2,46	103	84	2,5
75	1,97	71	177	3,3
76	1,54	64	124	3,9
77	2,03	99	189	3,0
78	2,22	117	77	2,4
79	2,38	69	135	3,0
80	0,74	54	27	6,0
81	1,62	102	40	3,1

Вар.	L, мГн	C, нФ	R, Ом	f _{нач} , кГц
82	0,88	35	209	7,3
83	1,32	103	166	3,3
84	0,43	85	85	6,4
85	0,75	94	52	4,8
86	1,66	108	67	2,9
87	1,94	33	113	5,0
88	1,72	53	232	4,2
89	1,04	113	217	3,7
90	0,66	35	217	8,2
91	0,56	104	219	5,4
92	2,02	25	104	5,7
93	1,26	24	93	7,0
94	2,24	63	104	3,2
95	0,61	109	59	5,0
96	2,33	60	184	3,3
97	2,13	96	114	2,8
98	2,47	70	142	3,2
99	1,11	67	83	4,4
100	0,88	58	99	5,9

1.1.2. Опыт 1. Исследование RL -цепи

1. Соберите схему (процесс подготовки схемы см. § 1.2, стр. 6)



2. Запишите в таблицу результаты частоты, на которых будут проводиться измерения, определив их по правилу из таблицы:

$$Nf = N * f_{\text{нач}}$$

Обратите внимание, что частоты записываются в **килогерцах**.

3. Проведите измерения напряжений, тока и временного сдвига между током и напряжением для каждой частоты (см. § 1.3, стр. 8).

Полученные значения занесите в таблицу результатов.

4. Проведите расчёт разности фаз в градусах по формуле:

$$\varphi = 360 * f * (t_i - t_u)$$

Полученные значения занесите в таблицу результатов.

5. Проведите расчёт индуктивного сопротивления в омах по формуле:

$$X_L = \omega * L = 2\pi f * L$$

Полученные значения занесите в таблицу результатов.

6. Постройте графические зависимости разности фаз и индуктивного сопротивления от частоты $\varphi(f)$, $X_L(f)$.

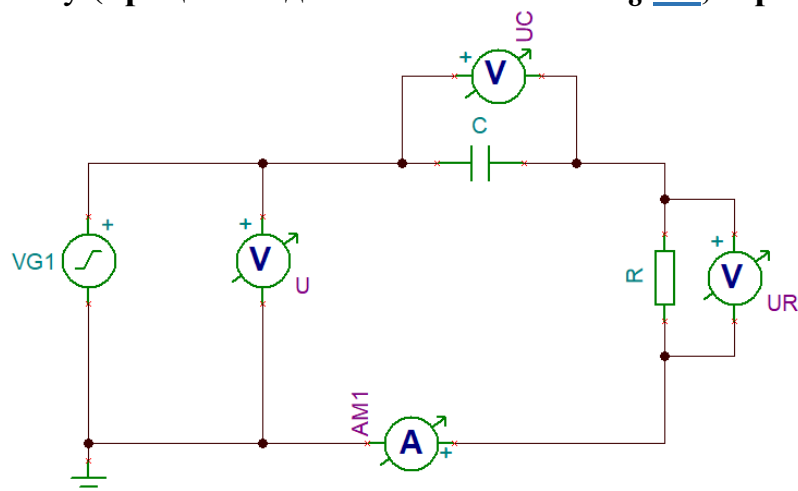
Примечание: для проведения расчётов разности фаз и индуктивного сопротивления, а также построения соответствующих графиков рекомендуется воспользоваться специализированным ПО, например, MS Excel или любой другой удобной программой.

Таблица результатов:

	f , кГц	U , мВ	I , мкА	U_L , мВ	$t_i - t_u$, мкс	φ , град.	X_L , Ом
		Измерено				Рассчитано	
$1f_{\text{нач}} =$							
$2f_{\text{нач}} =$							
$4f_{\text{нач}} =$							
$6f_{\text{нач}} =$							
$8f_{\text{нач}} =$							
$10f_{\text{нач}} =$							

1.1.3. Опыт 2. Исследование RC-цепи

1. Соберите схему (процесс подготовки схемы см. § 1.2, стр. 6)



Запишите в таблицу результаты частоты, на которых будут проводиться измерения, определив их по правилу из таблицы:

$$Nf = N * f_{\text{нач}}$$

Обратите внимание, что частоты записываются в **килогерцах**.

2. Проведите измерения напряжений, тока и временного сдвига между током и напряжением для каждой частоты (см. § 1.3, стр. 8).

Полученные значения занесите в таблицу результатов.

3. Проведите расчёт разности фаз в градусах по формуле:

$$\varphi = 360 * f * (t_i - t_u)$$

Полученные значения занесите в таблицу результатов.

4. Проведите расчёт емкостного сопротивления в омах по формуле:

$$X_C = \frac{1}{\omega * C} = \frac{1}{2\pi f * C}$$

Полученные значения занесите в таблицу результатов.

5. Постройте графические зависимости разности фаз и емкостного сопротивления от частоты $\varphi(f)$, $X_C(f)$.

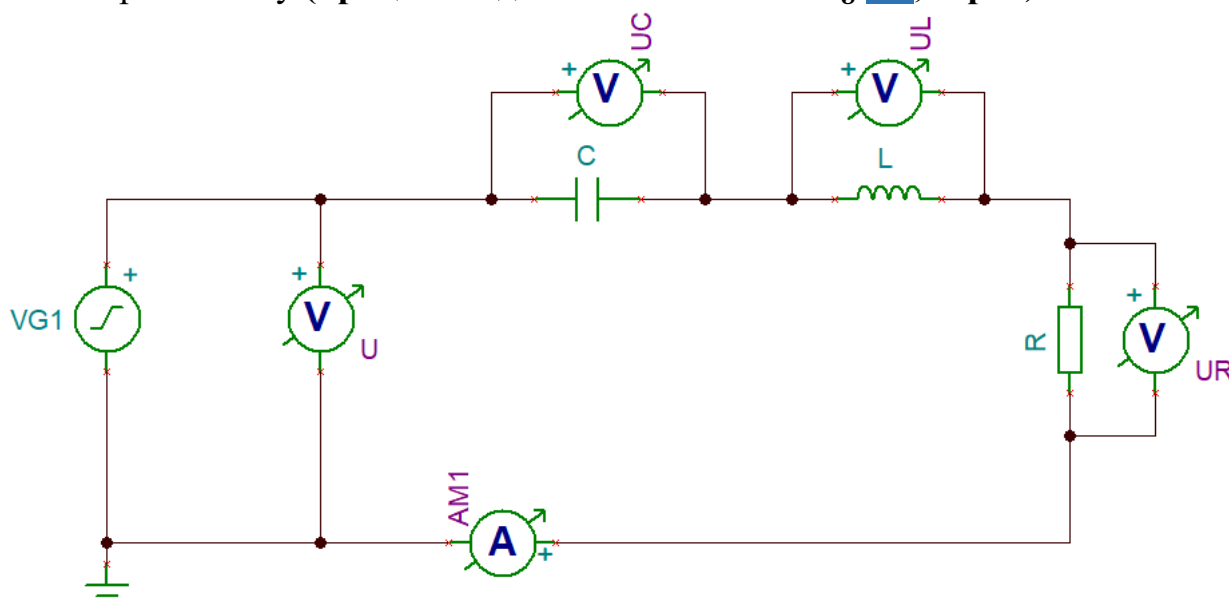
Примечание: для проведения расчётов разности фаз и индуктивного сопротивления, а также построения соответствующих графиков рекомендуется воспользоваться специализированным ПО, например, MS Excel или любой другой удобной программой.

