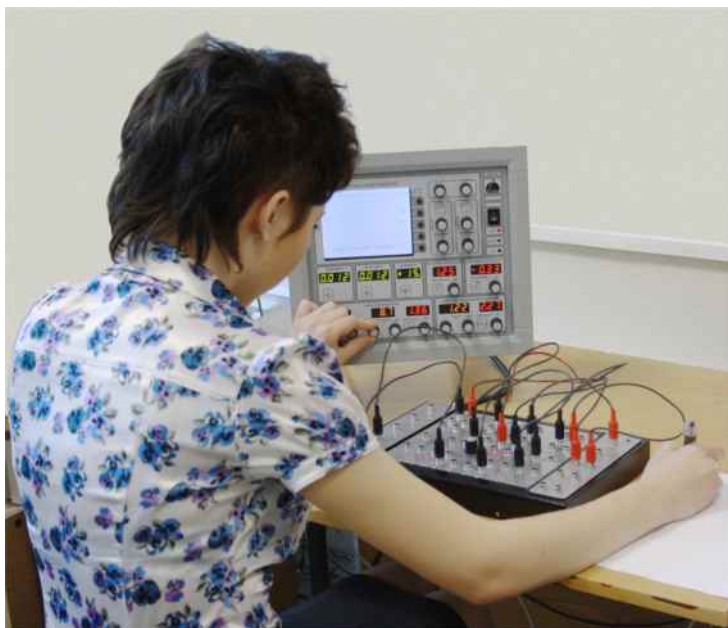


netelab



комплекс приборов для кабинета физики,
учебных лабораторий электротехники,
электроники, радиотехники

Назначение



■ Полноценное изучение естественно-научных дисциплин школьниками, учащимися СПО, студентами ВУЗов невозможно без выполнения опытов, лабораторных работ, проведения самостоятельных исследований.

■ Комплекс предназначен для изучения различных физических явлений, свойств электрических цепей и электронных схем, а также формирования и развития навыков практической работы с современными измерительными приборами. В его состав входят одно или несколько рабочих мест.

■ Рабочее место состоит из панели индикации и управления, объединяющей два источника питания, два генератора сигналов, цифровые вольтметры, фазометр, цифровой осциллограф–характериограф, и измерительно-коммутационного модуля, позволяющего собирать различные электрические и электронные схемы.

Отличительные особенности комплекса

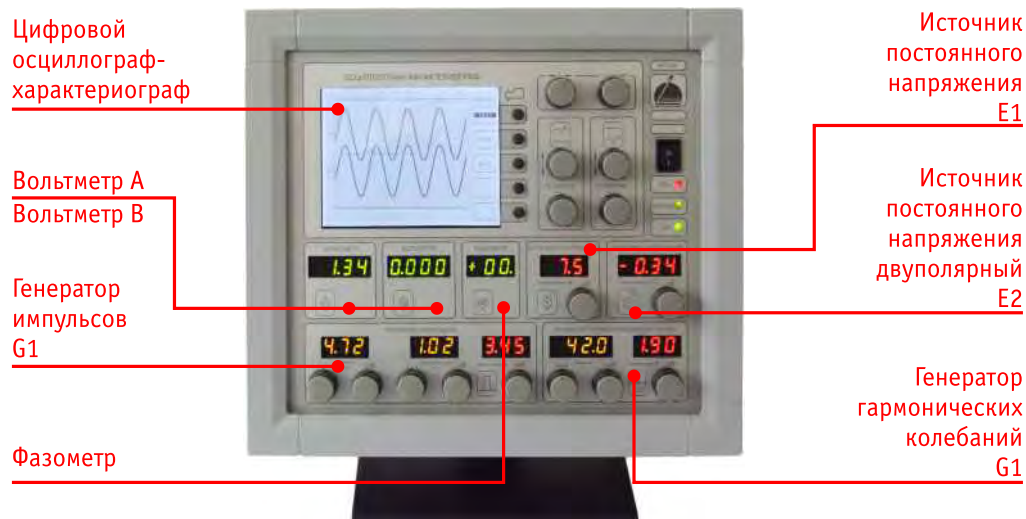
- **универсальность** - типовая платформа обеспечивает изучение как базовых дисциплин «Электричество и магнетизм», «Основы электротехники», «Электрические машины», «Полупроводниковые приборы», «Основы электроники», «Логические элементы и схемы ЭВМ», так и специальных дисциплин;
- **мобильность** - малые габариты и вес элементов рабочего места, заменяющего целую группу приборов, позволяют быстро трансформировать учебный класс в лабораторию;
- **реализм** - органы управления и способы отображения результатов измерений соответствуют эргономике современных приборов;
- **информативность** - возможность наблюдения совокупности характеристик, экспериментально полученных при различных условиях, позволяет учащимся глубже понять суть изучаемых процессов и явлений;
- **интерактивность** - впервые преподаватель имеет возможность объективно оценить активность каждого ученика и корректировать его действия в процессе обучения;
- **автономность и комплексирование** - каждое рабочее место функционирует автономно и не требует подключения компьютера. Вместе с тем, все они могут быть объединены локальной вычислительной сетью и подключены к компьютеру преподавателя;
- впервые в учебном оборудовании реализована возможность автоматического построения амплитудных характеристик исследуемых цепей

■ Основной режим работы комплекса – автономный. Предусмотрена возможность управления режимами работы комплекса и передачи данных с использованием средств локальной вычислительной сети для обеспечения активного контроля преподавателем выполнения заданий или реализации дистанционного обучения.

