

Применение виртуальной электротехнической лаборатории для изучения резонанса напряжений в электрической цепи

Колистратов М.В., НИТУ МИСиС
kolistratov-mv@yandex.ru

Белобоква Ю.А., МГТУ имени Н.Э. Баумана
yulya.belobokova@mail.ru

Аннотация

В статье рассматривается работа виртуальной лаборатории, разработанной с использованием программы *LabVIEW* и предназначенной для исследования резонанса напряжений в электрической цепи.

1 Введение

Важной частью изучения электротехники является практическая работа студентов, т.е. выполнение ими лабораторных работ по различным разделам курса. Учитывая существующую проблему износа и поломки элементов физических электротехнических стендов, можно сказать, что создание виртуальной лаборатории является неплохой альтернативой для проведения лабораторных работ.

Для решения этой задачи с помощью программного обеспечения *LabVIEW* было разработано приложение, представляющее собой виртуальный тренажер и позволяющее смоделировать работу реальной электротехнической схемы [Колистратов, 2016].

2 Виртуальная лаборатория

Для удобства использования в учебном процессе виртуальная лабораторная работа должна соответствовать ряду критериев:

- отсутствие необходимости установки дополнительного специализированного программного обеспечения;
- дружественный интерфейс;
- интерактивность, вариативность и динамичность;
- соответствие полученного результата поставленной в работе цели.

Следует отметить, что программно-математическое моделирование не показывает работу цепи как электротехнического устройства, иллюстрируя при этом характер процесса резонанса.

Рассмотрим работу разработанного с помощью программного обеспечения *LabVIEW* виртуального тренажера, предназначенного для самостоятельного изучения свойств цепи синусоидального тока с последовательно включенными резистором, индуктивностью и емкостью.

2.1 Резонанс напряжений в электрической цепи

Режим электрической цепи при последовательном соединении участков с катушкой индуктивности L и конденсатором с емкостью C , при котором цепь ведёт себя как чисто резистивная из-за равенства индуктивного и емкостного сопротивлений, называют *резонансом напряжений*.

Электрический резонанс напряжений широко используется в технике электросвязи, поскольку такая цепь представляет собой фильтр средних частот [Ситников, 2017]. Следует также отметить, что в установках, где его возникновение специально не предусмотрено, резонанс может оказаться опасным из-за возможного перенапряжения и пробоя изоляции.

Резонанс напряжений возникает на определенной для данной цепи частоте вынужденных колебаний ω_p , также называемой резонансной.

При ненулевой частоте сигнала в цепи у индуктивных и емкостных элементов появляются частотнозависимые реактивные сопротивления, вычисляемые по формулам

$$X_L = \omega L \quad (1)$$

$$X_C = 1 / \omega C \quad (2)$$

Как указано выше, при резонансе $X_L = X_C$, следовательно, заменяя частоту ω на резонансную ω_p , получим

$$\omega_p L = \frac{1}{\omega_p C} \quad (3)$$

Из выражения (3) видно, что резонанс напряжений в цепи можно установить двумя путями:

- изменением параметров индуктивности L и емкости C (или одного из них, или обоих одновременно) при постоянной частоте источника питания цепи;
- изменением частоты источника питания при постоянных значениях L и C .

Реактивные сопротивления с изменением частоты меняются, как видно из формул (1) и (2). При увеличении частоты X_L увеличивается пропорционально частоте, а X_C уменьшается по закону обратной пропорциональности.

Принимая во внимание закон Ома для участка цепи, отметим, что величины напряжений на индуктивностях и на ёмкостях зависят от значения реактивных сопротивлений.

