

ПРАКТИЧЕСКОЕ ИСПОЛНЕНИЕ РЕЗОНАНСА НАПРЯЖЕНИЙ

Иванькович М.С., Столяр И.В.

*Учреждение образования «Белорусский Государственный университет информатики и радиоэлектроники»
филиал «Минский радиотехнический колледж»*

г. Минск, Республика Беларусь

*Научный руководитель: Молчан Л.В. – преподаватель высшей категории
дисциплин общепрофессионального цикла*

Аннотация. Разработка экспериментального устройства, позволяющего формировать резонансную частоту в последовательном колебательном контуре. Резонанс, происходящий в последовательном колебательном контуре, возникает при совпадении частоты источника напряжения с частотой колебательного контура. Предложена разработка устройства, позволяющего формировать резонансную частоту контура на основе генератора Вина.

Ключевые слова: реактивное сопротивление, частота резонанса, резонансный контур, емкость, индуктивность, коэффициент мощности, мост Вина

Резонанс напряжений возникает в цепях переменного тока с последовательным соединением в цепи конденсатора и катушки индуктивности (рисунок 1).

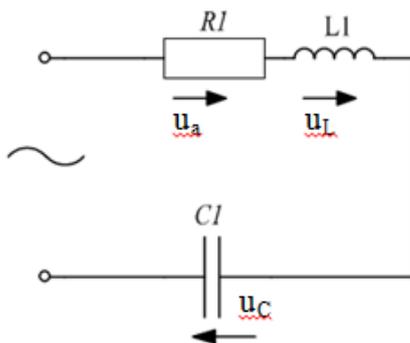


Рисунок 1 – Схема резонансного контура

Такое соединение индуктивности и емкости формирует колебательный контур, в котором может возникнуть резонанс напряжений при определенном условии. Этим условием является равенство реактивных сопротивлений катушки X_L и конденсатора X_C . При резонансе напряжений амплитуда колебаний резко возрастает. То есть происходит резкий всплеск напряжений на этих элементах. Это может вызвать разрушение элементов электрической цепи.

Резонанс может также возникнуть, если частота вынужденных колебаний ω_0 совпадет с собственной частотой колебательного контура $\omega_{рез}$ (1):

$$\omega_{рез} = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \omega_0 \quad (1)$$

где L – индуктивность катушки,
 C – емкость конденсатора

На основе этой формулы можно определить частоту $f_{рез}$ (2):

$$f_{рез} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (2)$$

Из формул (2) и (3) видно, что частота колебательного контура зависит непосредственно от параметров самого контура L и C . При резонансе полное сопротивление цепи Z будет

минимальным и равно активному сопротивлению, так как в силу противоположности действий реактивных элементов, алгебраическая сумма их сопротивлений будет равна нулю.

В соответствии с законом Ома получается, что ток резонанса становится максимальным. Напряжения на катушке U_L и на конденсаторе U_C при резонансе равны, так как их сопротивления равны (3):

$$U_L = IX_L = IX_C = U_C \quad (3)$$

Это равенство и определяет название явления в последовательном контуре «Резонанс напряжений». Так как U_L и U_C равны по величине и находятся в противофазе, то полное напряжение цепи равно активному напряжению U_a , то есть $U = U_a$ (рисунок 1). При резонансе напряжений напряжения на элементах U_L и U_C могут оказаться больше, чем входное напряжение цепи U .

Классическим примером применения резонанса колебательных контуров является настройка радиоприёмника на частоту соответствующей радиостанции. В качестве рабочего элемента настроечного узла используется конденсатор с регулируемой ёмкостью. Вращение ручки настройки изменяет ёмкость конденсатора, а значит и резонансную частоту контура. В момент совпадения резонансной частоты с рабочей частотой какой-либо радиостанции возникает резонанс напряжений, в результате которого резко возрастает амплитуда колебаний принятой радиоприёмником частоты. Специальные фильтры отделяют эти колебания от несущих радиочастот, а усилители усиливают полученные сигналы. В динамике появляются звуки, генерируемые передатчиком радиостанции. Резонанс можно увидеть и в фильтрах частот, например: полосовой фильтр и заграждающий фильтр [1].