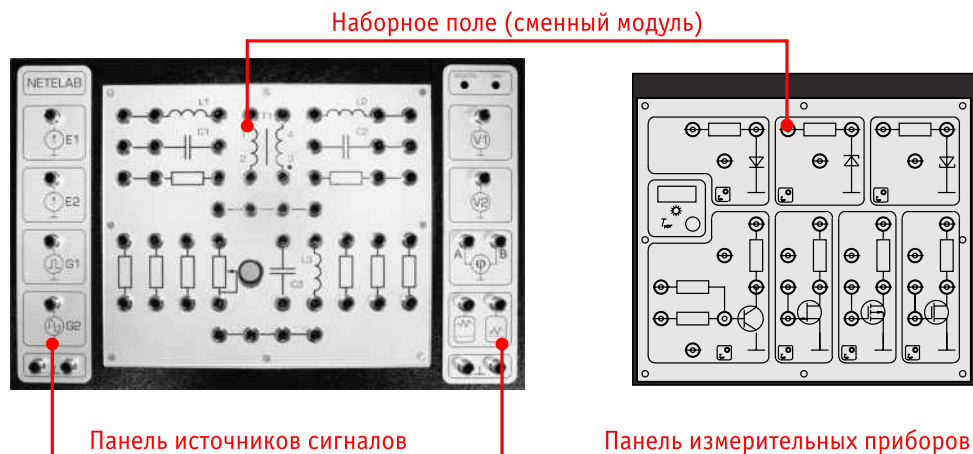
Состав комплекса

- **Комплекс NETELAB** состоит из двух модулей - приборного и измерительного.
- **Приборный модуль** содержит устройства индикации и органы управления источников постоянного напряжения (E1 и E2), генераторов импульсных (G1) и гармонических (G2) сигналов, вольтметров (A и B), фазометра и цифрового осциллографа-характериографа.
- **Измерительный модуль** содержит разъемы для подключения источников напряжения, генераторов и измерительных приборов к исследуемой электрической схеме. Наборное поле содержит элементы, необходимые для монтажа электрических цепей. Для соединения элементов, подключения источников напряжения, генераторов и измерительных приборов используются гибкие соединительные провода с наконечниками.

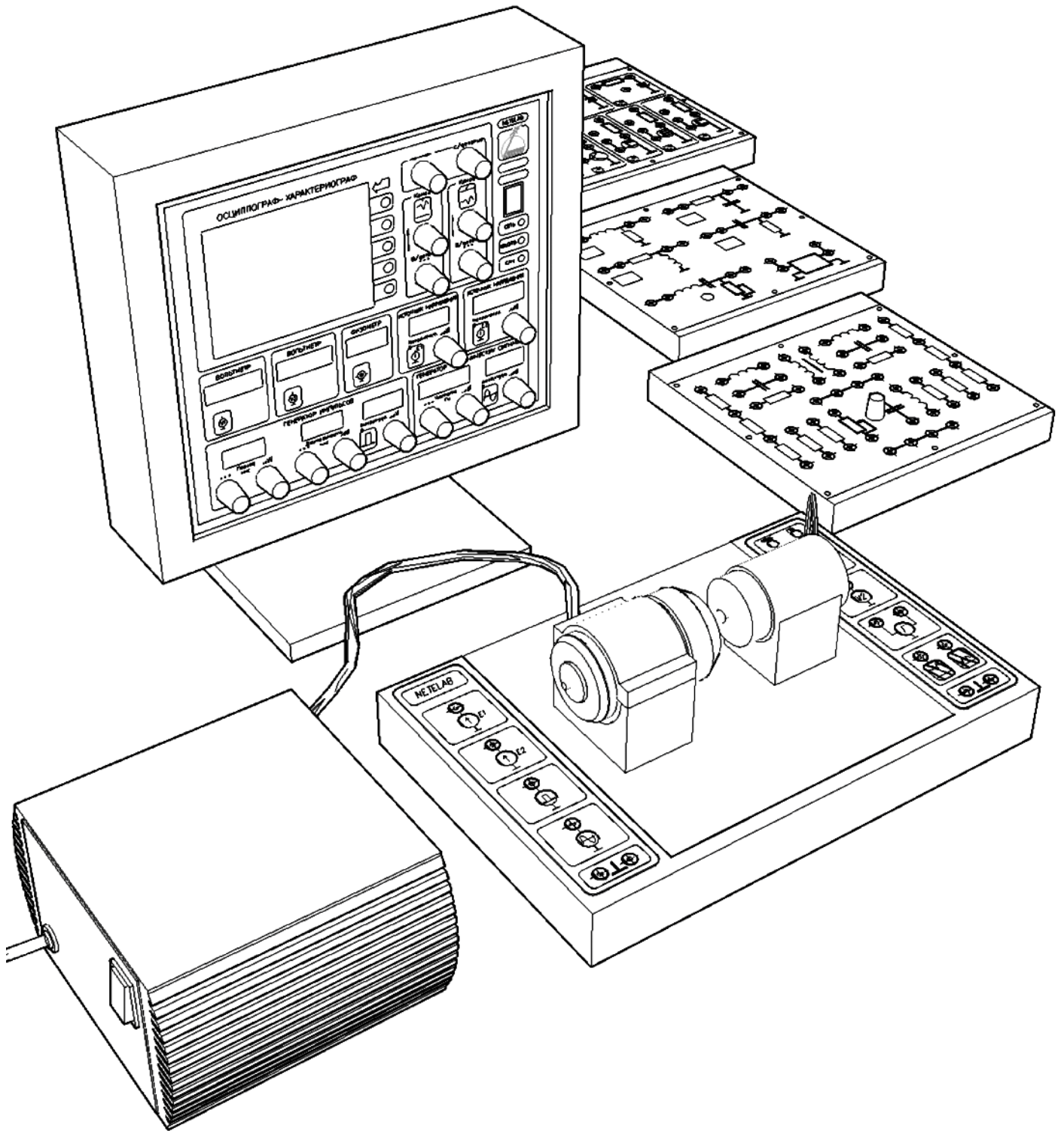
Приборный модуль



Измерительный модуль



- В комплексе реализованы:
 - конструктивные решения, обеспечивающие повышенную износостойкость органов управления;
 - функции ограничения диапазонов регулирования параметров сигналов и блокировки отдельных приборов для проведения лабораторных работ школьниками, учащимися и студентами, не имеющих начальных навыков работы с электрическими цепями;
 - функция комплексирования средств, обеспечивающая работу комплекса в режиме многофункционального характериографа, которая позволяет наглядно демонстрировать экспериментальные зависимости $u_{ВХ}(f)$, $u_{ВЫХ}(u_{ВХ})$, $u_{ВХ}(i_{ВХ})$ и интенсифицировать процесс изучения частотных и резонансных свойств цепей, свойств нелинейных элементов, а также характеристик различных цепей, содержащих эти элементы.
 - функция отображения результатов работы на проекционном оборудовании (опционально).
 - функция передачи изображений осциллограмм по беспроводной сети Wi-Fi (опционально)



