

“Электротехника, электроника и схемотехника

Часть 1. Электротехника.

Раздел 1. Электрические измерения

- Структура курса и содержание лабораторных работ
 - Перечень библиографических источников
 - Основные законы физики, актуальные для ЭЭС
 - Основные термины и понятия из метрологии
 - Понятие ВАХ. ВАХ источников электроэнергии
 - Измерение токов, напряжений и мощности
 - Электронные осциллографы
 - Фигуры Лиссажу
 - Порядок выполнения лабораторных работ
-

Структура курса «ЭЭС»

Курс	Семестр	Учебные занятия (час.)							Трудоёмкость (в зет)	В интерактивной форме, час	Модуль	Формат итоговой аттестации
		Всего	Аудиторные				СРС					
			Всего аудиторных	Лекции	Лабораторные работы	Практика	В семестре	В сессию				
2, весна	4	180	68	17	34	17	25	87	5	12	Электротехника	экзамен
3, осень	5	126	68	34	34	-	37	21	3.5	12	Электроника	экзамен
3, весна	6	126	34	17	17	-	67	25	3.5	10	Схемотехника	Экз+РЗ
	Всего	432	170	85	102	17	129	61	12	34	-	-

Распределение баллов по разделу «Электротехника»:

Посещение – 5%, решение задач – 20%, защита работ – 60%, 10% - контрольная работа итоговая.
Посещаемость: 1л.р.=4н. Итог. рейтинг: 20%(атт.1)+30%(атт.2)+50%(семестр)

Требования по защите работ:

На экзамен – минимум 6 первых работ сдать. Все 7 – для получения рейтинга от 75

Примечание к слайдам: а) регулярно обновляются б) рисунки из Интернета и не всегда правильны, что отмечается на лекциях

Структура модуля «Электротехника»

Планируемые темы занятий осеннего семестра (2й курс)

№ п/п	Содержание лекций и тем практических занятий	Лабы	Вес/ № атт
1	Введенная лекция. Основные законы из курса физики, термины и понятия. Электрические измерения	Электрические измерения. Изучение электроизмерительных приборов. Мультиметр. Осциллограф. Характериограф.	1/1
2	Методы расчета цепей постоянного тока	Моделирование электрических цепей	1/1
3	Методы расчета цепей однофазного переменного тока	Исследование и расчет цепей постоянного тока	4/2
4	Расчет трехфазных и несинусоидальных цепей. Электрические машины.	Исследование и расчет однофазных цепей переменного тока	3/2
5	Расчет нелинейных электрических цепей	Моделирование трехфазных и несинусоидальных цепей	2/2
6	Переходные процессы в электрических цепях	Исследование и расчет нелинейных электрических цепей	2/3
7	Расчет магнитных цепей.	Исследование переходных процессов **	3/3
8	Контрольная работа. Длинные линии	Зачетное занятие	

Основная и дополнительная литература

1. **Бессонов, Л. А.** Теоретические основы электротехники: Электрические цепи [Текст]: учеб. для студентов электротехнических, энергетических и приборостроительных специальностей вузов / Л. А. Бессонов. –7-е изд., перераб. и доп. – М. : Высш. шк., 1978. –528с. – (эл.)
В электронном виде имеется также вариант 1996 года, 638 с.
2. **Голубев, А. Н.** Теоретические основы электротехники [Электронный ресурс]: ресурсы электронной библиотеки Ивановского государственного энергетического университета / А. Н. Голубев; ИГЭУ, кафедра теоретических основ электротехники и электротехнологии. – Иваново, 2007. – Режим доступа: <http://elib.ispu.ru/library/lessons/Golubev/>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус.
3. Сборник задач по теоретическим основам электротехники [Текст]: учеб. пособие для энерг. и приборст. спец. вузов. – 3-е изд., перераб. и доп./Л. А. Бессонов, И. Г. Демидова, М. Е. Заруди.; под ред. Л.А. Бессонова. – М. : Высш. шк., 1988.– 543с - (эл.)
4. **Сучкова Л.И., .** Аппаратно-программное обеспечение лабораторного практикума по курсу "Электротехника и электроника": учеб. пособие /Сучкова Л. И., Якунин А. Г.; Алт. гос. техн. ун-т им. И. И. Ползунова.-Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2008.- 204 с.: ил. -25 экз
5. Якунин, А. Г. Конспект лекций по электротехнике [Электронный ресурс] / А. Г. Якунин; – АлтГТУ, каф. автоматики и вычислительных систем. – Барнаул, 2008. – Режим доступа: <http://elib.altstu.ru/>, свободный. – Загл. с экрана.

Дополнительная литература

6. Якунин А. Г. Введение в ИИТ [Электронный ресурс] / А. Г. Якунин;– АлтГТУ, каф. автоматики и вычислительных систем. – Барнаул, 2008. – Режим доступа: <http://elib.altstu.ru/>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус.
7. Зайчик, М. У. Сборник задач и упражнений по теоретической электротехнике[Текст] / М. У. Зайчик. - М. : Высш. шк., 1988.-248с. - (эл.)
8. Основы теории цепей [Текст] / Зевеке Г. В., Ионкин П. А., Нетушил А. В., Страхов С. В. – 4-е изд., перераб. – М. : Энергия, 1975. –725 с. – ил. – (эл.)
9. Кузнецов, М. И. Основы электротехники [Текст]. / М. И. Кузнецов; под. ред. С. В. Страхова. – Изд. 9-е, исправленное. – М. : Высш. шк., 1964.-560 с. – ил. – (эл.)
10. Теоретические основы электротехники [Текст]: учебник для электротехн. вузов. В 2 т. Т.1. Основы теории линейных цепей / под ред. П. А. Ионкина. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М. : Высш. шк., 1976. –544 с. – ил. – (эл.)
11. Теоретические основы электротехники [Текст]: учебник для электротехн.вузов. В 2 т. Т.2. Нелинейные цепи и основы теории электромагнитного поля / под ред. П. А. Ионкина. – Изд. 2-е, перераб.и доп. – М. : Высш. шк., 1976. – 383 с. – ил. – (эл.)
12. Морозов, А. Г. Электротехника, электроника и импульсная техника [Текст]: учеб. пособие для инженерно-эконом. спец. вузов / А. Г. Морозов. – М.: Высш. шк., 1987. – 448 с. – ил. – (эл.)

Физика. Электричество. Основные уравнения

Электрическое сопротивление: $R=l \cdot \rho / S$ Закон Ома: $R=U \cdot I$

Мощность: $P=U \cdot I=U^2/R=I^2 \cdot R;$

Проводимость $\sigma=1/R$

Энергия: $E=\int_0^t P(t) \cdot dt = P \cdot t$

Последовательное включение резисторов: $R=\sum R_i$ $U=\sum U_i$ <http://rgr-toe.ru/articles/1-equivalent-transformations/> -

Параллельное включение резисторов: $1/R=\sum 1/R_i$ $I=\sum I_i$ преобразования схем

Электрическая емкость (конденсатор):

$C = dQ/dU; I= C \cdot dU/dt; U=\frac{1}{C} \int_0^t i \cdot dt; E = \frac{C \cdot U^2}{2};$

$C_{\text{параллельн}} = \sum C_i; 1/C_{\text{послед}} = \sum 1/C_i;$

Электрическая индуктивность:

$L = d\Phi/dI; U= -L \cdot dI/dt; I=\frac{1}{L} \int_0^t U \cdot dt; E = \frac{L \cdot I^2}{2};$

$L_{\text{послед}} = \sum L_i; 1/L_{\text{параллельн}} = \sum 1/L_i$ □ Без учета магнитной связи