Таблица результатов:

	f , кГц	U , мВ	I , мкА	U_C , мВ	$t_i - t_u$, мкс	φ , град.	X_C , Ом
		Измерено				Рассчитано	
$1f_{\text{нач}} =$							
$2f_{\text{нач}} =$							
$4f_{\text{нач}} =$							
$6f_{\text{нач}} =$							
$8f_{\text{нач}} =$							
$10f_{\text{нач}} =$							

1.1.4. Опыт 3. Исследование резонанса в последовательной RLC-цепи

1. Соберите схему (процесс подготовки схемы см. § 1.2, стр. 6)



2. Определите резонансную частоту двумя способами:

- С помощью частотного исследования цепи (см. § 1.4.1 на стр. 15).
- По аналитическому выражению (см. § 1.4.2 на стр. 17).

3. Запишите в таблицу результатов полученную **резонансную частоту** $f_{\text{рез}}$ и кратные ей частоты, для которых будет проводиться исследование цепи.

Правило определения частот указано в таблице результатов.

Обратите внимание, что частоты записываются в **килогерцах**.

4. Проведите измерения напряжений, тока и временного сдвига между током и напряжением для каждой частоты.

Полученные значения занесите в таблицу результатов.

5. Проведите расчёт разности фаз в градусах по формуле:

$$\varphi = 360 * f * (t_i - t_u)$$

Полученные значения занесите в таблицу результатов.

6. Проведите расчёт полного сопротивления в омах по формуле:

$$Z = \frac{U}{I}$$

Полученные значения занесите в таблицу результатов.

7. Постройте графические зависимости напряжений, тока, разности фаз и полного сопротивления от частоты $U_L(f)$, $U_C(f)$, $U_R(f)$, $I(f)$, $\varphi(f)$, $Z(f)$.

Графики $U_L(f)$, $U_C(f)$, $U_R(f)$ строить **в одной системе координат**.

8. Постройте векторные диаграммы тока и напряжений для трёх частот: $0,5 f_{\text{рез}}$, $f_{\text{рез}}$ и $1,5 f_{\text{рез}}$

Примечание: для проведения расчётов разности фаз и индуктивного сопротивления, а также построения соответствующих графиков рекомендуется воспользоваться специализированным ПО, например, MS Excel или любой другой удобной программой.

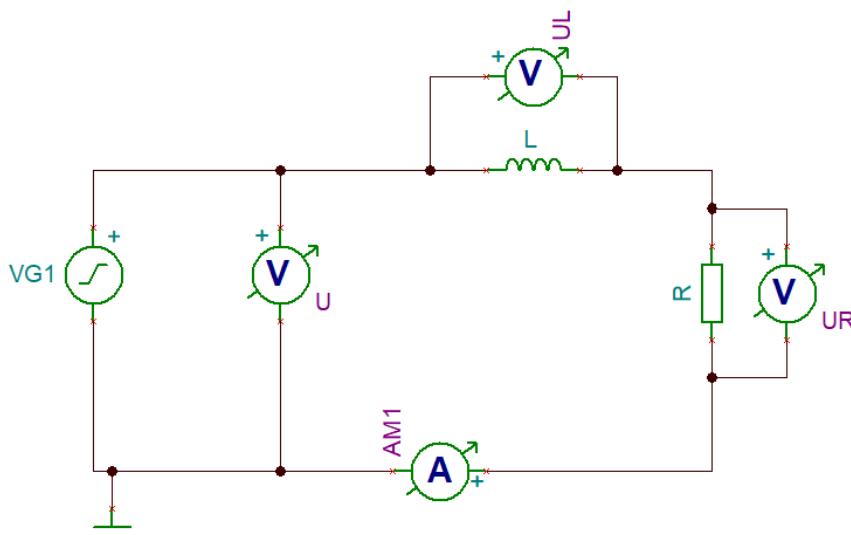
Таблица результатов:

№		f , кГц	U , мВ	I , мкА	U_L , мВ	U_C , мВ	U_R , мВ	$t_i - t_u$, мкс	φ , град.	Z , Ом
			Измерено						Рассчитано	
1.	$0,3 f_{рез}$									
2.	$0,5 f_{рез}$									
3.	$0,8 f_{рез}$									
4.	$0,9 f_{рез}$									
5.	$f_{рез}$									
6.	$1,1 f_{рез}$									
7.	$1,2 f_{рез}$									
8.	$1,5 f_{рез}$									
9.	$2,0 f_{рез}$									

1.2. Подготовка схемы

1.2.1. Общие положения

Рассмотрим подготовку схемы для анализа на примере схемы из Опыта 1. Подготовка схем для других опытов аналогична и не имеет принципиальных отличий.

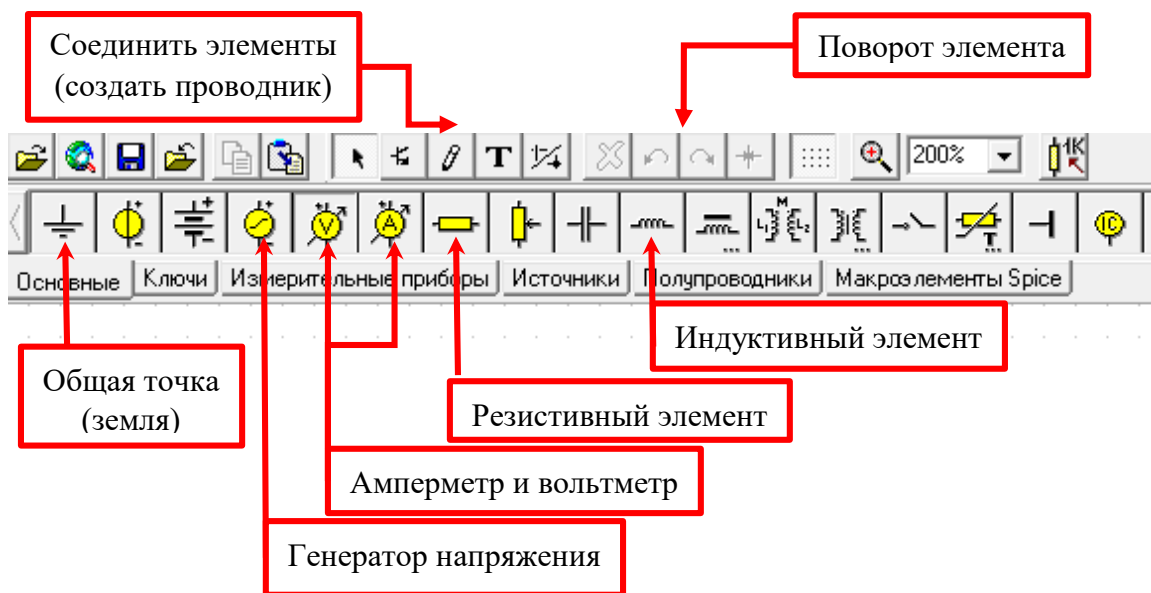


Общие замечания к схеме (для всех опытов):