Основные технические характеристики

■ Источник постоянного напряжения смещения

Диапазон регулирования выходного напряжения, В	-5 ... +5
Выходное сопротивление источника, Ом	0.1
Максимальное значение выходного тока, А	0.1
Режим ограничения тока	есть

■ Источник постоянного напряжения питания

Диапазон регулирования выходного напряжения, В	+1 ... +9
Выходное сопротивление источника, Ом	0.1
Максимальное значение выходного тока, А	0.1
Режим ограничения тока	есть

■ Генератор гармонических сигналов

Рабочие диапазоны частот, кГц	0.100 ... 99.9
Амплитуда сигнала, В	0.05 ... 5.0
Выходное сопротивление, Ом	0.1
Максимальное значение выходного тока, А	0.3
Режим ограничения тока	есть

■ Генератор импульсов

Период следования импульсов, мс	0.200 ... 999.0
Длительность импульсов, мс	0.100 ... 9.980
Амплитуда импульсов, В	0.05 ... 5.0
Выходное сопротивление, Ом	0.1
Максимальное значение выходного тока, А	0.3
Режим ограничения тока	есть

■ Вольтметры А и В

Диапазон измеряемых напряжений, В	0.1 ... 100
Входное сопротивление, МОм	1

■ Фазометр

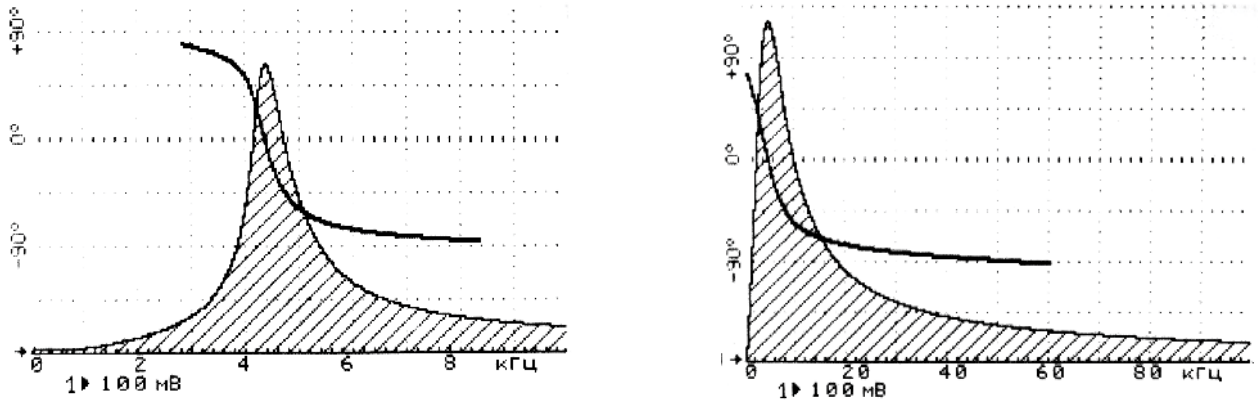
Диапазон рабочих частот, кГц	0.010 ... 100
Погрешность измерения, град., не более	1
Индикация знака	есть

■ Осциллограф – характериограф

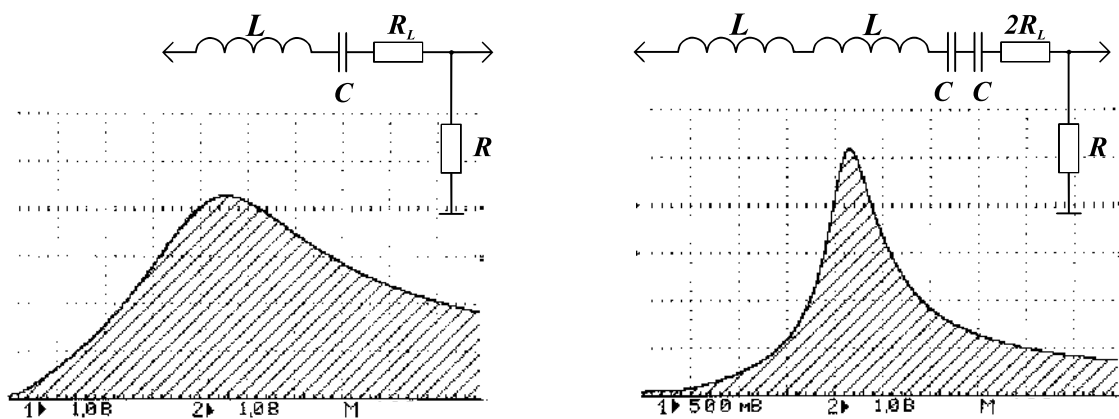
Число каналов регистрации сигналов	2
Размер рабочего поля экрана, точек	320 x 240
Цена деления по вертикали, В	10, 5, 2.5 ... 0.025, 0.01
Цена деления по горизонтали, с	0.5, 0.25, 0.1 ... 10×10^{-6}