Физика. Кратные единицы

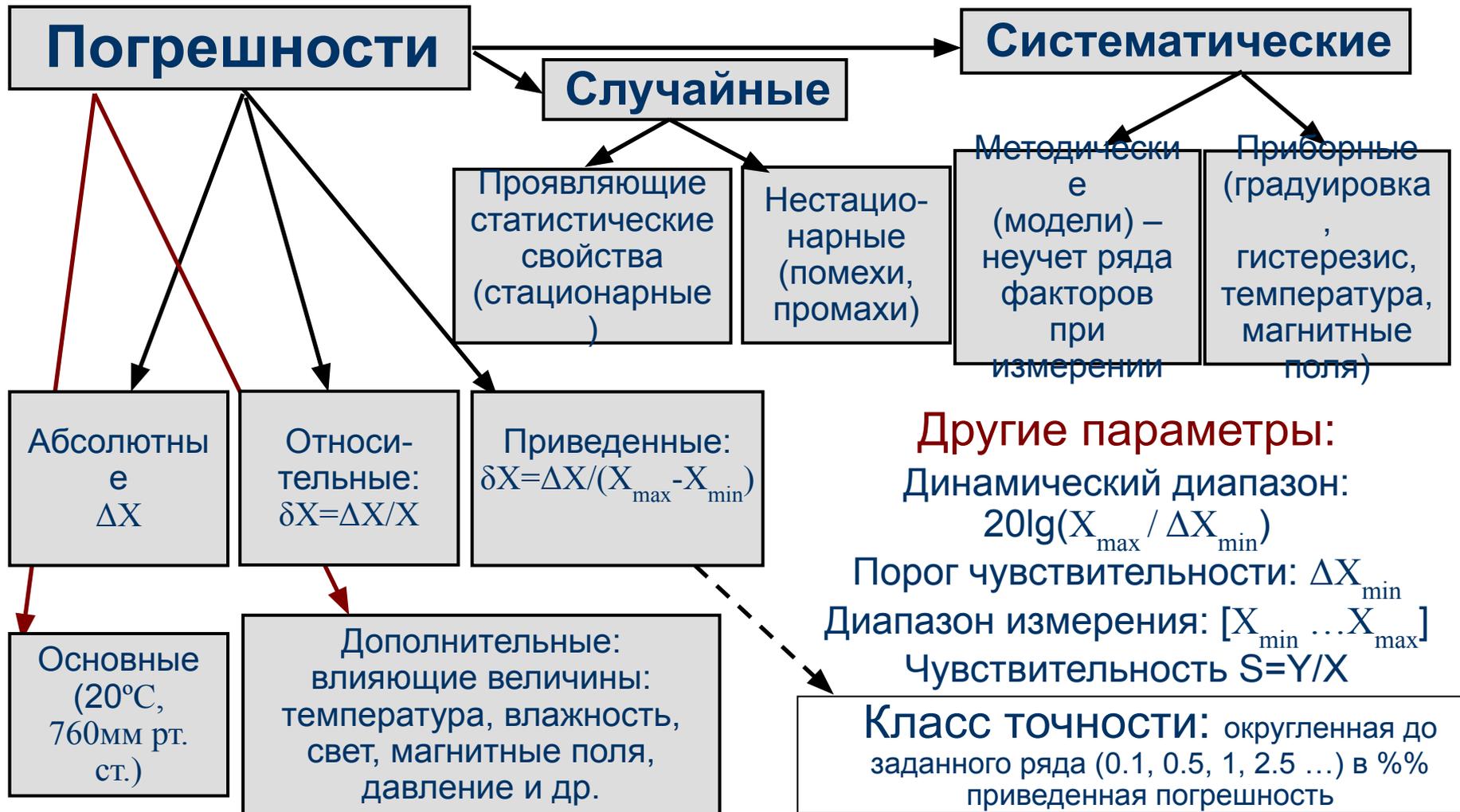
Множитель	название	Обозначение		Множитель	название	Обозначение	
		русское	международн			русское	международн
10^1	декавольт	даВ	daV	10^{-1}	децивольт	дВ	dV
10^2	гектовольт	гВ	hV	10^{-2}	<u>сантивольт</u>	сВ	cV
10^3	<u>киловольт</u>	кВ	kV	10^{-3}	<u>милливольт</u>	мВ	mV
10^6	<u>мегавольт</u>	МВ	MV	10^{-6}	<u>микровольт</u>	мкВ	μ V
10^9	<u>гигавольт</u>	ГВ	GV	10^{-9}	<u>нановольт</u>	нВ	nV
10^{12}	<u>теравольт</u>	ТВ	TV	10^{-12}	<u>пиковольт</u>	пВ	pV
10^{15}	петавольт	ПВ	PV	10^{-15}	фемтовольт	фВ	fV
10^{18}	эксавольт	ЭВ	EV	10^{-18}	аттовольт	аВ	aV
10^{21}	зеттавольт	ЗВ	ZV	10^{-21}	зептовольт	зВ	zV
10^{24}	йоттавольт	ИВ	YV	10^{-24}	йоктовольт	иВ	yV

Таблица дана на примере единицы измерения напряжения

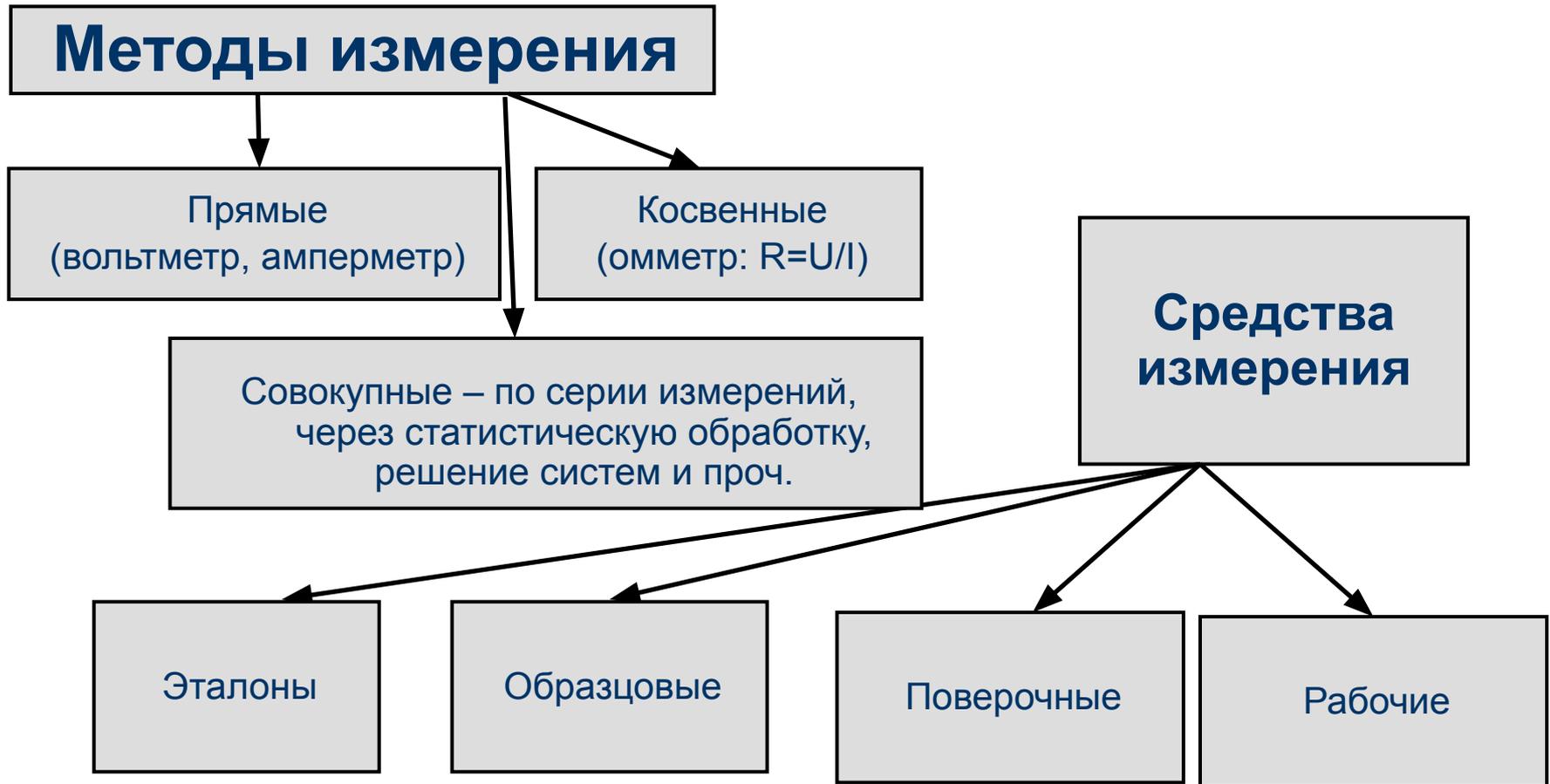
Типичные диапазоны изменения параметров электронных компонентов, токов и напряжений в электронике:

- Сопротивления лежат в пределах от долей ом до единиц мегом
- Емкости – от единиц пикофарад до тысяч микрофарад
- Индуктивности – от долей микрогенри до нескольких генри
- Токи – от долей наноампер до сотен ампер
- Напряжения – от микровольт и долей милливольт до нескольких киловольт

Метрологические характеристики средств измерения



Классификация средств и методов измерения (постоянного и переменного тока)



1. Приборы
2. Измерительные установки — набор приборов в одном месте
3. Измерительные системы — содержат вычислительную технику, интерфейсы, разнесены в пространстве

Понятие ВАХ. Источники тока и напряжения. База электронных компонентов

Надо транспонировать!

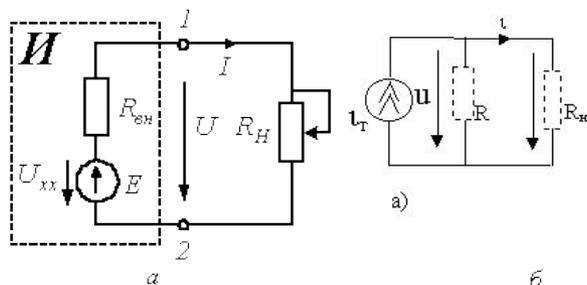


Рис.1.2

Рис.5

б

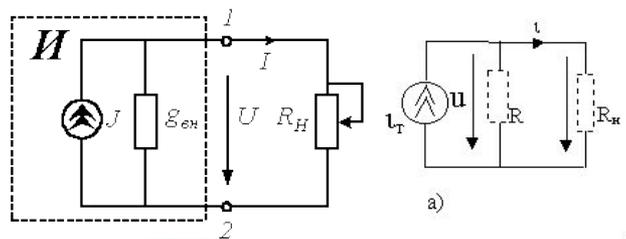


Рис.1.2

в

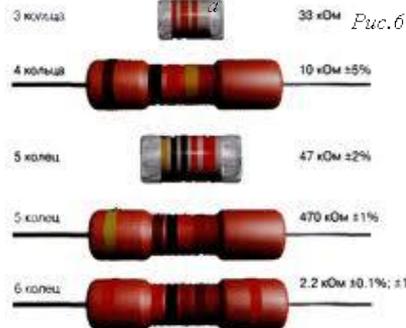
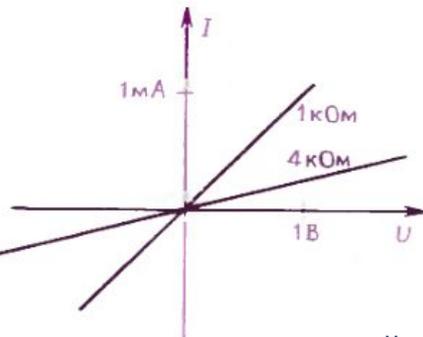


Рис.6



ВАХ: $I = I_0 - U/R_H$; $U = (I - I_0) * R_H = I * R_H - E_0$;
 Для E: $I = E / (R_{вн} + R_H)$; $U = I * R_H = E * R_H / (R_{вн} + R_H)$
 Для J: $I = J / (R_H + 1/g_{вн}) / g_{вн}$;
 $U = I * R_H = J * (R_H / g_{вн}) / (R_H + 1/g_{вн})$;

Режимы:

КЗ (короткое замыкание):

$I = I_{кз}$, $U = 0$; При КЗ $J = J_{кз}$,

ХХ (холодного хода): $I = 0$; $U = E$;

Преобразование источников U в I

$R_{вн} = 1/g_{вн}$; $E = J/g_{вн}$; $J = E/R_{вн}$;

Согласование мощности: $P_{max} = \frac{U_{xx}^2}{4R_{вн}}$
 $R_H = R_{вн}$

Еще есть потенциометр!