Резонанс представляет собой интересное физическое явление. Для практической реализации резонансного контура было решено разработать схему и собрать опытную установку для изучения механизма возникновения резонанса напряжений.

В самом начале проекта было принято решение сделать установку, которая питалась бы от 220 В при частоте сети 50 Гц, то есть от розетки. Но это было экономически не выгодно. Сложности возникли в соотношении оптимальных параметров элементов, их количества и стоимости. После анализа имеющихся схем, которые могли бы лечь в основу разработки устройства, их конструктива и рабочих параметров, было решено собрать генератор частот на основе моста Вина (рисунок 2).

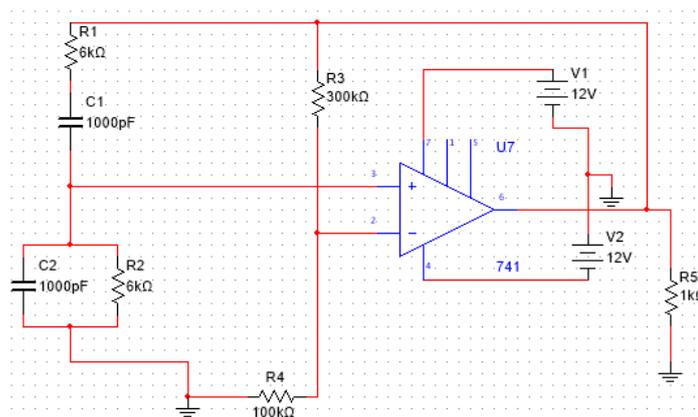


Рисунок 2 – Генератор моста Вина

Полный мост Вина включает в себя две половины. Левая половина – элементы C_1 , R_1 , C_2 , R_2 , правая – элементы R_3 , R_4 . Частотно-зависимой (избирательной) является левая половина, и ее коэффициент передачи (частотная характеристика) $K\omega$ целиком определяет избирательные свойства моста Вина. Коэффициент передачи правой половины постоянен (не зависит от частоты), так как определяется только резисторами R_3 , R_4 .

Если величины сопротивлений R_1 , R_2 , а также ёмкости C_1 , C_2 не слишком сильно различаются, то такая цепь имеет сглаженный квазирезонанс, то есть коэффициент передачи напряжения от правого по схеме вывода R_1 (входной сигнал) в точку соединения R_2 , C_1 , C_2 (выходной сигнал) имеет максимум на некоторой частоте [2].

При равенствах

$$\begin{aligned} R_1 &= R_2 = R \\ C_1 &= C_2 = C \end{aligned}$$

частота квазирезонанса равна (4):

$$f = \frac{1}{2\pi RC} \quad (4)$$

На частоте квазирезонанса фазовый сдвиг выходного сигнала моста Вина относительно входного сигнала равен нулю, а модуль коэффициента передачи равен $1/3$. Если включить в петле обратной связи, охватывающей вход и выход моста Вина, активный неинвертирующий усилительный элемент, в идеале не имеющий фазового сдвига, с коэффициентом передачи более 3, то в контуре возникнут нарастающие до бесконечности по амплитуде автоколебания, так как в этом контуре не выполняется критерий устойчивости для линейных систем. При коэффициенте передачи в контуре обратной связи менее 3 случайно возникшие колебания затухают, так как в этом случае система устойчива.

Таким образом, для поддержания синусоидальных колебаний с малыми отклонениями от синусоиды в этом генераторе необходимо, после установления колебаний с желаемой амплитудой, строго поддерживать коэффициент передачи по напряжению активного усилительного элемента точно равным 3.

Пассивный мост Вина без усилителя неэффективен. В качестве активного усилительного элемента использован операционный усилитель (ОУ), включенный для генерируемого сигнала по схеме неинвертирующего усилителя [2].

Выходной ток подается на нагрузку R_5 , резисторы R_1 , R_2 взяты подстроечные, чтобы можно было изменять сопротивления от 6 Ом до 17,5 Ом. Получаемый генератор обеспечивает частоту от 6,28 кГц до 12,675 кГц. Меняя сопротивления R_1 и R_2 , можем получить частоту выходного тока, которая обеспечит в колебательном контуре резонанс напряжений.