Новые возможности анализа

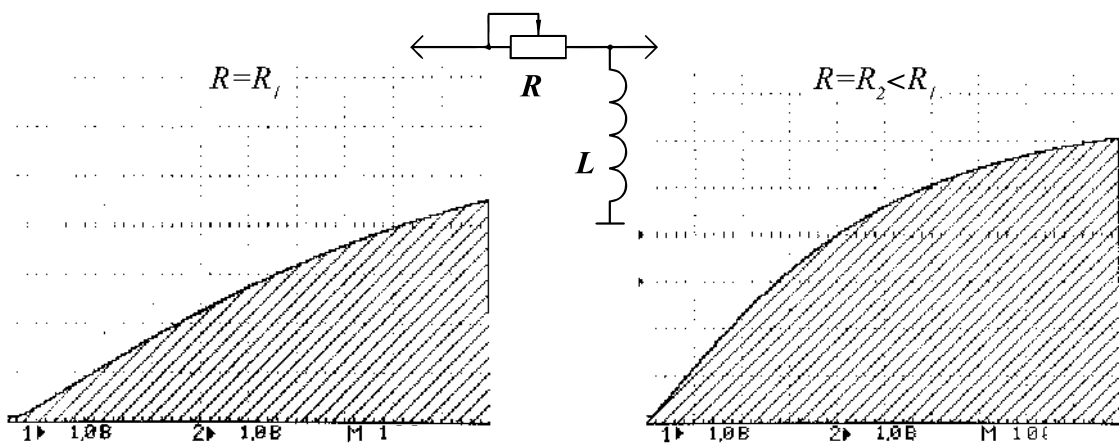
■ Принципиально новые возможности комплекса – регистрация АЧХ и ФЧХ исследуемых цепей – позволяют существенно улучшить уровень практической подготовки студентов за счет интенсификации учебного процесса и реализации возможности наглядной демонстрации влияния изменения параметров схемы (переменного резистора, параметров катушки индуктивности и емкости) на вид АЧХ и ФЧХ. Это позволило заметно развить изучение явлений резонанса и частотных свойств электрических цепей.



Изображения полученных амплитудно-частотных и фазо-частотных характеристик на экране осциллографа-характериографа



Изменения добротности последовательного колебательного контура при малом изменении резонансной частоты в случаях использования элементов $L-C$ и $2L-C/2$



Изображение, полученное на экране осциллографа-характериографа при исследовании передаточной функции R-L звена при различных значениях R в диапазоне частот от 0,1 кГц до 100 кГц

Методическое обеспечение

Разработаны методические пособия для проведения основного курса лабораторных работ по направлению подготовки «Теоретические основы электротехники»

Лабораторная работа «Приобретение навыков работы с цифровыми измерительными приборами»

Лабораторная работа
Приобретение навыков работы с цифровыми измерительными приборами

Цель работы – ознакомиться с устройством измерительного комплекса «NETLAB» и измерительных приборов.

1. Описание измерительного комплекса NETLAB


Комплекс NETLAB (рисунк 1) состоит из двух модулей – прибора и измерительного модуля.



Рисунк 1 – Комплекс NETLAB

Приборный модуль (рисунк 1) выполняет функции измерения и хранения измеренных значений.

1. Источник постоянного напряжения E1;
2. Источник постоянного напряжения E2;
3. Генератор импульсов сигнала G1;
4. Генератор переменного сигнала G2;
5. Вольтметр V1;
6. Вольтметр V2;
7. Фазометр;
8. Цифровой осциллограф/фазометр/фазометр.



Рисунк 2 – Приборный модуль комплекса NETLAB

На передней панели расположен свечной выключатель комплекта и светодиодный индикатор включения питания прибора «СЕТЬ» и измерительного модуля «МОДУЛЬ».

В комплекте используются следующие органы управления цифровым прибором – измерителем. Они не имеют сравнений по функциональному назначению и типу измерения:

- Настройка сигнала «Г» указывает на то, что измеритель записал в ячейку памяти рабочий диапазон рабочих параметров. Как правило, число диапазонов измерения в каждой ячейке зависит от типа измерения.
- Символ «I» и «V» – указывают, что измеритель используется для измерения неизменяемого сигнала. Максимальное значение измеряемой величины не превышает 1000 мВ для напряжения и 10 мВ для тока.
- При быстром вращении индикатора регулировки параметра знак меняется быстро.
- Символ быстрого вращения индикатора обозначает как постоянное задание прибора в будущем.



Рисунк 3 – Измерительный модуль комплекса NETLAB

На левой панели измерительного модуля (рисунк 3) измерительными элементами для подключения к измерительной цепи являются источник напряжения, генераторы и измерительные приборы. Измерительная цепь собирается из элементов, указанных в списке подключенных к рабочему диапазону модуля. На правой панели измерительного модуля для подключения к измерителю указываются следующие параметры:

Для измерения напряжения, измеряемые источники напряжения, генераторы и измерительные приборы подключаются к таблице соединений в режиме «Измерение».

Источники постоянного напряжения E1 обеспечивают формирование постоянного напряжения (U1, U2) в диапазоне «1 - 10» В. Значение устанавливаемого напряжения выбирается с помощью индикатора.

Максимальное значение ток источника «1 А. Если на передней панели индикатор источника напряжения, на индикаторе внешнего напряжения будут вычисляться значения сигнала «1 - 10» В.

Источники переменного напряжения E2 обеспечивают формирование постоянного напряжения (U3) в диапазоне «1 - 10» В. Значение устанавливаемого напряжения выбирается с помощью индикатора.

Максимальное значение ток источника «1 А. Если на передней панели индикатор источника напряжения, на индикаторе внешнего напряжения будут вычисляться значения сигнала «1 - 10» В.

Генератор импульсов G1 предназначен для формирования периодической последовательности импульсов прямоугольной формы.

Параметры импульсов (G1) устанавливаются в режиме «Диагностика» - «01» до 999 мкс и «01» до 99,9 мс. Рабочий диапазон выбирается путем вращения индикатора «+» - «Параметр». При этом переключатель выбора точки на цифровом индикаторе переводится в положение «Состояние» и используется для выбора рабочего диапазона устанавливаемого индикатора «И1» - «Параметр».

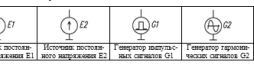
Индикаторы частоты (G1) также устанавливаются в режиме «Диагностика» - «01» до 999 мкс и «01» до 99,9 мс. Рабочий диапазон выбирается путем вращения индикатора «+» - «Параметр». При этом переключатель выбора точки на цифровом индикаторе переводится в положение «Состояние» и используется для выбора рабочего диапазона устанавливаемого индикатора «И1» - «Параметр».

Амплитуда импульсов (U1) устанавливается индикатором «+» - «Параметр» в пределах от 0,01 до 5,00 В. Устанавливаемое значение отображается на цифровом индикаторе.