Обозначения резисторов: а — постоянный; б — подстроенный; в — переменный; г — терморезистор; д — варистор (сопротивление зависит от напряжения).

Основные параметры: номинальное сопротивление, допустимое отклонение, мощность

Ом — ом, кОм—килоом, МОм—мегаом; ГОм—гигаом; ТОм — тераом.

На резисторах Ом □ R или не ставят, К и М— вместо запятой. Мегомы - десятичная дробь

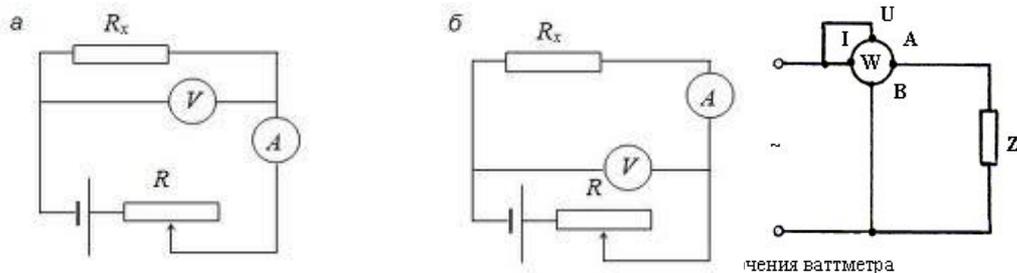
Измерение токов, напряжений, мощности и сопротивлений

Вольтметр: включается параллельно, $R_V \square \infty$. R_V – это сопротивление вольтметра, примерно равно внутреннему добавочному сопротивлению: $R_V = R_d$. Оно ставилось последовательно с гальванометром для увеличения его сопротивления

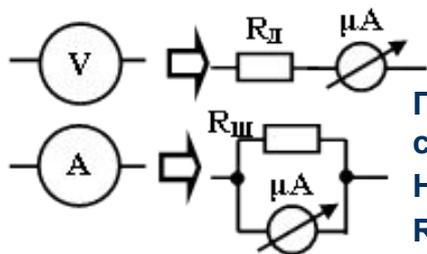
Амперметр: включается последовательно, $R_A \square 0$. $R_A = R_{ш}$ – шунт, ставится параллельно гальванометру для уменьшения его сопротивления и снижения чувствительности

Ваттметр: имеет токовый вывод, вывод вольтметра и общий вывод (обозначается *) Токовая обмотка включается в цепь нагрузки последовательно, обмотка напряжения - параллельно

Омметр: непосредственно подключается к отключенному от цепи измеряемому сопротивлению и подает на него напряжение или ток. Измерение – косвенное, по закону Ома.



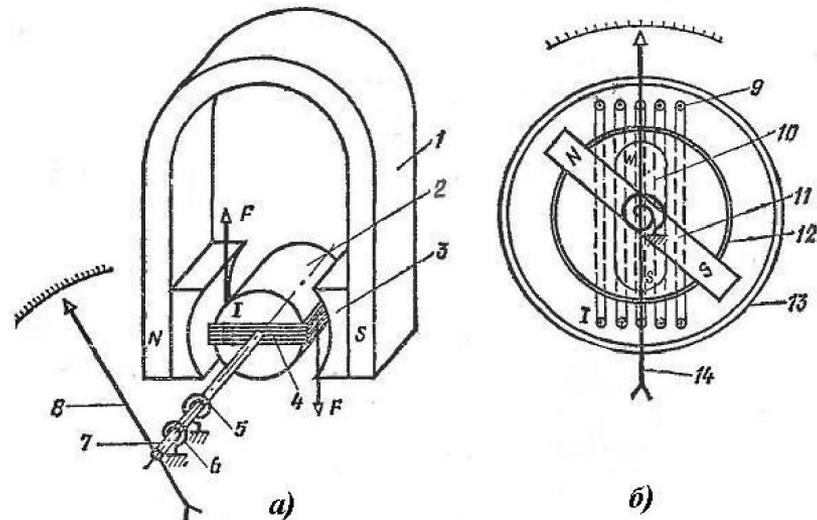
Подключение измерительных приборов в электрическую цепь. Выбор варианта подключения вольтметра до или после амперметра зависит от соотношения внутренних сопротивлений приборов и сопротивления нагрузки (изучается в 1-й лабораторной работе)



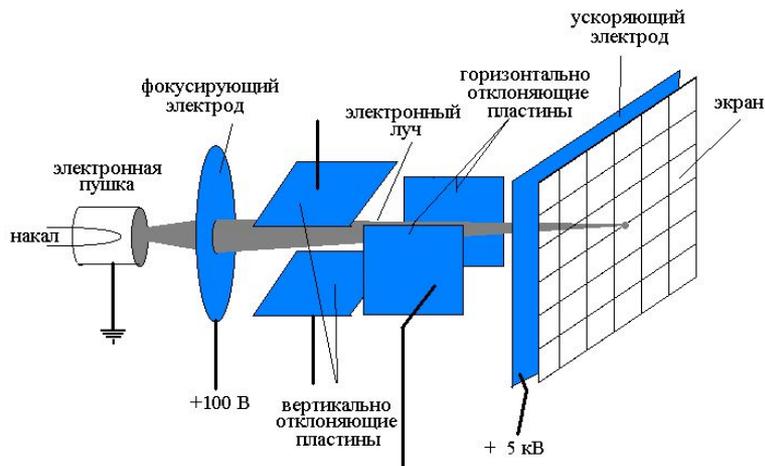
Порядок значений внутренних сопротивлений:

На практике $R_d = 1 \dots 100 \text{ Мом}$;
 $R_{ш} = 0 \dots 10 \text{ Ом}$

Прибор магнитоэлектрической системы (гальванометр)
Типичное внутреннее сопротивление – от сотен ом до единиц килоом. Предельный измеряемый ток – порядка 10-100 мкА. Сопротивление катушки – около 1кОм



Электронный осциллограф. Принцип работы



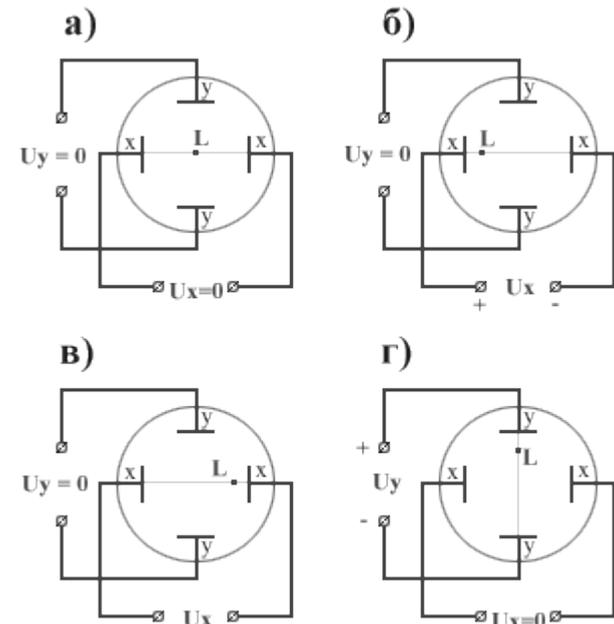
Назначение: Измерение размаха, амплитуды, периода и частоты электрических колебаний. Наблюдение формы сигналов

Основные узлы: средство отображения, узел развертки, узел синхронизации, аттенюатор, усилитель входного сигнала, калибратор, блок питания.

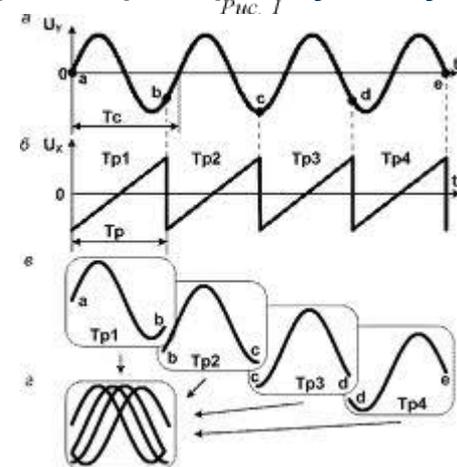
Основные органы управления: цена деления для сигнала (аттенюатор) и для развертки, переключение входов типа сигнала AC-DC-Ground. Подсветка, яркость, фокусировка. Режимы синхронизации (внешняя, внутренняя, автоматическая, уровень запуска, перепад U).

Специальные режимы: электронная лупа, z- модуляция, внешняя развертка (для фигур Лиссажу, характерографа), суммирование и вычитание сигналов.