- В генераторе устанавливается амплитуда напряжения **1,414214 В** (см. § 1.2.4, стр. 7). При измерении напряжения мультиметром (вольтметром) вы получите среднеквадратическое [СКЗ, действующее] значение напряжения, равное $U_m/\sqrt{2}$. В данном случае получится значение 1 В = 1000 мВ, что несколько упростит дальнейшие расчёты.
- **Полярность** включения измерительных приборов **важна** для корректных измерений.
- Резистор R, помимо внесения в цепь резистивной составляющей, используется для получения синусоиды, пропорциональной изменению **тока** (осциллограф показывает только напряжение, а **UR** пропорционально току по закону Ома).

1.2.2. Основное меню

Необходимые элементы находятся на вкладках «Основные» и «Источники».



Для установки элемента необходимо нажать соответствующую кнопку меню, а затем расположить элемент в нужном месте рабочей области. При необходимости поворота элемента нужно выбрать его мышью, а затем нажать кнопку поворота нужное количество раз (одно нажатие производит поворот на 90° по или против часовой стрелки).

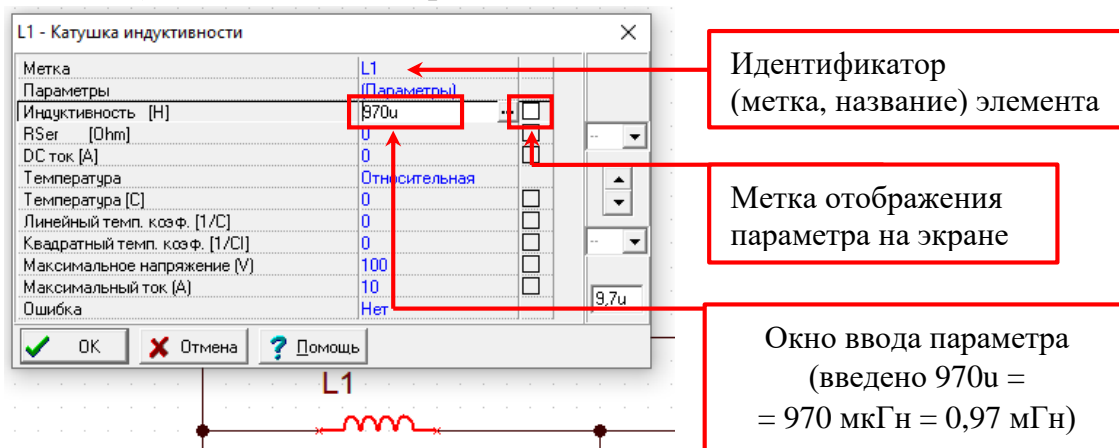
1.2.3. Установка параметров пассивных элементов

Для ввода параметров пассивных элементов необходимо сделать двойной щелчок на элементе и ввести номинал элемента в соответствующую строку.

*При вводе значений обращайте внимание на **множители!!!***


Буква	Приставка	Множитель
k	к, кило	10^3
m	м, мили	10^{-3}
u	мк, микро	10^{-6}

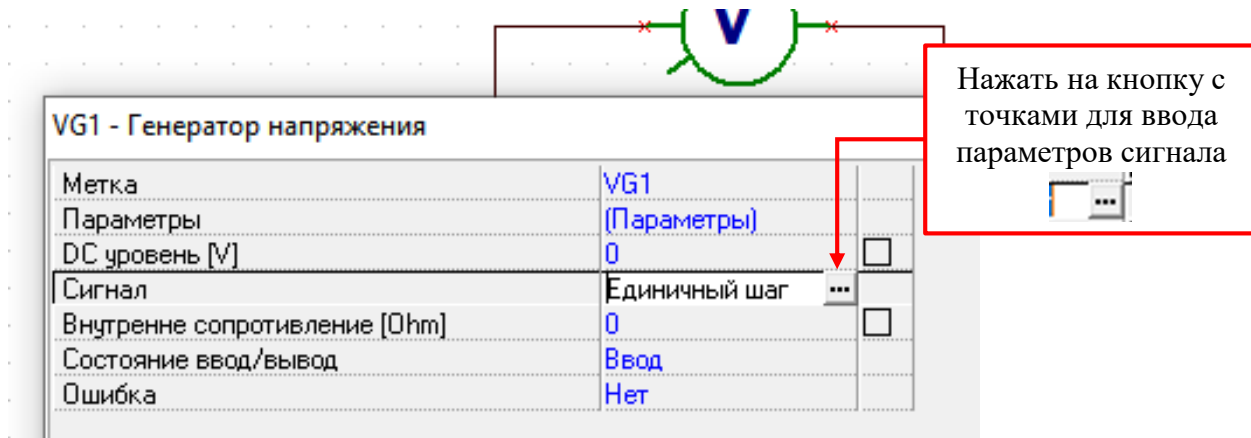
Ввод параметров пассивного элемента на примере индуктивного элемента (для емкостного и резистивного элементов действия аналогичны):