Максимальная частота сигнала G2 устанавливается в режиме «Диагностика» - «02» до 99,99 Гц и «01» до 9,999 Гц. Рабочий диапазон выбирается путем вращения индикатора «+» - «Параметр». При этом переключатель выбора точки на цифровом индикаторе переводится в положение «Состояние» и используется для выбора рабочего диапазона устанавливаемого индикатора «И1» - «Параметр».

Амплитуда импульсов (U2) устанавливается индикатором «+» - «Параметр» и отображается на цифровом индикаторе. Максимальная частота сигнала G2 устанавливается в режиме «Диагностика» - «02» до 99,99 Гц и «01» до 9,999 Гц. Рабочий диапазон выбирается путем вращения индикатора «+» - «Параметр». При этом переключатель выбора точки на цифровом индикаторе переводится в положение «Состояние» и используется для выбора рабочего диапазона устанавливаемого индикатора «И1» - «Параметр».

Выходные цепи приборов расположены на правой стороне приборного модуля (рисунк 3) в следующем порядке:



Источники сигнала: Источник постоянного напряжения E1, источник сигнала G1

Таблице же стандартные обозначения на передней панели приборного модуля.

Вольтметры V1 и V2 предназначены для измерения амплитуды действующей значения напряжения сигнала, подаваемого им во вход. Результат измерений (U1) отображается на цифровом индикаторе соответствующего вольтметра, наличие и величина отклонения значения измерения указывается положением диапазонов точки и индикатора.

Важным преимуществом измерения действующего значения напряжения является только при измерении на вход измерительного комплекса.

Фазометр предназначен для измерения разности фаз (φ) между двумя переменными сигналами u1(t) и u2(t) основной частоты, подаваемых соответственно на входы (A) и (B) измерительных приборов. Результат измерения разности фаз сигнала φ = φ1 - φ2, φ град. будет отображаться на цифровом индикаторе.

Важным преимуществом измерения разности фаз является то, что сигнал u1(t) и u2(t) измерения не зависят от амплитуды сигнала «+».

Цифровой осциллограф/фазометр обеспечивает отображение формы сигнала u(t) и u(t), подаваемых на входы измерительных каналов 1 и 2 соответственно, или - при работе в режиме фазометра - амплитуды значений U1(U2), U1(U2).

Объем информации осциллограф/фазометра соответствует следующим характеристикам: управление режимами работы; управление характеристиками осциллографа в горизонтальной и вертикальной шкалах; управление характеристиками сигнала; управление каналами 1 и 2 в вертикальной шкале.

При включении питания комплекса осциллограф/фазометр автоматически переключается в режим осциллографа для визуализации формы сигнала U1(t) и U2(t). В измерительный канал 1 или 2 включается последовательный резистор 100 Ом.

При выключении питания перед экраном отображаются параметры: форма сигнала U1(t) и U2(t) на входе, форма сигнала U1(t) и U2(t) на выходе, форма сигнала U1(t) и U2(t) на выходе, форма сигнала U1(t) и U2(t) на выходе, форма сигнала U1(t) и U2(t) на выходе.

В измерительный канал 1 и 2 включается последовательный резистор 100 Ом.

Важным преимуществом измерения разности фаз является то, что сигнал u1(t) и u2(t) измерения не зависят от амплитуды сигнала «+».

Цифровой осциллограф/фазометр обеспечивает отображение формы сигнала u(t) и u(t), подаваемых на входы измерительных каналов 1 и 2 соответственно, или - при работе в режиме фазометра - амплитуды значений U1(U2), U1(U2).

G1. Источник сигнала выбранного значения, разный с которым вычисляются значения (U1) и (U2). При выключении источника сигнала, вычисляемые значения будут вычисляться автоматически.


Важным преимуществом измерения разности фаз является то, что сигнал u1(t) и u2(t) измерения не зависят от амплитуды сигнала «+».

Цифровой осциллограф/фазометр обеспечивает отображение формы сигнала u(t) и u(t), подаваемых на входы измерительных каналов 1 и 2 соответственно, или - при работе в режиме фазометра - амплитуды значений U1(U2), U1(U2).

Объем информации осциллограф/фазометра соответствует следующим характеристикам: управление режимами работы; управление характеристиками осциллографа в горизонтальной и вертикальной шкалах; управление характеристиками сигнала; управление каналами 1 и 2 в вертикальной шкале.

При включении питания комплекса осциллограф/фазометр автоматически переключается в режим осциллографа для визуализации формы сигнала U1(t) и U2(t). В измерительный канал 1 или 2 включается последовательный резистор 100 Ом.

При выключении питания перед экраном отображаются параметры: форма сигнала U1(t) и U2(t) на входе, форма сигнала U1(t) и U2(t) на выходе, форма сигнала U1(t) и U2(t) на выходе, форма сигнала U1(t) и U2(t) на выходе.



Таблице же стандартные обозначения на передней панели приборного модуля.

Выбором воле содействуют кнопки, необходимые для работы контроллера (G1) и выбора воле (U1) и (U2). При выключении источника сигнала, вычисляемые значения будут вычисляться автоматически.


Важным преимуществом измерения разности фаз является то, что сигнал u1(t) и u2(t) измерения не зависят от амплитуды сигнала «+».

Цифровой осциллограф/фазометр обеспечивает отображение формы сигнала u(t) и u(t), подаваемых на входы измерительных каналов 1 и 2 соответственно, или - при работе в режиме фазометра - амплитуды значений U1(U2), U1(U2).

2. Измерение комплексной мощности сигнала, включенного в измерительный прибор.

Измерение комплексной мощности сигнала, включенного в измерительный прибор, осуществляется в режиме «Диагностика» - «03». При этом переключатель выбора точки на цифровом индикаторе переводится в положение «Состояние» и используется для выбора рабочего диапазона устанавливаемого индикатора «И1» - «Параметр».

Источники сигнала: Источник постоянного напряжения E1, источник сигнала G1



Рисунк 4 – Измерение напряжения на резисторе R1, измерение тока через резистор R2, измерение комплексной мощности сигнала.