Характерограф – прибор для снятия ВАХ. Содержит генератор, преобразователь тока в напряжение

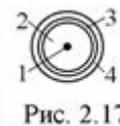


Принцип развертки луча е-пушки

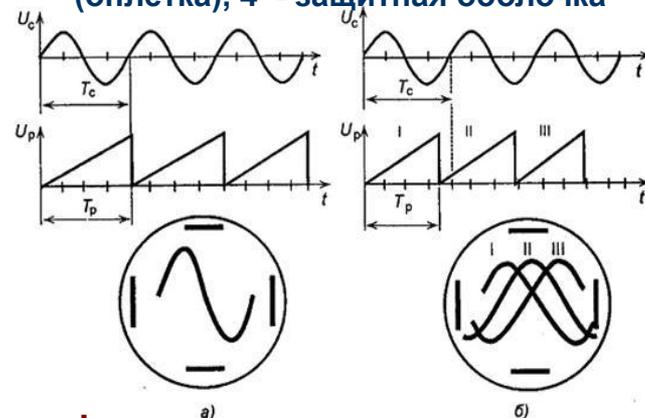


«бегущее» изображение (нет синхронизации)

Электронный осциллограф (ЭО). Устройство



Устройство коаксиального кабеля (основа шупа ЭО+зажим-«крокодил»):
 1 – центральная жила,
 2 – внутренний изолятор, 3 – экран (оплетка), 4 – защитная оболочка



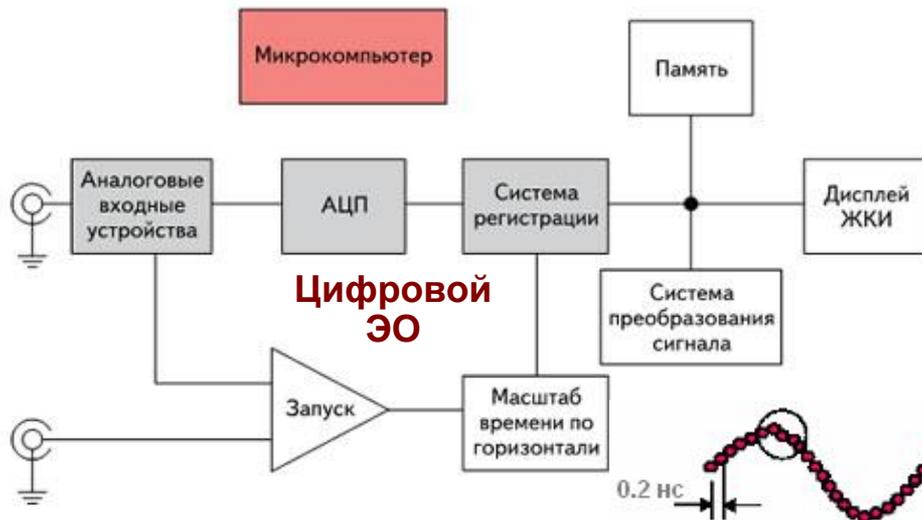
Режимы оцифровки сигналов

Прямое преобразование – до 10 – 100 МГц

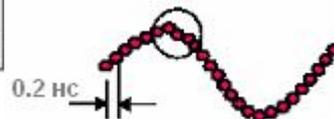
Стробоскопические (RIS) – каждый период нов. точка

Технология “быстрый ввод – медленное считывание” на основе ПЗС (прибор с зарядовой связью). Входной сигнал сначала записывается в ПЗС, а затем относительно медленно обрабатывается АЦП (аналого-цифровой преобразователь).

Интерполяционные – для отображения промежуточных, не оцифрованных точек

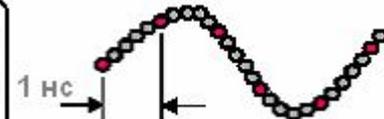


АЦП – аналого-цифровой преобразователь



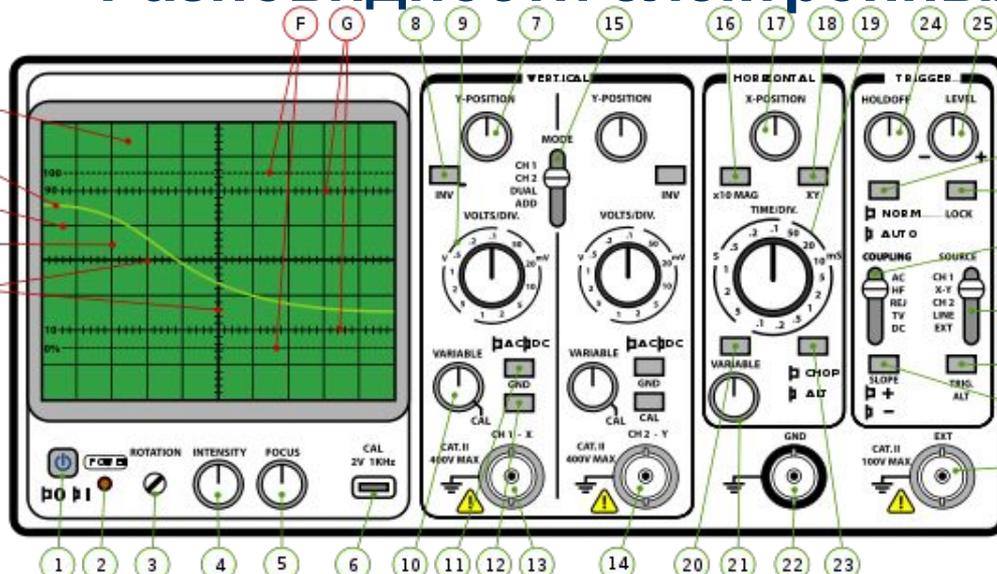
[5 нс/дел., RIS]

• данные полученные измерением
 ◦ данные, полученные расчетным путем при помощи программы обеспечения



[5 нс/дел. с интерполяцией]

Разновидности электронных осциллографов (ЭО)



Аналоговые (электронно-лучевые) – сигнал непосредственно управляет изображением на экране. Бывают :

- 26 **многолучевые**: (на каждый канал – своя электронная пушка);
- 27 **многоканальные** (пушка одна, но луч показывает поочередно несколько каналов: один за одним (на высоких частотах) или с поточечным переключением на низких частотах)
- 30 Раньше были еще **запоминающие** (специальные экраны с большим послесвечением люминофоров). Сейчас заменяют цифровыми

Цифровые – сигнал предварительно оцифровывается, записывается в память и затем выводится на матричный LCD – экран, как в ПК

Преимущество – много дополнительных функций (БПФ, измерение U, f, T и др).

Недостатки – сложнее в управлении, задержки в отображении

Разновидности: портативные и цифровые USB - осциллографы

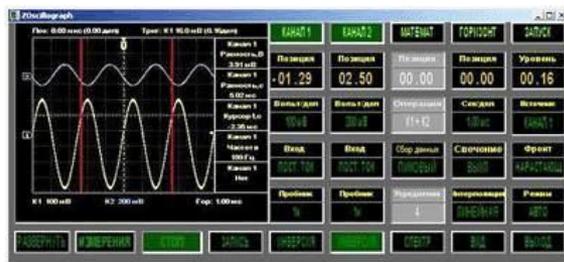
Цифровой осциллограф Tektronix TPS2024B, цена на 10.02.14 – 215 468руб



USB – осциллографы – упрощенный вариант цифровых

Плюсы: цена ниже, функциональных возможностей больше

Портативный осциллограф Tektronix THS3024-ТК
4 канала, 200МГц
Цена на 10.02.14 - 345 504 руб



Еще ЭО можно различать по полосе частот (см. следующий слайд)

Наиболее известные и качественные марки:

Tektronix, Agilent Technologies, Fluke (портативные), LeCroy, RIGOL Technologies Inc (Китай), GOOD WILL Instek (Тайвань), а также Актаком (осциллографы АСК) и АК ИП (РФ)

Характеристики электронных осциллографов

http://www.prist.ru/info.php/articles/general_ch_modern_oscilloscopes.htm

Главные:

Число каналов (1-4)
Полоса пропускания (0 – 10 ... 2000... МГц)
Чувствительность (0.5 ... 5 мВ/дел)
Максимально допустимое входное напряжение (>100В)

К основным параметрам относятся:

Диапазон разверток по времени и амплитуде (значения коэффициентов отклонения и коэффициентов развертки)

Погрешности измерения напряжения и временных интервалов (0.5 – 5%)

Параметры входа канала вертикального отклонения, включая:

активное входное сопротивление (1МОм);
входная емкость (5... 25пФ);
Коэффициент стоячей волны по напряжению КСВН;
допустимое суммарное значение постоянного и переменного напряжения.

Параметры синхронизации, включая:

диапазон частот;
предельные уровни;
нестабильность;
режимы синхронизации

Типовая АЧХ (амплитудно-частотная характеристика) осциллографа.

У широкополосных осциллографов верхняя частота превышает 100 МГц
У осциллографов широкого применения она обычно ограничена величиной 50-100МГц

К дополнительным параметрам относятся:

Параметры переходной характеристики, включая:

время нарастания;
выброс;
неравномерность;
время установления.