1.2.4. Установка параметров генератора напряжений

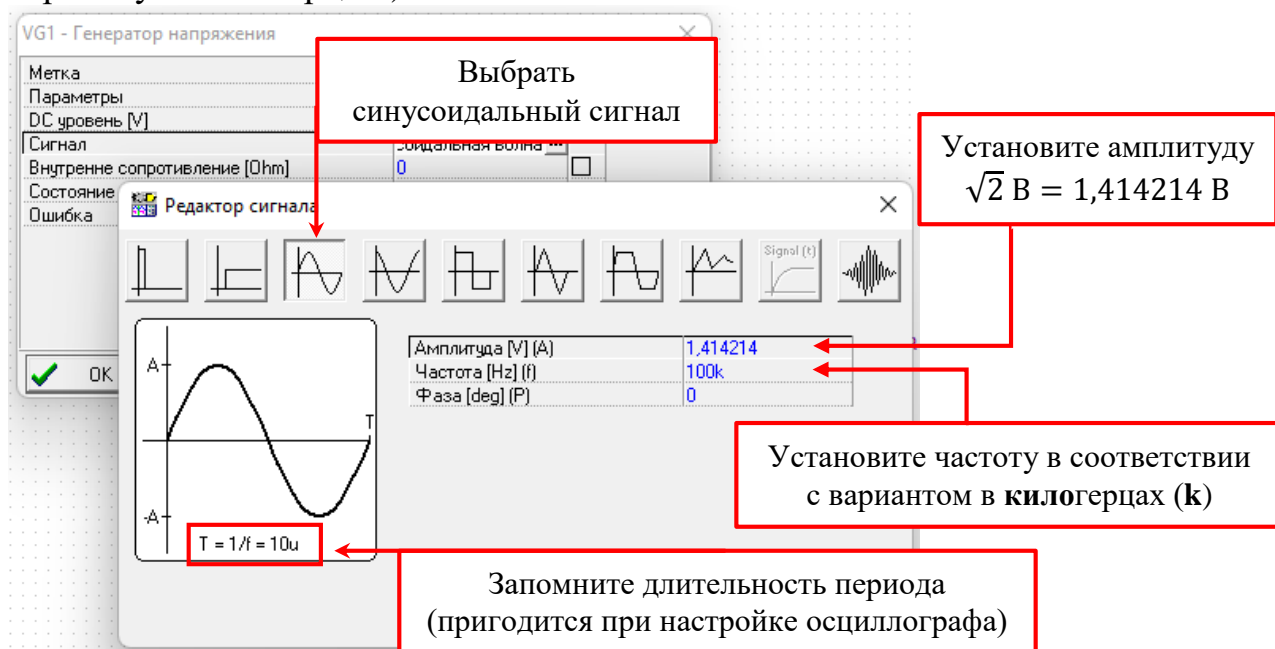
Шаг 1:

Вызвать двойным щелчком мыши окно ввода характеристик источника VG1 и вызвать меню ввода его параметров, нажав кнопку .



Шаг 2:

Ввести параметры источника (амплитуда **1,414214 В**, частота по варианту в **килогерцах!**)



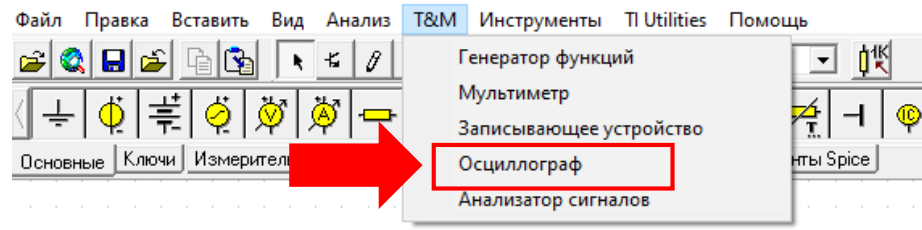
1.3. Измерения в Опытах 1 и 2 (осциллограф и мультиметр)

Опыты 1 и 2 имеют общую структуру, различаясь только реактивным элементом, который исследуется, поэтому рассмотрим проведение измерений на примере Опыта 1 «Исследования RL -цепи».

1.3.1. Работа с осциллографом

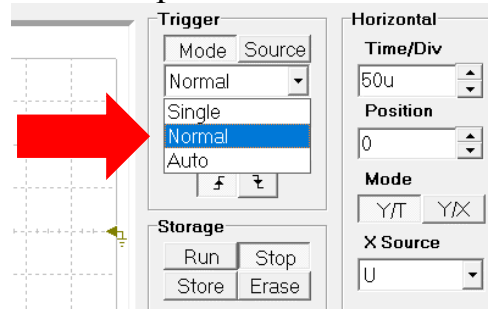
1.3.1.1. Настройка отображения сигналов

Запустите осциллограф (меню «T&M - Осциллограф»)

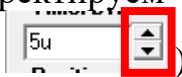


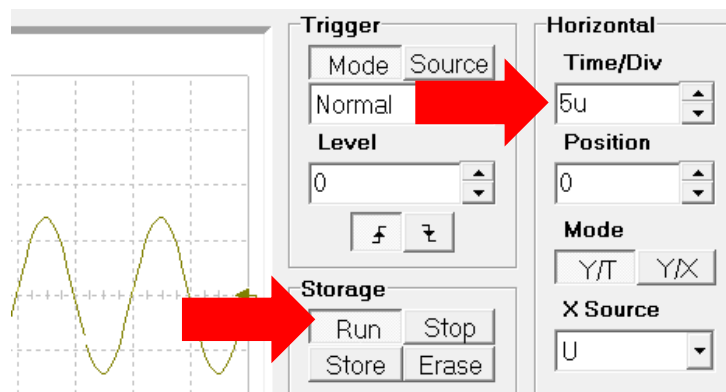
Настроим осциллограф для устойчивого показа синусоид **напряжения** (U) и **тока** (UR). Для этого выполним следующие действия:

а) Установим режим синхронизации «Normal».



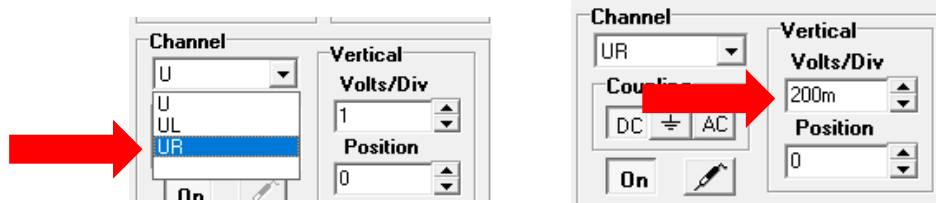
б) Установим временнУю развёртку, соответствующую выбранной частоте.

Для этого определим период сигнала, соответствующий выбранной частоте (для выбранной частоты $f = 100$ кГц это $1/f \approx 10$ мкс. Это значение лишь ориентировочное, масштаб подбирается экспериментально. Выберем в секции «Horizontal» (горизонтальная развёртка), раздел «Time/Div» (секунд на деление) выберем из дискретных значений ближайшее к длительности периода, после чего в секции «Storage» нажмём кнопку «Run». При необходимости скорректируем значение «Time/Div» (стрелками в правой части окна ввода ) так, чтобы на экране отображались 2 – 3 периода.



в) Проведём настройку вертикальной развёртки.