4. Задача на применение измерителя

Задача 1. Подключить вход канала 1 осциллографа к выходу генератора G1. Настроить режим управления генератором G1, установить значение сигнала амплитудой 100 мВ и частотой 10 кГц. Измерить форму сигнала осциллографом, получить информацию об измерении осциллографом в режиме «Диагностика» - «03». При этом переключатель выбора точки на цифровом индикаторе переводится в положение «Состояние» и используется для выбора рабочего диапазона устанавливаемого индикатора «И1» - «Параметр».

Задача 2. Установить режим измерения напряжения внешнего напряжения источника напряжения G1. Подключить его к выходу входа канала 1 осциллографа и установить частоту сигнала «1 - 10» В. Установить режим измерения напряжения на входе канала 1 осциллографа. При этом переключатель выбора точки на цифровом индикаторе переводится в положение «Состояние» и используется для выбора рабочего диапазона устанавливаемого индикатора «И1» - «Параметр».


Задача 3. Подключить к выходу генератора переменного сигнала G2 вольтметр V1. Измерить форму сигнала генератора G2, установить частоту сигнала 1 кГц. При этом переключатель выбора точки на цифровом индикаторе переводится в положение «Состояние» и используется для выбора рабочего диапазона устанавливаемого индикатора «И1» - «Параметр».

Таблица 1


Номер резистора	Активная мощность сигнала В	Истинное значение действующего напряжения U1, В	Измеренное значение действующего напряжения U1, В
1	2,0	2,0	2,0
2	2,0	2,0	2,0
3	2,0	2,0	2,0
4	2,0	2,0	2,0
5	2,0	2,0	2,0
6	2,0	2,0	2,0
7	2,0	2,0	2,0

Рисунк 4 – Схемы измерения комплексной мощности, включенной в цепь, при подключении к вход осциллографа G1, цепи и подключении к вход вольтметра V1 и осциллографа G2.

Используется вольтметр V1, включенный в цепь в различных вариантах включения в различные выходные каналы прибора G1.



Задача 1. Подключить вход канала 1 осциллографа к выходу генератора G1. Настроить режим управления генератором G1, установить значение сигнала амплитудой 100 мВ и частотой 10 кГц. Измерить форму сигнала осциллографом, получить информацию об измерении осциллографом в режиме «Диагностика» - «03». При этом переключатель выбора точки на цифровом индикаторе переводится в положение «Состояние» и используется для выбора рабочего диапазона устанавливаемого индикатора «И1» - «Параметр».



Рисунк 4 – Схемы измерения комплексной мощности, включенной в цепь, при подключении к вход осциллографа G1, цепи и подключении к вход вольтметра V1 и осциллографа G2.

«Исследование резонансных явлений в линейных электрических цепях»

Лабораторная работа
ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЗОНАНСНЫХ ЯВЛЕНИЙ В ЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ
Цель работы – исследование явления резонанса в электрических цепях.

1. Основные положения теории

В цепи, содержащей последовательно соединенные сопротивление R , индуктивность L и емкость C , в момент времени, получаемые значения напряжения – на некоторой частоте ω_0 , называемой частотой резонанса, выполняются равенство модулей комплексных сопротивлений индуктивности X_L и емкости X_C (рисунков 1, а). Комплексное сопротивление Z такой цепи определяется из выражения $Z = R + j(X_L - X_C) = R + j\omega L - j\frac{1}{\omega C}$, причем $\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC}}$ и $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$.

Очевидно, что на частоте резонанса ω_0 , когда X_L и X_C становятся равными, модуль Z принимает минимальное значение, равное R (рисунк 1, в). В результате на частоте резонанса ω_0 напряжение на сопротивлении R становится равным напряжению генератора гармонических колебаний U_g , присоединенному к расширяющейся $R-L-C$ цепи (рисунк 1, г). Очевидно, что в этом случае ток в цепи становится максимальным.

Цепь $R-L-C$ часто называют последовательным колебательным контуром, а зависимость $U_R(\omega)$, $U_C(\omega)$, $U_L(\omega)$ и $I(\omega)$ называют резонансными характеристиками контура. Условие $X_L = X_C$ приводит к следующему соотношению, из которого определяется частота резонанса ω_0 :

$$\omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C} \Rightarrow \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

Известная зависимость сопротивлений, получая значение при частоте резонанса ω_0 , позволяет получить амплитудный график (иногда не являющийся волновым сопротивлением контура).

Так как на частоте резонанса ω_0 комплексная составляющая полного сопротивления такой цепи равна нулю, величина фазового сдвига φ между током и напряжением равна нулю (рисунк 1, д).

Рисунк 1 – Резонанс напряжений в $R-L-C$ цепи

В диапазоне частот от 0 до ω_0 реактивное сопротивление цепи имеет емкостной характер и $\varphi < 0$, а для $\omega > \omega_0$ это сопротивление имеет индуктивный характер и $\varphi > 0$. Максимальные напряжения U_L и U_C могут превосходить приложенное к расширяющейся цепи напряжение U_g , причем, в зависимости от свойств цепи – весьма значительно. Поэтому явление резонанса в последовательной цепи можно назвать явление: «напряжений». Резонансные свойства цепи характеризуются отношением величин напряжений на реактивных компонентах на частоте резонанса U_L и U_C к величине U_g :

$$Q = \frac{U_L}{U_g} = \frac{U_C}{U_g} = \frac{\omega_0 L}{R} = \frac{1}{\omega_0 R C} = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$$

Безразмерную величину Q называют добротностью контура. Чем больше Q , тем более «узким» становится резонансная характеристика в окрестности частоты ω_0 . Частоты ω_1 и ω_2 называют нижней и верхней граничными частотами контура – областями частот, в пределах которых амплитуда, получаемая цепью, не более чем в 2 раза меньше величины: максимального значения на частоте резонанса. Помимо этих значений в частотной области ω и ω_0 будет выполняться условие $U_L = U_C = U_g \sqrt{2}$ (или эквивалентное условие $I = I_0 \sqrt{2}$). Условие $U_L = U_C = U_g \sqrt{2}$ может быть обеспечено только при равенстве величин сопротивлений R и комплексного сопротивления $X_L - X_C$. Если это равенство достигается на частоте ω_1 , то величина фазового сдвига φ между током и напряжением равна $\varphi = -\pi/4$, а если достигается на частоте ω_2 , $\varphi = \pi/4$ – рисунк 2, а. Эти два случая позволяют выводить амплитуды (рисунк 2, б).