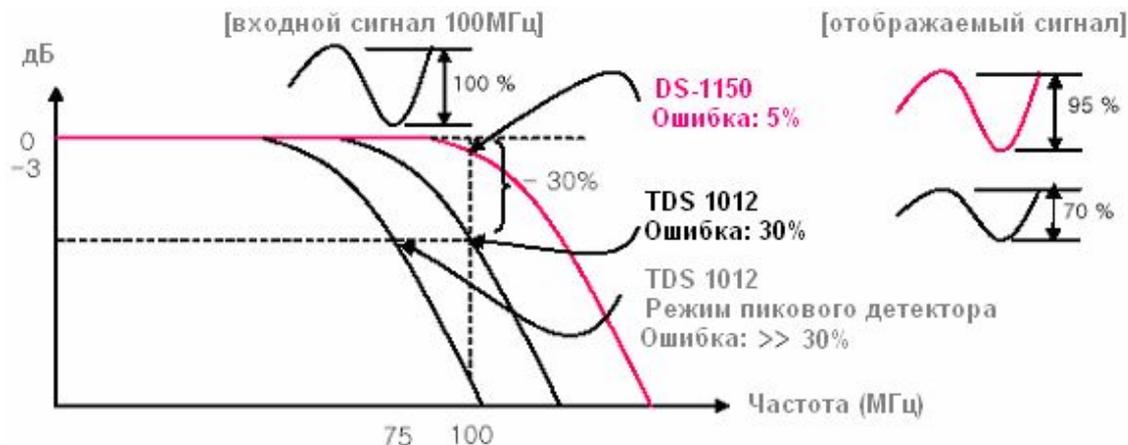
Параметры амплитудно-частотной характеристики (АЧХ), включая:

полоса пропускания;
нормальный диапазон частот;
расширенный диапазон частот;
опорная частота.

Коэффициент развязки между каналами.

Для цифровых осциллографов к дополнительным параметрам относятся:

частота дискретизации
длина внутренней памяти
дополнительные сервисные функции по регистрации, хранению и обработке сигнала



Лабораторная работа №1. Исследование средств измерений и электронных компонентов

Цель работы:

1. Научиться пользоваться электроизмерительными приборами: аналоговым и цифровыми мультиметрами и электронным осциллографом
2. Научиться находить погрешность измерения электроизмерительных приборов и интервал возможных значений искомых величин при совокупных измерениях
3. Научиться рассчитывать методические погрешности измерения токов и напряжений и правильно выбирать вариант подключения прибора в электрическую цепь
4. Освоить понятие номинального значения электронных компонентов и научиться оценивать их допустимое отклонение
5. Получить представление об интервальном анализе

Во время выполнения работы в лаборатории нужно:

1. Измерить напряжение +5 В и +12 В компьютерного блока питания тремя мультиметрами и электронным осциллографом на разных пределах измерения с занесением результатов в соответствующие таблицы
2. Измерить два набора резисторов (прецизионных и обычных) высокоточным мультиметром, а затем по одному резистору из каждого набора – разными мультиметрами. Результаты внести в две таблицы
3. С помощью электронного осциллографа оценить размах, частоту и период пульсаций блока питания на 5 и 12 В и оценить параметры индустриальной сетевой помехи, возникающей от касания центральной жилы щупа рукой

По полученным экспериментальным данным требуется:

1. Выполнить расчет методической погрешности по индивидуальному заданию
2. Выполнить расчет незаполненных строк приведенных в методических указаниях таблиц

В отчете привести:

1. Все содержащиеся в указаниях по данной работе заполненные таблицы
2. Схемы, использованные при выполнении индивидуального задания
3. Осциллограммы индустриальной помехи и пульсаций блока питания

Таблицы с результатами работы №1

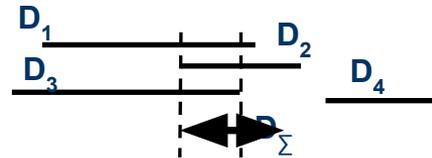
Напряжение	Осциллограф, В/дел		M-1015B		DT838		MS8215
	1В/дел	2.5В/дел	10В	50В	20В	200В	Авто
Диапазон (цена деления)							
Измеренное значение U							
ΔU							
$U+\Delta U$							
$U-\Delta U$							
Попадает в интервал? (+/-)							
Максимальное значение верхней оценки: $\max(U+\Delta U)$							
Минимальное значение верхней оценки: $\min(U+\Delta U)$							
Максимальное значение нижней оценки: $\max(U-\Delta U)$							
Минимальное значение нижней оценки: $\min(U-\Delta U)$							
Минимальное абсолютное значение интервальной оценки: $\min(U+\Delta U) - \max(U-\Delta U)$							
Минимальное относительно значение интервальной оценки: $2 \cdot (\min(U+\Delta U) - \max(U-\Delta U)) / (\min(U+\Delta U) + \max(U-\Delta U))$							

Сигнал	Пульсации + 5В	Пульсации + 12В	Индустриальная помеха – основная гармоника
Размах сигнала A			
$A+\Delta A$			
$A-\Delta A$			
Период T			
$T+\Delta T$			
$T-\Delta T$			
Частота F			
$F+\Delta F$			
$F-\Delta F$			
Осциллограмма			

Примечания:

- Указанные в таблице пределы измерения и масштабы приведены для измеряемого напряжения 5 В и должны корректироваться с учетом величины измеряемого напряжения и имеющихся диапазонов измерительного прибора. Один предел выбирается из соображения максимальной близости к измеряемой величине, второй – ближайший следующий
- В таблице справа в последней строке помещается лишь ссылка на осциллограмму
- В нижней таблице ΔR_c и ΔR_n – модуль максимального отклонения измеренного значения от среднего или номинального значения

Ед. измер	Номинальное значение сопротивления	M300	M1015B	MS8215
Ом				
кОм				



Нахождение интервальной оценки: интервал D_4 отбрасываем, так как он не перекрывается с другими интервалами.

$$=[U-\Delta U, U+\Delta U]$$

Обратите внимание: среднее арифметическое значение сопротивления R_c в наборе в общем случае не равно его номинальному значению R_n !

Набор	$R_{ном}$	Ед. изм	R_0	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6	R_7	R_8	R_9	R_{cp}	ΔR_c	ΔR_n	δR_c	δR_n
1		Ом															
2		кОм															

Расчет методических погрешностей

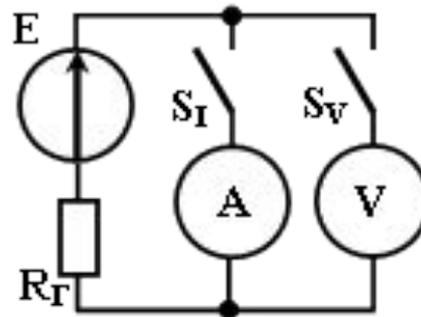
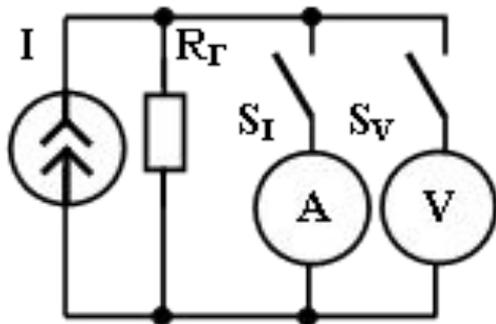


Схема	Рисунок левый (источник тока)				Рисунок правый (источник напряжения)							
	Откл.		Вкл.		Вкл.		Откл.		Вкл.			
Ключ S_1	Откл.		Вкл.		Вкл.		Откл.		Вкл.			
Ключ S_2	Вкл.		Откл.		Вкл.		Вкл.		Откл.			
Параметр	Значение	Ед. изм.	Значение	Ед. изм.	Значение	Ед. изм.	Значение	Ед. изм.	Значение	Ед. изм.		
U идеальн. прибора		В	-	В		В		В	-	В		В
U реального прибора		В	-	В		В		В	-	В		В
ΔU		В	-	В		В		В	-	В		В
$\delta U = \Delta U / U_{\text{идеальн. прибор}}$		%	-	%		%		%	-	%		%
I идеальн. прибора	-	мА		мА		мА	-	мА		мА		мА
I реального прибора	-	мА		мА		мА	-	мА		мА		мА
ΔI	-	мА		мА		мА	-	мА		мА		мА
$\delta I = \Delta I / I_{\text{идеальн. прибор}}$	-	%		%		%	-	%		%		%

Примечания:

- Для расчета нужно заменить амперметр и вольтметр резисторами $R_{ш}$ и $R_{д}$ соответственно
- Все абсолютные отклонения находятся как разница между показаниями реального прибора с внутренним сопротивлением и идеальным прибором, когда внутреннее сопротивление равно нулю или стремится к бесконечности
- Все относительные отклонения находятся как отношение абсолютного отклонения к показаниям идеального прибора

Лабораторная работа №1. Общие вопросы

1. Как рассчитывается суммарное сопротивление последовательно и параллельно включенных сопротивлений, емкостей и индуктивностей?
2. Как формулируется закон Ома?
3. Как найти электрическую мощность?
4. Какие единицы кратности используются для обозначения единиц, превышающих основную не более чем в 10^9 раз?
5. Какие единицы кратности используются для обозначения единиц, значение которых меньше основной не более чем в 10^{-12} раз?
6. Что такое порог чувствительности средства измерения?
7. Общая классификация погрешностей приборов.
8. **Как принято записывать результат измерения и как отображать его на графике?**
9. Что такое основная погрешность?
10. Что такое дополнительная погрешность?
11. Что такое класс точности измерительных устройств?
12. Что такое влияющая величина?
13. Что такое приведенная погрешность?
14. Что такое систематическая погрешность?
15. Что такое случайная погрешность?
16. Что такое методическая погрешность или погрешность метода?
17. Схемы включения приборов в электрическую цепь при измерении тока, напряжения и мощности.
18. Каким требованиям должен удовлетворять прибор для измерения напряжения?
19. Каким требованиям должен удовлетворять прибор для измерения тока?
20. *Как правила подключения измерительных приборов следует соблюдать при необходимости одновременного измерения в цепи тока и напряжения?*
21. *Как влияет входное сопротивление прибора на погрешность измерения тока и напряжения? Способы уменьшения погрешностей измерения, обусловленных влиянием измерительного прибора на исследуемую цепь.*
22. Как выражаются Вольты, Амперы, Омы, Фарады и Генри через основные единицы СИ?
23. Что такое проводимость, удельная проводимость, чем она отличается от электропроводности и в чем измеряется?
24. *От чего и как зависит сопротивление металлического проводника электрического тока?*
25. *Чем диапазон измерений отличается от предела измерения?*
26. *Что такое динамический диапазон средства измерения?*