Напряжение на конденсаторе U_C при $\omega = 0$ равно напряжению на зажимах источника U , так как сопротивление конденсатора $X_C = \infty$, что соответствует разрыву цепи на его зажимах. С ростом частоты U_C увеличивается, достигая наибольшей величины при частоте, несколько меньшей резонансной, и далее уменьшается до нуля при $\omega = \infty$

Индуктивное напряжение $U_L = 0$ при частоте $\omega = 0$, так как сопротивление $X_L = 0$. Увеличение частоты ведет к увеличению U_L , которое при частоте, несколько большей резонансной, достигает максимума, а затем уменьшается до величины напряжения источника при $\omega = \infty$, когда $X_L = \infty$, что соответствует разрыву цепи на зажимах катушки.

Большой практический интерес представляют зависимости напряжений и токов на отдельных элементах цепи от частоты, поэтому при разработке виртуального тренажёра необходимо было предусмотреть приборы, отображающие значения тока и напряжений.

2.2 Интерфейс виртуального тренажёра

Рассмотрим элементы интерфейса разработанной виртуальной лаборатории, необходимые для решения поставленных в работе задач.

При разработке виртуального тренажёра были заложены возможности:

- изменения частоты подаваемого в сеть напряжения источника;
- изменения параметров индуктивности катушки и емкости конденсатора;

- визуализации временных и векторных диаграмм;
- демонстрации значений напряжений, тока и мощности в рассматриваемой электрической цепи.

При запуске виртуальной лаборатории на вкладке «Приборы» (рис. 1) с помощью ручек управления задаются нужные значения частоты сети f , индуктивности L и емкости C .

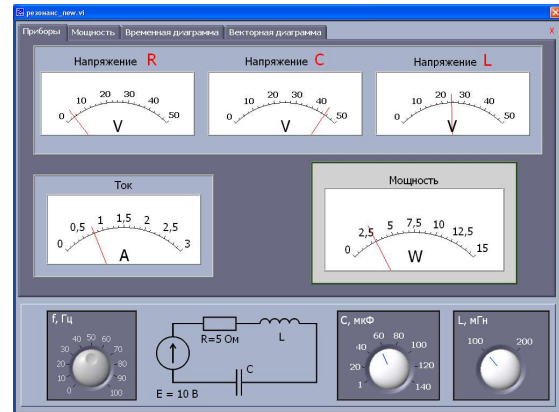


Рис. 1. Вкладка «Приборы»

При этом виртуальные вольтметры показывают напряжения на различных элементах смоделированной схемы, а амперметр – величину тока в цепи. Работа виртуальных измерительных приборов соответствует характеру работы аналогичных им реальных.

При равенстве значений напряжений L и C в цепи возникает резонанс. Перейдя на вкладку «Временная диаграмма» (рис. 2), можно увидеть отображение синусоидального напряжения и тока в исследуемой цепи. Регулируя величины частот и параметры элементов, можно увидеть изменение их взаимного расположения сигналов (разность начальных фаз), а также изменение их амплитуд.

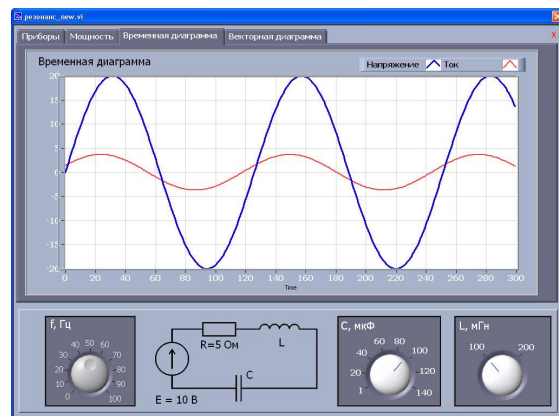


Рис. 2. Вкладка «Временная диаграмма»

Перейдя на вкладку «Векторная диаграмма», можно увидеть расположение векторов напряжения и тока на комплексной плоскости [Ситников, 2017] в исследуемой цепи. На рисунке 3 показан режим, при котором величина индуктивного сопротивления конденсатора превышает величину емкостного сопротивления. Регулируя параметры частоты, индуктивности и емкости, можно добиться совпадения направления векторов тока и напряжения, что соответствует резонансу.