Таким образом, граничные частоты пропускания контура можно экспериментально определить, применяя к построению резонансных характеристик $U_R(\omega)$ и $I(\omega)$ и на частоте их пересечения с прямой $U_g = U_g \sqrt{2}$ или $I = I_0 \sqrt{2}$ соответственно – рисунк 2, в. Меньше разрывной путь, обеспечивая частоты более точного результата – экспериментальное определение частот ω_1 и ω_2 , для которых $\varphi = \pm \pi/4$.

Вспомогательное определение частот ω_1 и ω_2 можно использовать для расчета частот ω_1 и ω_2 . В основе такого расчета лежит известная зависимость контура, положение которых на оси частот ω совпадает с положением максимумов $U_L(\omega)$ и $U_C(\omega)$. Приравняв эти зависимости к величине $U_g \sqrt{2}$ и выведя из них формулы, когда выполняется условие $(\omega - \omega_0) < \omega_0$, получим:

$$\omega_1 = \omega_0 \left(1 - \frac{1}{2Q^2} \right), \quad \omega_2 = \omega_0 \left(1 + \frac{1}{2Q^2} \right)$$

Отсюда следует, что в результате проведения экспериментальных исследований можно рассчитать ω_1 и ω_2 (или ω_1 и ω_2), применяя для большего значения Q приближенные формулы.

Если реактивное сопротивление цепи в фазовом соотношении сопротивления контура является индуктивным. В этом случае выражение для комплексного сопротивле-

ния контура изменяется, что свидетельствует об изменении резонансных характеристик. Так, если X_L превышает комплексному положительному сопротивлению R (рисунк 3, а), то сопротивление участка цепи АВ примет вид:

$$Z_{AB} = \frac{R \left(\frac{1}{j\omega C} \right) + j\omega L}{j\omega L + R + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{1}{j\omega C} \frac{1 + j\omega RC}{1 + j\omega RC + j\omega LC - \omega^2 LC}$$

Если выполняется условие $R \gg \frac{1}{\omega C}$, то в первом знаменателе в знаменателе полученного отсюда допустимо исключить член $\frac{1}{j\omega C}$, который будет делиться от ряда разности ω_1 и ω_2 (рисунк 3, б). Поскольку на этой частоте ω_0 должно выполняться условие равенства модулей комплексных частей сопротивления, то:

$$\omega_1^2 - \omega_0^2 = \frac{1}{LC} - \omega_0^2 = 0 \Rightarrow \omega_1^2 = \omega_0^2 - \frac{1}{LC} \Rightarrow \omega_1 = \omega_0 \sqrt{1 - \frac{1}{Q^2}}$$

Рисунк 3 – Индуктивный контур (а) и его эквивалентная схема (б)

Рисунк 4 – Схема электрическая принципиальная (а) и монтажная (б) измерения резонансных характеристик последовательного контура при $R=100$ Ом.

Таблица 1
Результаты измерения резонансных характеристик цепи при $R=100$ Ом

$U_g = 1,8$ В	$R = 100$ Ом
$L = 1$ мГн	$C = 100$ нФ
$R_{конт} = 0$ Ом	$R_{конт} = 100$ Ом

Таблица 2
Результаты измерения резонансных характеристик цепи при $R=100$ Ом

$U_g = 1,8$ В	$R = 100$ Ом
$L = 1$ мГн	$C = 100$ нФ
$R_{конт} = 0$ Ом	$R_{конт} = 100$ Ом

Таблица 3
Результаты измерения резонансных характеристик цепи при $R=100$ Ом

$U_g = 1,8$ В	$R = 100$ Ом
$L = 1$ мГн	$C = 100$ нФ
$R_{конт} = 0$ Ом	$R_{конт} = 100$ Ом

Таблица 4
Результаты измерения резонансных характеристик цепи при $R=100$ Ом

$U_g = 1,8$ В	$R = 100$ Ом
$L = 1$ мГн	$C = 100$ нФ
$R_{конт} = 0$ Ом	$R_{конт} = 100$ Ом

В соответствии с рисунком 3 не забудьте о необходимости последовательного контура. Проведите измерения сопротивления R равной 100 Ом, используя значения индуктивности L и емкости C , рассчитайте резонансную частоту ω_0 и соответствующую частоту f_0 , после чего вычислите добротность индуктивного контура, считая, что $R_{конт} = R_{конт} = 0$. Нанесите таблицу 4, введите в нее полученные результаты.

Используя рисунок 10, измерьте сами измеренные резонансные характеристики $I(\omega)$ для исследуемого контура. Нанесите таблицу 5.

Таблица 5
Результаты измерения резонансных характеристик контура при $R=200$ Ом

f, ω	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	f_0	ω_0	I_0	φ
I, U_R											

3. Задача на проведение эксперимента

Задача 1. Постройте резонансные характеристики $I(\omega)$, $\varphi(\omega)$ и $z(\omega)$ последовательного $R-L-C$ контура при $R=100$ Ом в соответствии со схемой электрической принципиальной, используя монтажную схему (рисунк 5). Выберите амплитудно-фазовый индикатор в выходной цепи контура U_C . Затем, в соответствии со схемой электрической принципиальной, используя монтажную схему (рисунк 6), подключите измерительные приборы – вольтметр V1 и фазометр.

Рисунк 5 – Схема электрическая принципиальная (а) и монтажная (б) последовательного $R-L-C$ контура

Установите амплитуду колебаний на выходе генератора гармонических колебаний 4,24 В. Этим амплитуде соответствует действующее напряжение на выходе генератора 3 В. Установите частоту колебаний действующего напряжения на выходе генератора 10 Гц. Установите частоту колебаний действующего напряжения на выходе генератора 10 Гц. Установите частоту колебаний действующего напряжения на выходе генератора 10 Гц. Установите частоту колебаний действующего напряжения на выходе генератора 10 Гц.