Для этого выберем канал, соответствующий вольтметру **U** и меняя значения «**Volts/Div**» (вольт на деление) в секции «**Horizontal**» (Горизонтальная развёртка) подберём такое значение, которое позволит удобно наблюдать обе временные диаграммы (**напряжения (U)** и **тока (UR)**)

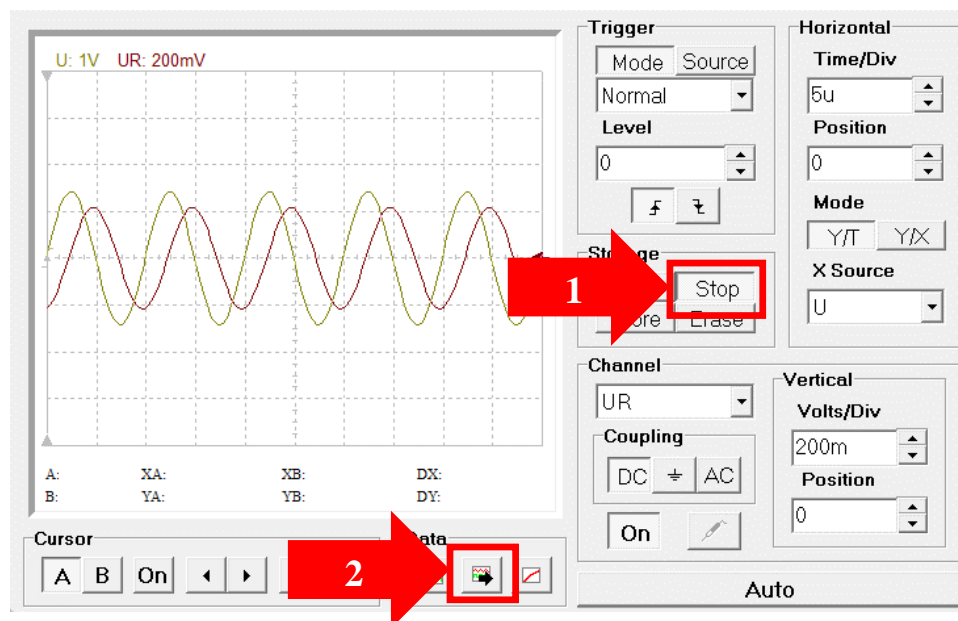


Основная задача выбора значений «**Time/Div**» и «**Volts/Div**» – обеспечения возможности наблюдения **2...3 периодов сигнала**.

1.3.1.2. Курсорные измерения

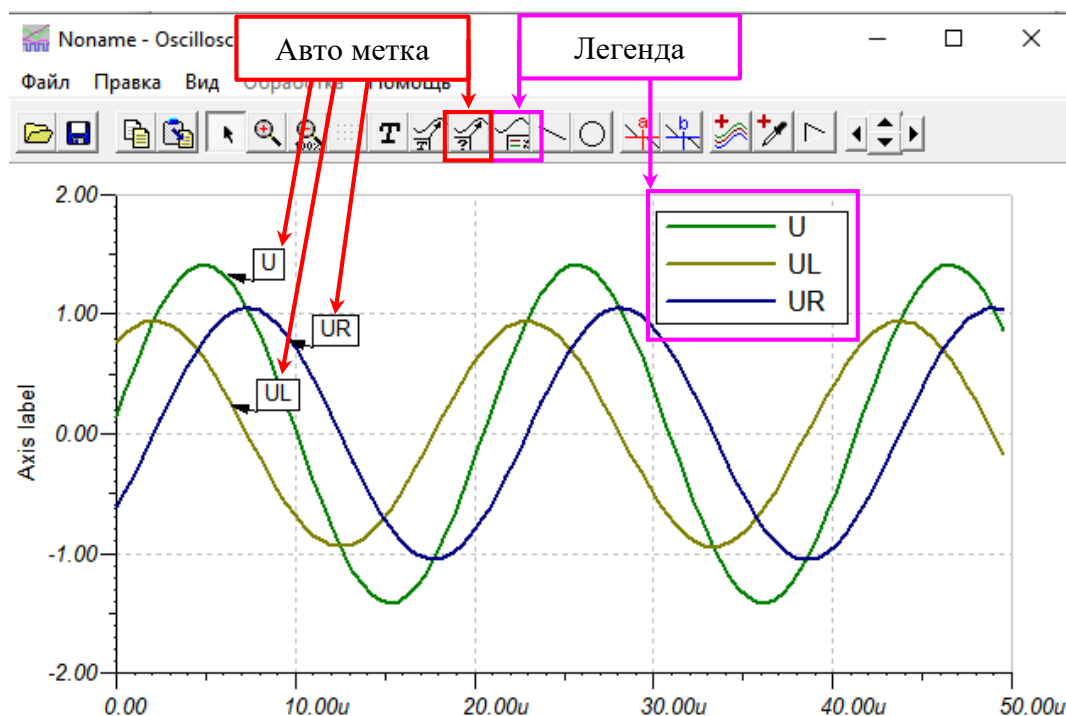
1) Для измерения ($t_i - t_u$) (используется для расчёта разности фаз φ) необходимо экспортировать полученные осциллограммы в окно диаграмм.

Сначала нужно остановить измерения кнопкой «**Stop**» (секция «**Storage**») (1), а затем провести экспорт кнопкой «**Export curves**» (секция «**Data**») (2).



- 2) После экспорта откроется окно, в котором будут представлены сигналы, соответствующие напряжению на каждом имеющемся в цепи вольтметре. Для идентификации синусоид воспользуемся **Легендой** (показывает список, с указанием цвета синусоиды и метки соответствующего вольтметра) или **Авто меткой**, показывающей на выноске, какому вольтметру соответствует сигнал.

В обоих случаях после нажатия кнопки нужно указать расположение на экране для Легенды; и синусоиду, для которой нужна метка в случае использования Авто метки.



Примечание: В окне экспортированных осциллограмм можно удалить ненужную для измерений синусоиду (например, UL для Опыта 1). Для этого необходимо выделить ее и нажать на клавиатуре клавишу *Delete*.

- 3) После того, как синусоиды будут идентифицированы, необходимо определить время ($t_i - t_u$), на которое синусоиды **напряжения** (**U**) и **тока** (**UR**) смещены друг относительно друга. Для этого воспользуемся курсорами.