Примечания: 1) курсив – вопросы повышенной сложности (рейтинг более 74 баллов)

2) Знание ВСЕХ подчеркнутых вопросов обязательно для защиты работы (рейтинг 25 ... 49 баллов)

3) При защите студент должен уметь объяснить, как выполнялась работа и как получались все приведенные в отчете расчеты и иные данные

Лабораторная работа №1. Вопросы по работе, часть 1

1. Какие параметры электрических цепей измеряют применяемые в лабораторной работе приборы?
2. *Какую погрешность измерения имеют перечисленные в предыдущем вопросе приборы?*
3. Какая погрешность преобладает в цифровых, а какая в аналоговых приборах: случайная или систематическая?
4. *Можно ли о классе прибора косвенно судить по минимальной цене деления?*
5. Как измерить ток, напряжение и сопротивление используемыми в работе приборами?
6. *По какой причине относительные отклонения значений сопротивлений от среднего (номинального) значения для разных наборов резисторов дали в работе существенно разные результаты?*
7. *Возможно ли измерение сопротивлений отдельных элементов, установленных в электрических цепях в случае отсутствия (присутствия) в них источников тока (напряжения)? Если возможно, объяснить, как это нужно сделать. **
8. Какие правила необходимо соблюдать для обеспечения безопасности проведения измерений?
9. *Какие правила необходимо соблюдать для уменьшения погрешности измерения и выявления возможных ошибок?*
10. Какие правила необходимо соблюдать, чтобы исключить возможность повреждения прибора в процессе проведения измерений?
11. *Какие из правил работы с прибором соблюдать не обязательно, если напряжения в исследуемой электрической цепи не превышают опасные для жизни? **
12. Какие напряжения в электрической цепи опасны для жизни?
13. *Зависит ли величина опасного для жизни напряжения от характера действующего в цепи напряжения и от свойств источника электроэнергии?*
14. Какие правила нужно соблюдать при наличии в цепи конденсаторов, а также при измерении их емкости?
15. *Что опаснее для прибора при неумелом обращении с ним: измерение токов или напряжений?*
16. В чем состоит суть процедуры прозвона электрических цепей?
17. *Почему нельзя работать с прибором, источник питания которого разряжен, даже в случае, если индикатор прибора продолжает работать? **
18. В чем проявляется наибольшее различие между аналоговыми и цифровыми электроизмерительными приборами?

Лабораторная работа №1. Вопросы по осциллографу

1. Какова максимально возможная и минимально возможная цена одного маленького деления у осциллографа OS-5030?
2. Какой минимально возможный размах напряжения можно зарегистрировать осциллографом OS-5030? Какова примерно будет при этом погрешность измерения?
3. *Какова величина порога чувствительности по времени и по напряжению у осциллографа OS-5030?**
4. До какой частоты нормированы характеристики осциллографа OS-5030 и какую максимально высокую частоту можно на нем наблюдать?
5. Что понимают под термином «растяжка» в электронных осциллографах?
6. *Имеет ли осциллограф OS-5030 функцию электронной лупы? А растяжки? **
7. *Какие существуют режимы работы для каналов вертикального отклонения у осциллографа OS-5030C?**
8. *Какие режимы синхронизации существуют в осциллографе OS-5030 и чем они отличаются между собой? **
9. Как на осциллографе OS-5030 можно получить сумму двух сигналов?
10. Можно ли на осциллографе OS-5030 наблюдать разностный сигнал и как это сделать?
11. Что можно использовать в качестве источника синхронизирующего сигнала в осциллографе OS-5030?
12. Что такое синхронизация и что такое вход синхронизации?
13. *В чем заключается разница между режимами развертки луча ALT и CHOP?*
14. На какие группы, и по каким классификационным признакам можно подразделить современные осциллографы?
15. Какие основные функциональные блоки имеют электронные осциллографы?
16. Какие дополнительные функции имеют цифровые осциллографы относительно аналоговых?
17. *Чем USB – осциллографы отличаются от цифровых осциллографов и какие дополнительные функции по сравнению с ними они имеют? **
18. *Что такое стробоскопический эффект? Как он используется в аналоговых и цифровых осциллографах? **
19. Какие параметры электрических цепей и сигналов можно измерять электронным осциллографом?
20. *Можно ли осциллографом измерить сопротивление, и, если можно, то как?*
21. *Можно ли осциллографом измерить силу тока, и, если можно, то как? **
22. *Можно ли на экране осциллографа одновременно наблюдать сигналы с разной частотой? Если да, то в каких случаях? **
23. *В каких случаях возникает необходимость применения внешней синхронизации? **

Лабораторная работа №2. Исследование источников электропитания

Цель работы:

1. Научиться экспериментально оценивать внутренние сопротивления измерительных приборов и источников питания (R_r , $R_{доб}$, $R_{ш}$)
2. Научиться находить методическую погрешность измерения при одновременном включении в цепь вольтметра и амперметра
3. Научиться работать с инструментальными средами моделирования электрических и электронных схем
4. На примере моделей источников электропитания научиться использовать симуляторы электронных схем для проведения вычислительных экспериментов

Во время выполнения работы в лаборатории нужно:

1. Провести опыт по нахождению внутренних сопротивлений установленных в лабораторные стенды источников питания (источника тока при $I = 4 \dots 10 \text{ мА}$, $U_{max} = 20 \text{ В}$ и напряжения при $U = 4 \dots 8 \text{ В}$, $I_{max} = 50 \text{ мА}$). При измерении следить, чтобы напряжения и ток не вышли за допустимые значения!
2. Провести опыт по нахождению внутренних сопротивлений установленных в лабораторные стенды измерительных приборов: $R_{ш}$ при использовании мультиметра в качестве амперметра и R_d при его использовании в качестве вольтметра

По полученным экспериментальным данным и индивидуальному заданию требуется:

1. Оценить внутренние сопротивления установленных в лабораторные стенды источников питания в режимах источников тока и ЭДС для положений переключателя в соответствии с номером задания
2. Оценить внутренние сопротивления установленных в лабораторные стенды измерительных приборов при заданном положении переключателя внутреннего сопротивления
3. Промоделировать схемы для одновременно измерения тока и напряжения на нагрузке для разных вариантов подключения приборов и величины нагрузки и занести результаты в таблицу
4. Снять и построить ВАХ виртуального источника тока и напряжения для своего варианта
5. Построить фигуру Лиссажу для своего варианта

В отчете привести:

1. Схемы опытов и таблицы с экспериментальными данными и результатами расчетов
2. Результаты моделирования ВАХ виртуальных источников тока и напряжения: таблицы и ВАХ
3. Фигуру Лиссажу, построенную в соответствии с индивидуальным заданием

Примечание: при проведении опыта учитывать, что искомые величины лежат в следующих пределах:
Для мультиметров: $R_r = 10 \dots 75$ и $75 \dots 200 \text{ Ом}$; $R_{доб} = 5 \dots 30 \text{ кОм}$ и $30 \dots 60 \text{ кОм}$;
Для источников тока $R_r = 5 \dots 20 \text{ кОм}$ и $30 \dots 60 \text{ кОм}$; Для источников напряжения $R_r = 10 \dots 70$ и $100 \dots 200 \text{ Ом}$;



Лабораторная работа №2. Схема и методика измерения внутренних сопротивлений

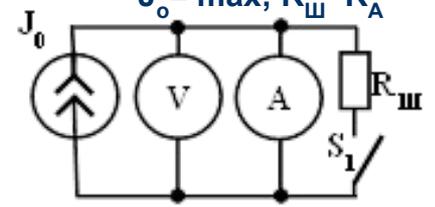
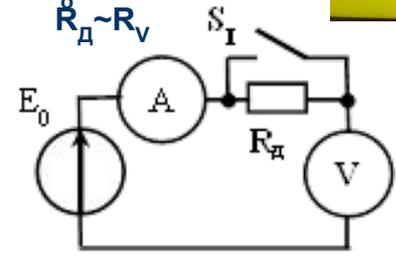
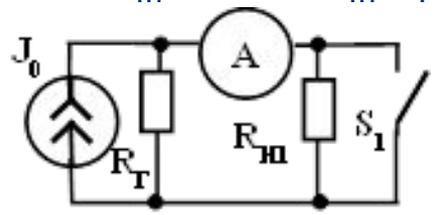
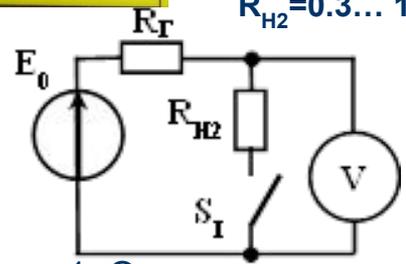


$E = 4 \dots 8 \text{ В}$
 $(E_0/R_{H2} < 50 \text{ мА});$
 $R_{H2} = 0.3 \dots 1 \text{ к}$

$J_0 = 1 \dots 2 \text{ мА}$
 $(R_{H1} \cdot J_0 < 20 \text{ В}); R_{H1} \sim R_{\Gamma}$