Сверните частоту резонанса f_0 . Для этого установите частоту колебаний генератора $G2$, при которой разность фаз сигналов, измеренная фазометром, будет равна 0°. Полученные значения частоты и величины напряжения, измеренного вольтметром V1, занесите в таблицу 1. Частоту генератора измените в диапазоне 0,010...9,990 Гц.

Установите граничные частоты пропускания контура ω_1 и ω_2 . Для этого в том же диапазоне установите величину частоты колебаний генератора $G2$, при которых показания вольтметра будут составлять $\sqrt{2}U_g$ и $\sqrt{2}U_g$ соответственно. Полученные значения частоты и величины напряжения, измеренные вольтметром V1 на этих частотах, занесите в таблицу 1.

По экспериментальным полученным данным нарисуйте графики зависимостей $I(\omega)$ и $\varphi(\omega)$ после чего построьте резонансные характеристики $I(\omega)$, $\varphi(\omega)$ и $z(\omega)$ у каждой кривой сделайте пометку: $R=100$.

Задача 2. Постройте резонансные характеристики $I(\omega)$, $\varphi(\omega)$ и $z(\omega)$ последовательного $R-L-C$ контура при $R=200$ Ом. Для этого выключите тумблер на рисунке 1, включите в цепь контура резистор 200 Ом и занесите таблицу 2. Выполните необходимые вычисления и построьте резонансные характеристики $I(\omega)$, $\varphi(\omega)$ и $z(\omega)$ на тех же графиках, которые были начерчены при выполнении задачи 1. У каждой кривой сделайте пометку: $R=200$.

Задача 3. Постройте резонансные характеристики $I(\omega)$, $\varphi(\omega)$ и $z(\omega)$ последовательного $R-L-C$ контура, схема электрическая принципиальная которого изображена на рисунке 7, а.

Рисунк 7 – Схема электрическая принципиальная (а) и монтажная (б) измерения резонансных характеристик последовательного $R-L-C$ контура при $R=100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000$ Ом.

Задача 4. Постройте резонансные характеристики $I(\omega)$, $\varphi(\omega)$ и $z(\omega)$ последовательного $R-L-C$ контура при $R=100$ Ом, используя монтажную схему (рисунк 8). Измените частоту колебаний действующего напряжения на выходе генератора 10 Гц. Установите частоту колебаний действующего напряжения на выходе генератора 10 Гц. Установите частоту колебаний действующего напряжения на выходе генератора 10 Гц.

Соберите цепь, установите тумблер переменной резистора в крайнее правое положение (его сопротивление при этом будет составлять 5 кОм). Подключите фазометр с его помощью определите резонансную частоту и граничные частоты пропускания контура, а затем – величину фазового сдвига $\varphi(\omega)$ для частот, указанных в первой колонке таблицы 4. Затем отключите фазометр, подключите вольтметр V1 в проводные измерения U_C для всех значений частот, указанных в первой колонке этой таблицы. Воспользуйтесь рисунком 9 для проверки правильности подключения измерительных приборов.

Рисунк 8 – Схема электрическая принципиальная (а) и монтажная (б) измеренного $R-L-C$ контура

Изменяйте сопротивление в диапазоне 1, и полученные результаты занесите в соответствующую колонку этой таблицы.

Плотно замыкайте контакты колебаний генератора G2 в окрестности резонансной частоты f_0 , выведите частоту f_0 для которой будет выполняться условием напряжения U_C . Полученные значения занесите в последнюю колонку таблицы 5.

Постройте графиками резонансных характеристик $I(\omega)$, $\varphi(\omega)$.

Рисунк 9 – Схема электрическая принципиальная (а) и монтажная (б) измерения резонансных характеристик последовательного $R-L-C$ контура

В соответствии с монтажной схемой соберите цепь и подключите измерительные приборы. Измените амплитуду действующего напряжения на выходе генератора 10 Гц. Установите частоту колебаний действующего напряжения на выходе генератора 10 Гц. Установите частоту колебаний действующего напряжения на выходе генератора 10 Гц.

5. Вопросы для самопроверки и подготовки к защите и отчету

1. Как рассчитать добротность последовательного контура?
2. В каком случае измерения на отрывных элементах цепи могут быть более точными на выходе контура?
3. Что такое полосу пропускания контура?
4. Каким способом можно определить граничные частоты?
5. Как найти равновесное сопротивление контура на граничной полосе пропускания, если известно сопротивление контура на частоте резонанса?
6. От чего зависит значение частот, в которых $U_C = U_g \sqrt{2}$?
7. Нарисуйте схему и используйте измерительные свойства контура, обеспечивающие ослабление сигнала в определенной полосе частот.
8. Объясните влияние величины R и L на величину добротности контура (рисунк 5).
9. Как следует изменять параметры колебательного контура, чтобы изменить f_0 , не меняя полосу пропускания?

Рисунк 10 – Схема электрическая принципиальная (а) и монтажная (б) измерения резонансных характеристик последовательного $R-L-C$ контура

- Кафедра
«Теоретические основы электротехники»
МГТУ им. Н.Э. Баумана
- ChipExpo, Российская неделя электроники, Москва,
1–3 ноября 2011 г.
- 11-й Всероссийский форум
«Образовательная среда-2009»,
Москва, 29 сентября - 2 октября 2009 г.
- 12-й Всероссийский форум
«Образовательная среда-2010»,
Москва, 28 сентября - 1 октября 2010 г.
- Ежегодный журнал «Всё для образования» 2011 г.
- 2-nd Conference Education,
Research and Development
September, 2011, Sunny Beach, Bulgaria.



ЭЛЕКТРОНИКА
КОМПОНЕНТЫ • ОБОРУДОВАНИЕ • ТЕХНОЛОГИИ
ChipEXPO-2011



*Scientific Events 2011,
Sunny Beach Resort,
Bulgaria*



Контактная информация

ООО "Ингениум"

142703, Московская область, Ленинский район,
г. Видное, ул. Донбасская, дом 2,
«Бизнес-центр "Дон", офис 305
(495) 223-68-63, 541-88-85 *305
www.ingeni.org



Разработано в Лаборатории лазерных информационных систем
МГТУ им. Н.Э. Баумана
www.llis.bmstu.ru