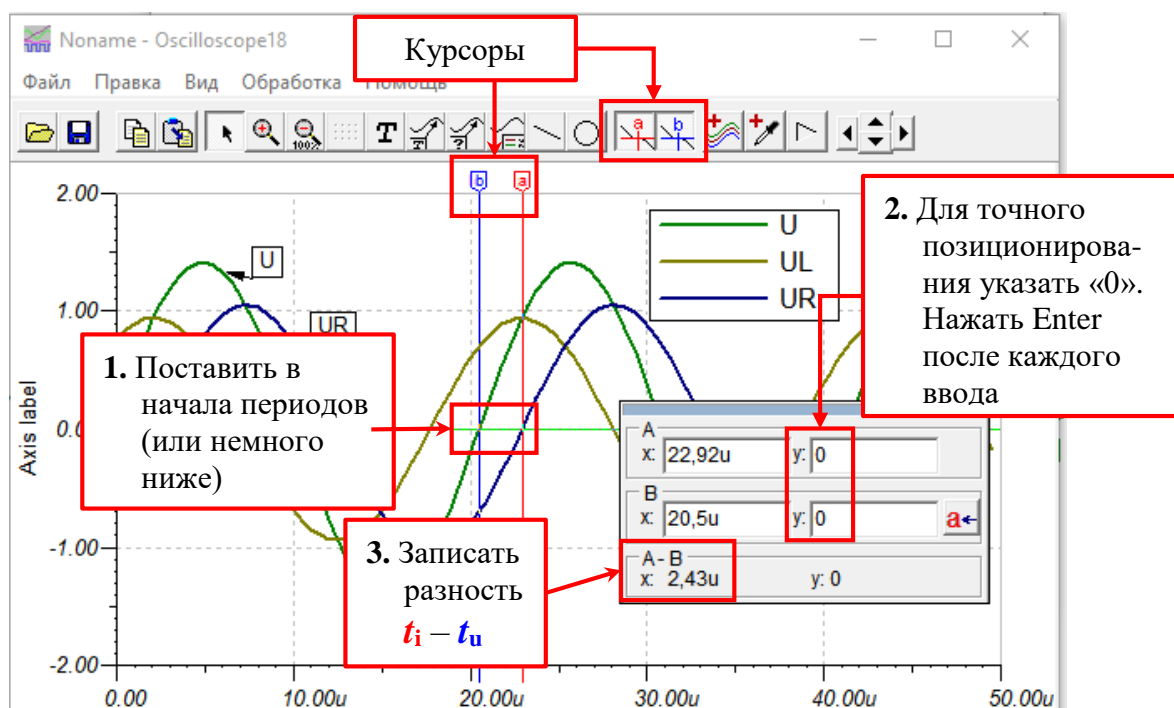
Курсоры имеют метки «А» (красный) и «В» (синий). Система автоматически рассчитывает разность между курсорами ($A - B$), поэтому установим курсор «А» (красный) на синусоиду «UR», пропорциональную изменению **тока** в последовательной цепи,

а курсор «В» (синий) на синусоиду «U», соответствующую **напряжению**, приложенному к цепи.

ВАЖНО: курсоры необходимо располагать **в одинаковых точках синусоиды**, например, в ее начале – точке перехода из отрицательных значений в положительные (возрастающий участок синусоиды).

Для точного позиционирования укажем нулевое положение курсоров по амплитуде (координате «у»), для чего в соответствующие позиции окна с координатами курсоров введём значение «0», подтвердив каждый ввод клавишей «Enter».

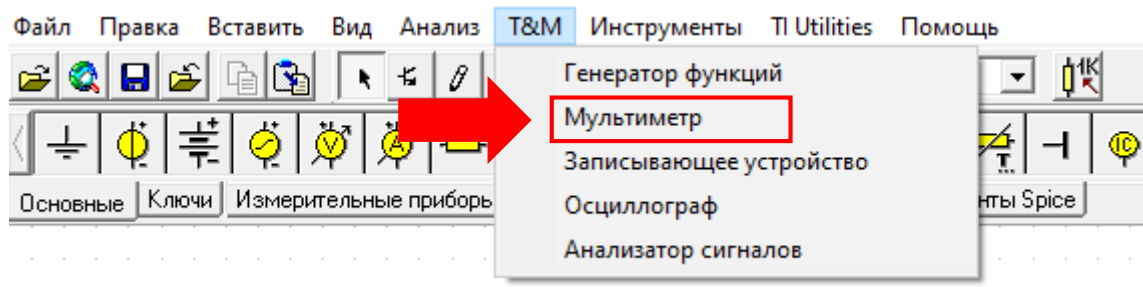
В нижней строке окна, с координатами курсов, появится разность ($A - B$) по осям x (время) и y (амплитуда). Разница по оси «у» **должна быть равна нулю** (т. к. мы задали одинаковые значения для обоих курсоров), а разница по оси «х» является искомым временным сдвигом ($t_i - t_u$), который необходимо внести в таблицу результатов.



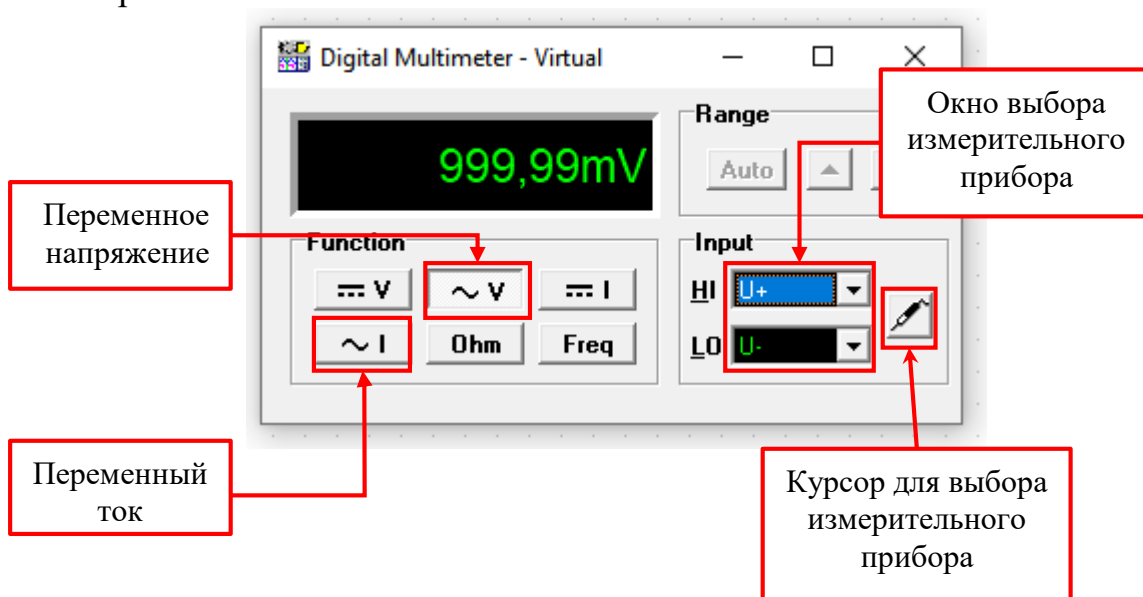
Примечание: Рекомендуется исходно располагать курсоры в области **отрицательных** значений осциллограмм амплитуд напряжений (ось ординат «у»). Тогда после ввода нуля в координаты «у» курсоров они встанут на «нужное» место.




1.3.2. Работа с мультиметром

Запустите мультиметр (меню «T&M – Мультиметр»)



Мультиметр используется для измерения среднеквадратических значений напряжений и токов.