На основе анализа принципа действия генератора Вина и условий исходной задачи собрать устройство, обеспечивающее реализацию механизма возникновения резонанса напряжений, решено предварительно собрать схему на основе ПО MultiSim. При сборке схемы учитывались параметры электрорадиоэлементов, отобранных для конструирования самого устройства. Для усиления моста Вина выбран ОУ на микросхеме КР140УД708, для колебательного контура – катушка индуктивности L_1 на 100 мкГн и конденсатор на 2.7 мкФ (рисунок 3).

В процессе экспериментов резонанс напряжений получен. Напряжения U_L и U_C практически равны. Напряжения на резисторе R_5 равно напряжению контура. Несущественная разница в сотые доли произошло из-за того что у катушки и конденсатора не указан допуск.

По результатам показаний виртуальных измерительных приборов, можно судить об успешности работы смоделированного устройства. Остается собрать реальную действующую модель. Такое устройство можно использовать в ходе изучения процессов, происходящих в однофазных цепях переменного тока. Демонстрация изменяющихся параметров колебательного контура позволяет более наглядно показать, как проявляет себя резонанс напряжений.

Колебательные контуры, построенные на принципе последовательного соединения LC-элементов, применяются в цепях питания высокоомных нагрузок, потребляющих токи повышенного напряжения. Такие же устройства применяют в полосовых фильтрах. Последовательный резонанс применяют при пониженных напряжениях сети. В этом случае используют реактивную энергию обмоток трансформатора, соединённых последовательно.

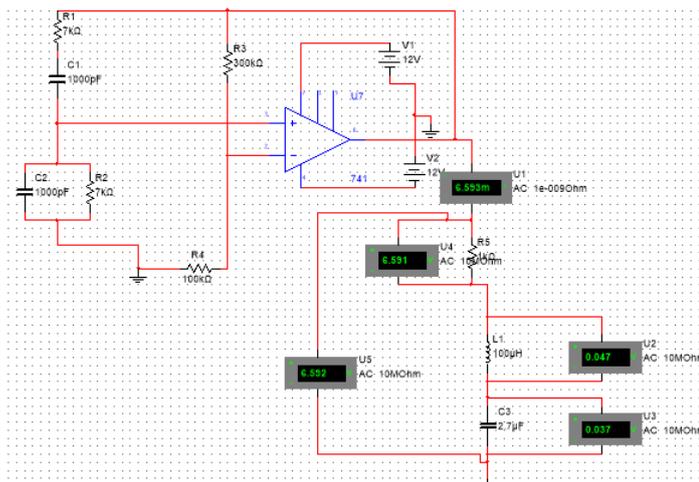


Рисунок 3 – Схема устройства на генераторе Вина и с резонансным контуром

Конденсаторы и различные катушки индуктивности входят в конструкцию практически всех аналоговых устройств. Они используются для настройки фильтров или для управления токами в отдельных узлах.

Список литературы

1. Макаров, Д. Резонанс переменного электрического тока // Заметки электрика [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.asutpp.ru/rezonans-peremennogo-elektricheskogo-toka.html>. Дата доступа : 02.04.2022
2. Бобров, И. И. Электронные генераторы. Фильтры: учеб.пособие [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://www.docme.su/doc/1361609/2046.e-lektronnnye-generatory-fil_try-uchebnoe-posobie Дата доступа : 02.04.2022

UDK 621.3.015.4

PRACTICAL IMPLEMENTATION OF VOLTAGE RESONANCE

Ivankovich M, Stolyar I.

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics" branch "Minsk RadioEngineering College",
Minsk, Republic of Belarus*

Molchan L.V. – teacher of the highest category of disciplines of the general professional cycle

Annotation. Development of an experimental device that makes it possible to form a resonant frequency in a series oscillatory circuit. The resonance that occurs in a series oscillatory circuit occurs when the frequency of the voltage source coincides with the frequency of the oscillatory circuit. The development of a device that makes it possible to form the resonant frequency of the circuit based on the Wien generator is proposed.

Keywords: reactance, resonance frequency, resonant circuit, capacitance, inductance, power factor, Wien bridge