$E_0 = \text{max}$
 $R_D \sim R_V$

$J_0 = \text{max}; R_{\text{ш}} \sim R_A$



1. Определение внутреннего R источника ЭДС R_{Γ} :

$V_{\text{on}} = E_0; \Delta V = V_{\text{off}} - V_{\text{on}}$
 $\Delta V = E_0 \cdot R_{\Gamma} / (R_{\Gamma} + R_{H2})$
 $R_{\Gamma} = (V_{\text{off}} - V_{\text{on}}) \cdot R_{H2} / V_{\text{on}}$

2. Определение внутреннего R источника тока R_{Γ} :

$I_{\text{on}} = J_0;$
 $I_{\text{off}} = J_0 \cdot R_{\Gamma} / (R_{H1} + R_{\Gamma})$
 $R_{\Gamma} = I_{\text{off}} \cdot R_{H1} / (I_{\text{on}} - I_{\text{off}})$

3. Определение внутреннего R вольтметра R_V :

$V_{\text{on}} = E_0; V_{\text{off}} = E_0 \cdot R_V / (R_V + R_D)$
 а) $R_V = V_{\text{on}} / I_{\text{on}}$
 б) $R'_V = V_{\text{off}} \cdot R_D / (V_{\text{on}} - V_{\text{off}})$

4. Определение внутреннего R амперметра R_A :

$I_{\text{off}} = J_0; I_{\text{on}} = J_0 \cdot R_{\text{ш}} / (R_A + R_{\text{ш}});$
 а) $R_A = V_{\text{off}} / I_{\text{off}}$
 б) $R_A = R_{\text{ш}} \cdot (I_{\text{off}} - I_{\text{on}}) / I_{\text{on}}$

V_{on}	V_{off}	R_{H2}	R_{Γ}

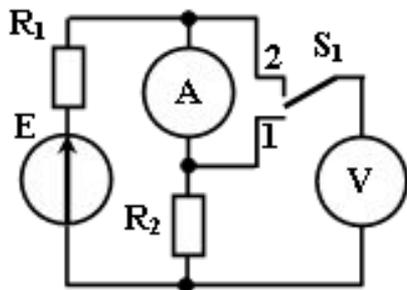
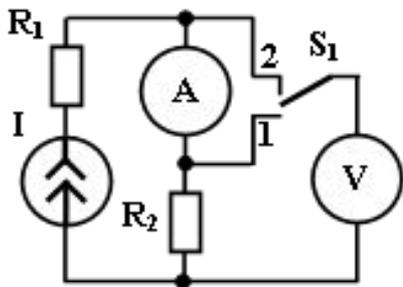
I_{on}	I_{off}	R_{H1}	R_{Γ}

I_{on}	V_{on}	V_{off}	R_D	R_V	R'_V

V_{of}	I_{off}	I_{on}	$R_{\text{ш}}$	R_A	R'_A

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Мультиметр: Ц/А	Ц	А	Ц	А	Ц	А	Ц	А	Ц	А	Ц	А	Ц	А	Ц	А	Ц	А	Ц	А	Ц	А	Ц	А	Ц	А	Ц	А	Ц	А
Переключатель $R_{\text{ш}}$: 1/2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1
Переключатель R_D : 1/2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2
Блок питания: 1/2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
R_{Γ} источника тока: 1/2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
R_{Γ} источника напр: 1/2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Набор резисторов:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Одновременные измерения токов и напряжений



Общие правила измерения

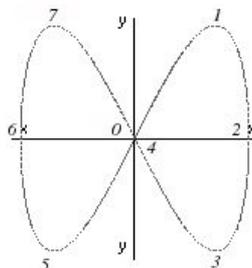
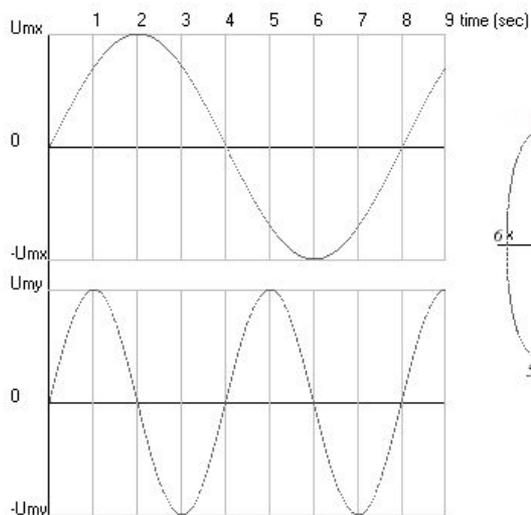
1. Для точных измерений сопротивление вольтметра должно многократно превышать сопротивление измеряемой цепи, а сопротивление амперметра – многократно меньше его
2. Если условие 1 не соблюдается, погрешность измерения может быть грубо оценена как отношение сопротивлений измерительного прибора и измерительной цепи. Например, если сопротивление равно 10кОм, а внутреннее сопротивление вольтметра – 100 кОм, то погрешность составит порядка 10%
3. Если невозможно обеспечить требования к внутренним сопротивлениям измерительных приборов, то их следует включать так, чтобы минимизировать влияние падающего на амперметре напряжения, или протекающего через вольтметр тока. (Например, если в показанных схемах R_2 велико, то ключ S_1 следует перевести в положение 2, чтобы ток вольтметра не измерялся амперметром. Если же R_2 мало, ключ лучше поставить в положение 1, чтобы вольтметр не измерял падение напряжения на амперметре)

При выполнении работы №2 таблицу 2.1. не заполнять, пункт 2 задания не делать! Расчетные значения токов и напряжений таблицы 2.2. определяем при исключенных из схем измерительных приборов

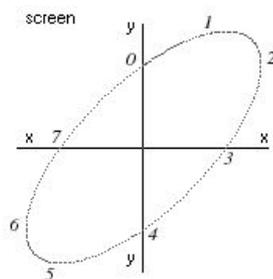
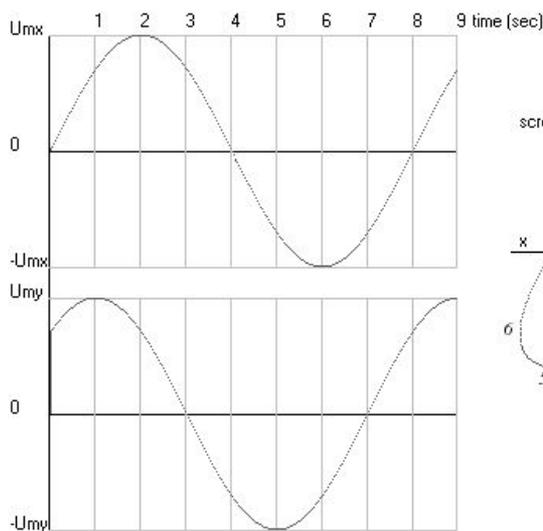
Схема		Рисунок 1.2 а				Рисунок 1.2 б			
R1>R2?		R1>R2		R1<R2		R1>R2		R1<R2	
Положение S ₁		1	2	1	2	1	2	1	2
Параметр	Ед. изм.	Значение	Значение	Значение	Значение	Значение	Значение	Значение	Значение
U _{расчетн}	В								
U _{модели}	В								
δU	%								
I _{расчетн}	мА								
I _{модели}	мА								
δI	%								

Важно: при моделировании используйте идеальные элементы!

Фигуры Лиссажу



$$f_x : f_y = 1:2$$



$$f_x = f_y = 1:1$$

Рис. 4

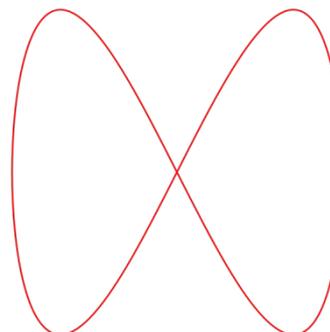
Для построения фигуры берем последовательные отсчеты сигналов $U_x(t)$ и $U_y(t)$ в одинаковые моменты времени (проще – с равным интервалом), находим соответствующие каждому отсчету точку на плоскости декартовой системы координат (U_x откладываем по x , U_y – по y), а затем последовательно соединяем полученные точки. Для упрощения построения можно ось времени сигнала $U_y(t)$ совместить с осью X , а ось времени сигнала $U_x(t)$ направить вниз по оси Y

Критерием устойчивости изображения является кратность частот двух сигналов (отношение величин частот равно целому числу) и неизменность фазы.