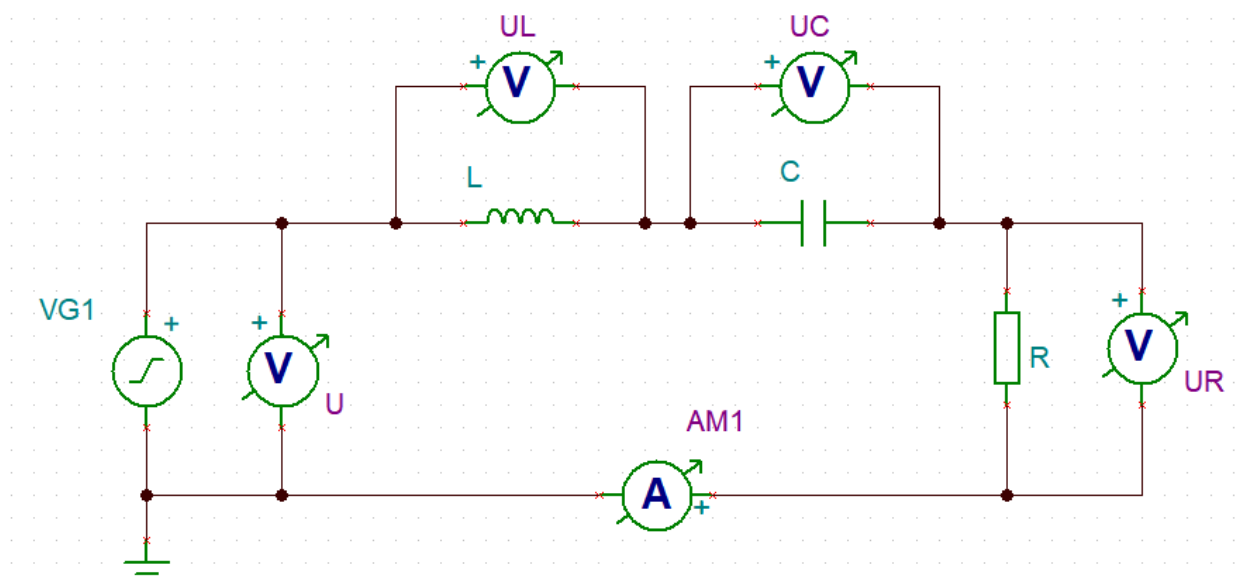
Для измерения переменного напряжения (тока) нужно перевести мультиметр в соответствующий режим нажатием кнопки  или , после чего выбрать измерительный прибор с помощью специального курсора (включается кнопкой ) или выбрать название прибора в окне «**Input**» мультиметра.

1.4. Измерения в Опыте 3

В Опыте 3 проводится исследование резонанса в электрической цепи с последовательным соединением элементов RLC .

Основные измерения в Опыте 3 проводятся с использованием мультиметра и осциллографа по методикам, аналогичным рассмотренным выше для Опытов 1 и 2, однако Опыт 3 включает в себя нахождение **частоты резонанса** $f_{\text{рез}}$ с помощью частотного исследования цепи, подробности которого приведены ниже.

Соберите исследуемую схему с учётом правил, рассмотренных в § 1.2.



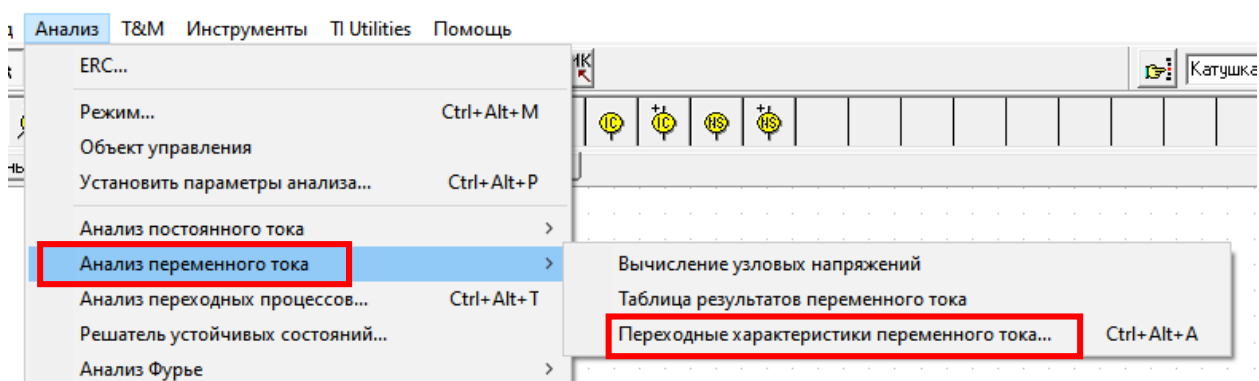
В Опыте 3 проводится исследование резонанса напряжений, включающее в себя изучение цепи до и после резонансной частоты, поэтому частоты, на которых проводится исследование цепи, определяются относительно резонансной частоты, значение которой найдем двумя способами:

1. С помощью частотного исследования цепи.
2. По аналитическому выражению.

1.4.1. Определение резонансной частоты с помощью частотного исследования цепи

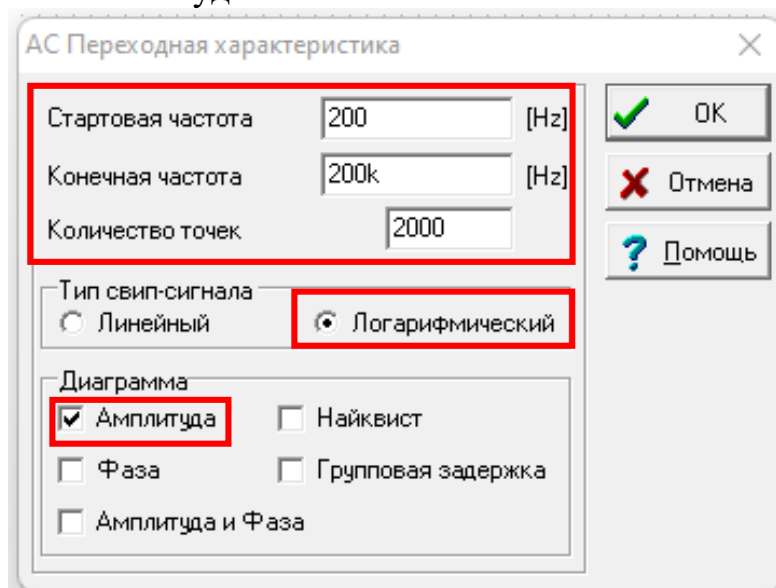
Характерным признаком резонанса при последовательном соединении элементов является *максимум тока*, поэтому проведём исследование цепи в диапазоне частот и определим частоту, соответствующую максимальному значению тока AM1 (или пропорциональному току напряжению на резистивном элементе UR).

Для проведения анализа необходимо выбрать в меню программы Tina TI пункт «Анализ – Анализ переменного тока – Переходные характеристики переменного тока».