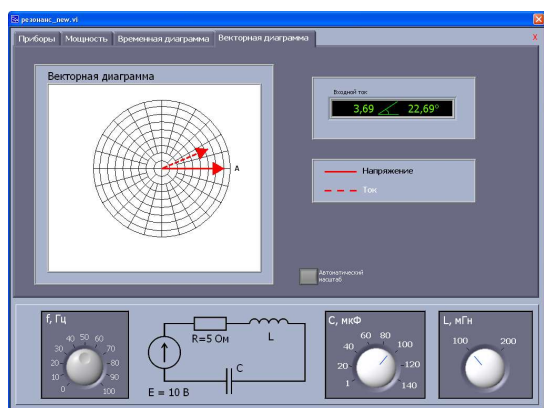


Рис. 3. Вкладка «Векторная диаграмма»

Виртуальный тренажёр позволяет определить не только значение активной мощности в электрической цепи, которое можно увидеть и с помощью реального ваттметра. При создании виртуального тренажера была математически описана работа измерительных приборов, которые могут показывать значения реактивной и полной мощностей, а также коэффициента мощности, благодаря чему студенты могут увидеть значения этих параметров (рис. 4), чего нельзя добиться при использовании реальных аналоговых приборов.

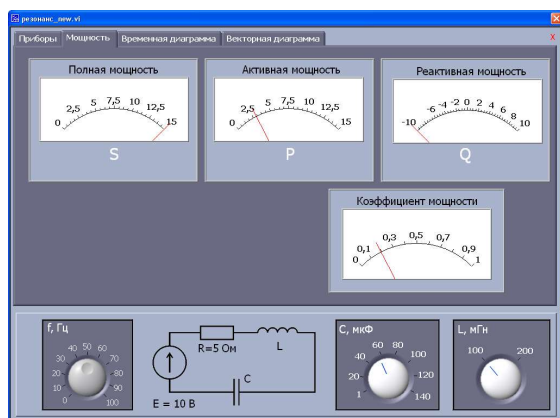


Рис. 4. Вкладка «Мощность»

3 Выводы

К плюсам разработанного тренажера следует отнести:

- возможность визуализации ряда параметров, которые невозможно получить при использовании существующих измерительных приборов;
- исключения повреждения реального электротехнического стенда при некорректном выполнении лабораторной работы (превышении значений рекомендуемых токов и напряжений в исследуемой цепи);
- возможность моделирования аварийных режимов, которые невозможно исследовать на реальном оборудовании.

К минусам использования виртуальной лаборатории можно отнести отсутствие навыка работы с реальным электротехническим стендом. Следует помнить, что, например, модель катушки индуктивности не учитывает резистивных и емкостных свойств реальной катушки, что влияет на точность установления режима резонанса в реальной цепи, а погрешности виртуальных измерительных приборов отличаются от погрешностей их реальных аналогов. Но при усовершенствовании виртуального тренажера можно внести поправки, учитывающие реальные свойства моделируемых элементов с достаточной степенью приближения.

С учётом указанных достоинств и недостатков можно сказать, что при корректном моделировании виртуального тренажера с учетом физической основы работы реальных измерительных приборов и механизма наступления режима резонанса виртуальная лаборатория может послужить корректной заменой реальной лаборатории для студентов неэлектротехнических специальностей, а также при возможном выходе из строя оборудования электротехнических стендов.

Список литературы

Колистратов М.В., Сивкова А.А.. *Изучение резонанса напряжений в электрических цепях с использованием электронной лаборатории*. Сборник материалов Международной научно-практической конференции, секции «Инновационные технологии в образовании, науке и бизнесе». 11-12 апреля, 2016г. – Алматы: Университет «Нархоз», 2016 С. 58–62.

Ситников, А.В. *Основы электротехники: учебник для студ. учреждений СПО*. М.: КУРС, ИНФРА-М, 2017. – 286 с.