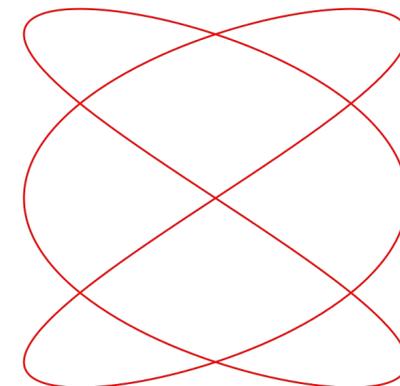
Малейшее несоответствие делает фигуру подвижной

Отношение частот равно отношению касаний фигурой горизонтальной и вертикальной границы рамки, в которую она вписана

Область применения – высокочувствительный метод определения кратности частот сигналов и фазовых сдвигов между этими сигналами



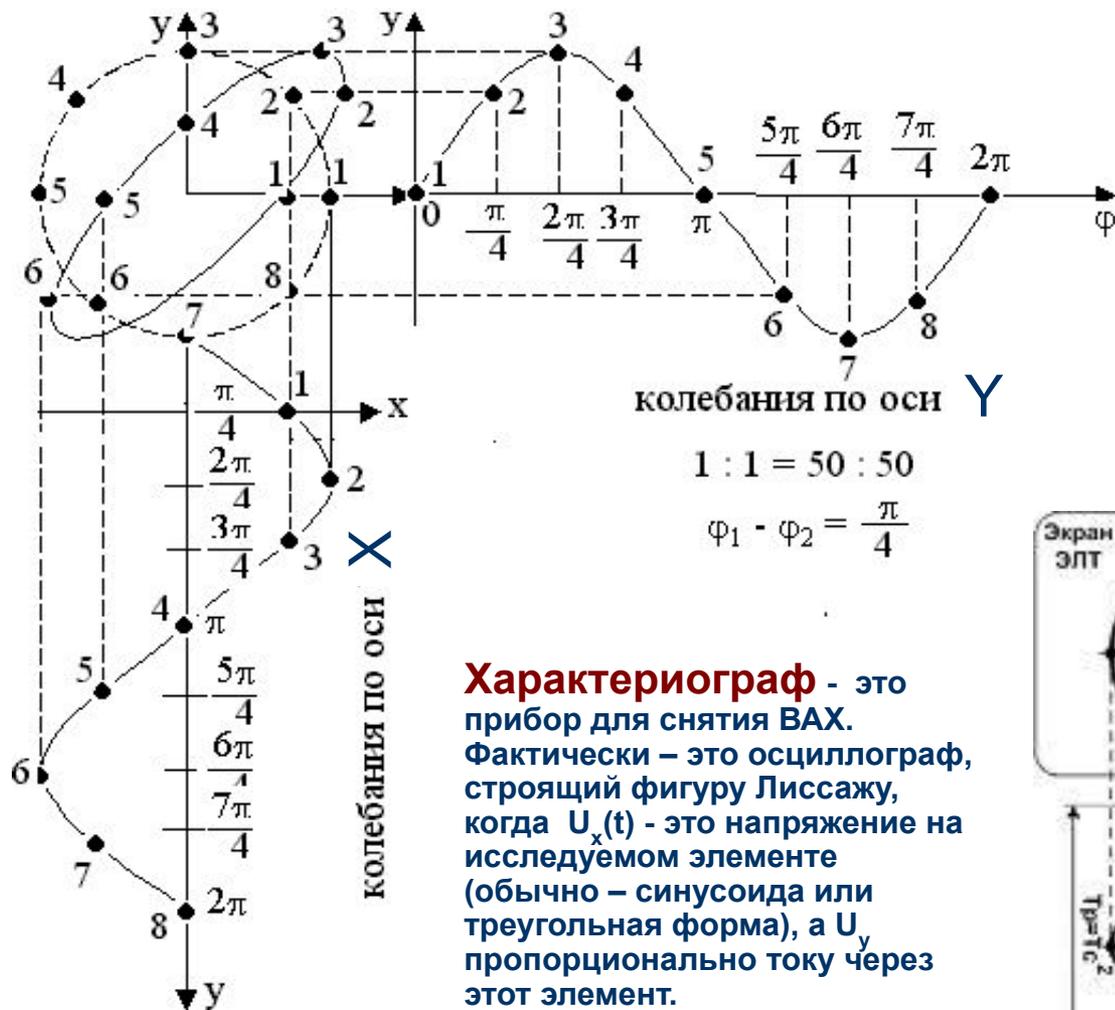
$$f_x = 1, f_y = 2 (1:2)$$



$$f_x = 3, f_y = 2 (3:2)$$

http://www.kolasc.net.ru/cdo/training/phs/osc_page2.html

Варианты построения фигур Лиссажу. Характериограф

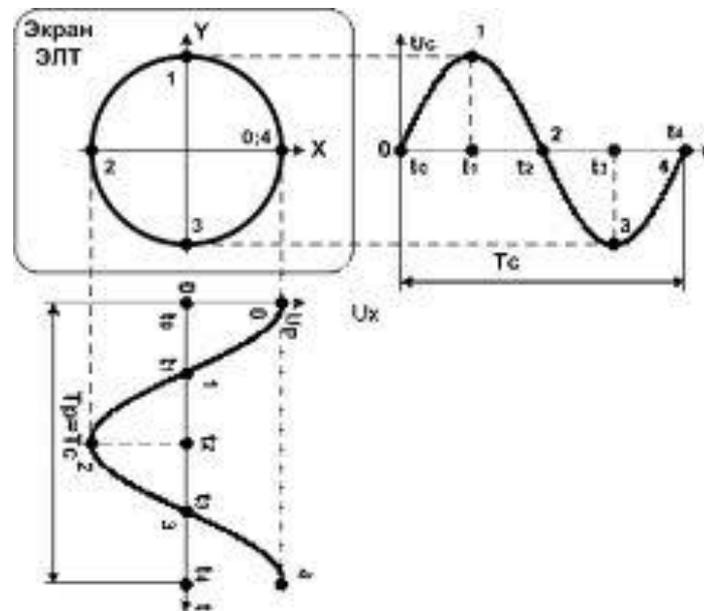
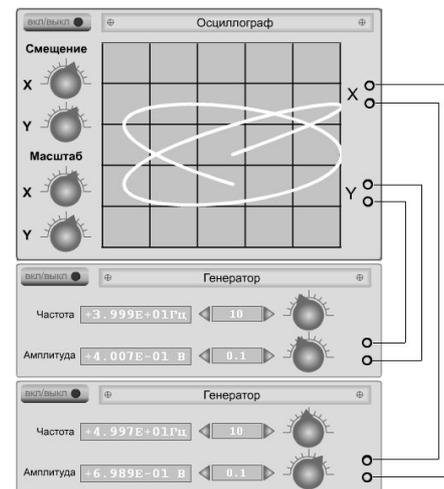


$$1 : 1 = 50 : 50$$

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{\pi}{4}$$

Характериограф - это прибор для снятия ВАХ. Фактически - это осциллограф, строящий фигуру Лиссажу, когда $U_x(t)$ - это напряжение на исследуемом элементе (обычно - синусоида или треугольная форма), а U_y пропорционально току через этот элемент.

Важно: в задании к работе частота $f_1=1\text{Гц}$, $\varphi_1=0$



Лабораторная работа №2. Общие вопросы

1. Что такое характериограф и для чего он предназначен?
2. *Можно ли осциллограф применять в качестве характериографа? Достаточно ли для этого иметь только осциллограф, или нужны и другие средства измерений? **
3. Как будет выглядеть на экране характериографа ВАХ резистора?
4. Какой вид имеет ВАХ у идеального и физически реализуемого источника тока (напряжения)?
5. Какие виды источников электрической энергии используются в технике для электроснабжения и почему?
6. *Почему в стабилизированных источниках тока (напряжения) форма ВАХ отличается от линейной? **
7. Почему реальные источники напряжения имеют ограничение по максимально допустимому току, а источники тока – ограничение по максимально допустимому напряжению?
8. Можно ли, и если да, то как преобразовать источник тока в источник напряжения и наоборот?
9. Что такое ВАХ?
10. Какими правилами следует руководствоваться при измерении токов и напряжений в сложных цепях?
11. Можно ли измерить, и если можно, то как, сопротивление резистора, включенного в электрическую схему?
12. Для более точного измерения напряжения на элементе цепи вольтметр следует подключать непосредственно к нему или к последовательно включенному элементу и амперметру? А при измерении тока? И почему?
13. По каким формулам преобразуется источник ЭДС в источник тока и наоборот?
14. *Можно ли идеальный источник тока преобразовать в идеальный источник ЭДС? **

Лабораторная работа №2. Вопросы по работе

1. Обязательно ли в 3-м и 4-м опыте для нахождения внутреннего сопротивления вольтметра (амперметра) применять два прибора?
2. *Каким условиям должны удовлетворять внешние резисторы и измерительные приборы и почему? **
3. Объяснить полученные результаты моделирования погрешности измерения токов и напряжений в сложных разветвленных цепях, содержащих источник тока (напряжения)
4. Что такое SPICE – модель?
5. Какие основные правила нужно соблюдать при работе в среде MultiSIM 8?
6. Что можно определить с помощью фигуры Лиссажу?
7. Как по фигурам Лиссажу можно найти отношение частот измеряемых сигналов?
8. *Какими способами можно определить разность фаз между двумя сигналами с помощью электронного осциллографа? **
9. Можно ли определить разность фаз между сигналами различной частоты?
10. Чем виртуальный осциллограф в программе MultiSIM 8 отличается от реального?
11. Можно ли в модели MultiSIM 8 одновременно изменять положение ползка у нескольких потенциометров?
12. Можно ли в модели MultiSIM 8 в процессе работы симулятора менять параметры модели?
13. Как в MultiSIM 8 можно включить и настроить виртуальный измерительный прибор и какие они бывают?
14. Чем виртуальные измерительные приборы в MultiSIM 8 отличаются от реальных?
15. Во сколько примерно раз время в симуляторе течет медленнее реального времени при снятии ВАХ источников питания?
16. *Что объединяет и что различает пакеты EWB и MultiSIM? **
17. *Какие еще программные средства компании National Instruments (NI) дополняют и расширяют возможности MultiSIM? **
18. *Можно ли с помощью характеристического графика снять ВАХ предложенных в работе моделей источников напряжения и тока? **
19. *Какие пакеты, кроме MultiSIM, также предназначены для SPICE – моделирования? **
20. Почему SPICE – модели не используют для анализа сложных электронных схем, используемых в вычислительной технике?
21. *Как можно использовать в среде MultiSIM пробник и что это такое? **
22. В чем заключаются принципиальные различия проведения измерений электрических величин на SPICE – моделях от измерений в реальных электрических цепях?