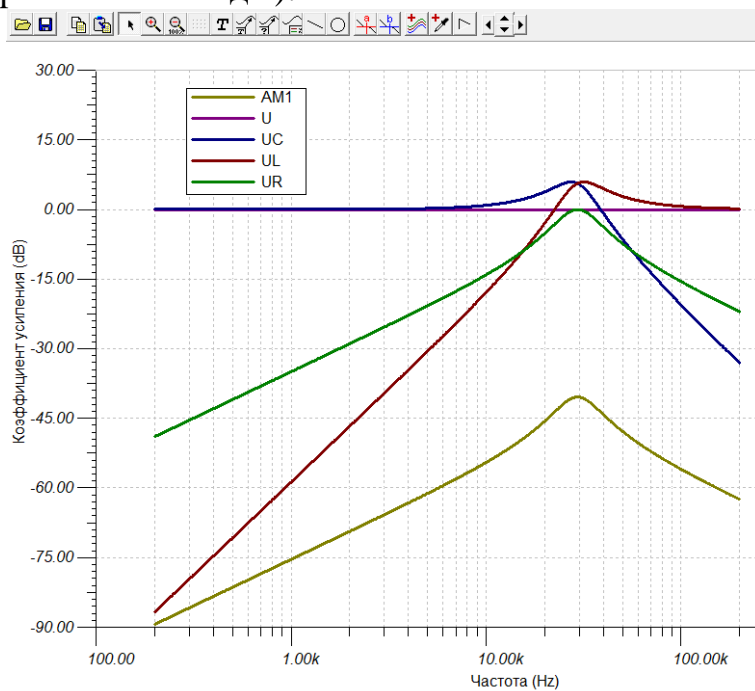


В появившемся диалоговом окне настройте следующие установки:

- Стартовая частота: 200 Гц.
- Конечная частота: 200 кГц.
- Количество точек: от 1000 до 5000.
- Тип свип-сигнала: Логарифмический.
- Диаграмма: Амплитуда.

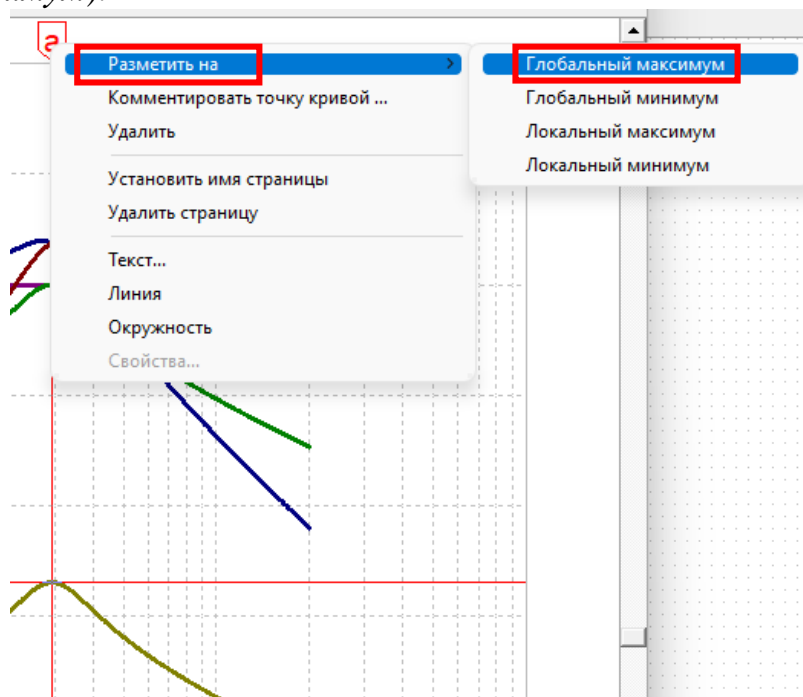


После запуска анализа появится характеристика (дополнительно было включено отображение легенды).

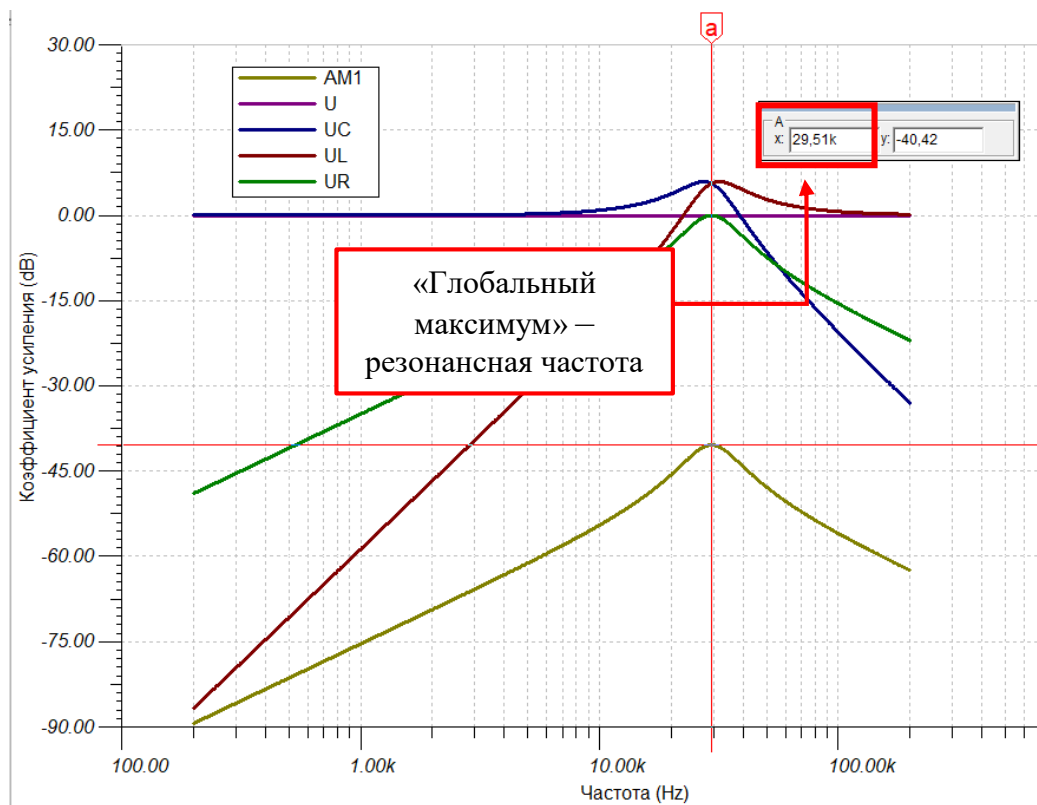


Далее воспользуемся курсором для определения частоты, соответствующей максимуму кривой тока (AM1) или пропорциональной ей кривой напряжения на резистивном элементе (UR).

Поместим курсор «A» на кривую AM1. Для более точного позиционирования необходимо нажать правой кнопкой мыши на размещенный курсор: «Разметить на – Глобальный максимум» (или Локальный максимум).



Получим значение резонансной частоты.



На представленном рисунке видно, что максимуму графика $AM1(f)$ соответствует частота 29,51 кГц.

1.4.2. Определение резонансной частоты по аналитическому выражению

Круговую частоту резонанса в цепи с последовательным соединением элементов RLC можно найти по аналитическому выражению:

$$\omega_{\text{рез}} = \frac{1}{\sqrt{LC}}.$$

С учётом определения круговой частоты $\omega_{\text{рез}} = 2\pi f_{\text{рез}}$, резонансная частота будет равна:

$$f_{\text{рез}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$