

УДК 621.3.014.8

## УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЯВЛЕНИЯ РЕЗОНАНСА В ПАРАЛЛЕЛЬНОМ КОЛЕБАТЕЛЬНОМ КОНТУРЕ

Басай А.С., Грудский Е.А.

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 электронного устройства, позволяющего исследовать резонанс токов в параллельном колебательном контуре. Известно, что резонанс, происходящий в параллельном колебательном контуре, возникает при его подключении к источнику напряжения, частота которого совпадает с резонансной частотой контура. Для практической реализации резонансного контура предложена схема с генератором частот с мостом Вина.

**Ключевые слова:** реактивное сопротивление, частота резонанса, резонансный контур, емкость, индуктивность.

Электрическая цепь переменного тока, в которой имеются индуктивность и емкость, может служить колебательным контуром, в котором возникает процесс колебаний электрической энергии. При этом энергия будет совершать переход из индуктивности в емкость и обратно. Явление резонанса токов широко применяется в радиоэлектронике, в виде различных фильтров. Применение таких фильтров является, например, основным способом настройки приемника на определенную волну.

Основное применение резонанса токов в радиотехнике — создание большого сопротивления для тока определенной частоты в ламповых генераторах и усилителях высокой частоты. В электротехнике резонанс токов используется с целью достижения высокого коэффициента мощности нагрузок, обладающих значительными индуктивными и емкостными составляющими.

Например, установки компенсации реактивной мощности (КРМ) представляют собой конденсаторы, подключаемые параллельно обмоткам асинхронных двигателей и трансформаторов, работающих под нагрузкой ниже номинальной. К таким решениям прибегают с целью достижения резонанса токов, чтобы реактивная энергия циркулировала между конденсаторами и оборудованием, а не между оборудованием и сетью; чтобы сеть отдавала энергию только тогда, когда оборудование нагружено и потребляет активную мощность. Резонанс токов наблюдается в таких цепях, где индуктивность и емкость соединены параллельно (рисунок 1).

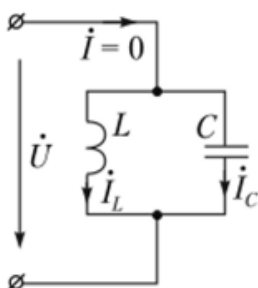


Рисунок 1 – Схема резонансного контура с параллельным подключением индуктивности и емкости

Явление заключается в протекании токов большой величины между конденсатором и катушкой, при нулевом токе в неразветвленной части цепи. Это объясняется тем, что при достижении резонансной частоты полное сопротивление цепи  $Z$  возрастает. В точке резонанса достигается максимальное полное сопротивление  $Z$ , после чего одно из реактивных со-

противлений увеличивается, а другое снижается в зависимости от того растет или снижается частота источника. Это наглядно отображено на графике (рисунок 2) [1]:

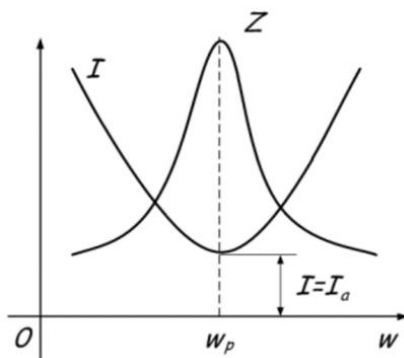


Рисунок 2 – График изменения тока в зависимости от сопротивления цепи

Параллельный резонансный контур представляет собой для тока  $I$  бесконечно большое сопротивление и электрическая энергия в контур от источника не поступает. Однако внутри контура протекают токи  $I_C$  и  $I_L$ , и происходит процесс непрерывного обмена энергией внутри контура. Эта энергия переходит из индуктивности в емкость и обратно. Так как между реактивными проводимостями  $b_C$  и  $b_L$  и частотой источника имеется прямая зависимость, то изменяя значения емкости  $C$  или индуктивности  $L$ , можно изменять частоту колебаний электрической энергии и тока в контуре, т. е. осуществлять настройку резонансного контура на требуемую частоту [2].

Формула частоты резонанса токов (1) имеет следующий вид:

$$\omega_p = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}} \sqrt{\frac{\frac{L}{C} - R_1^2}{\frac{L}{C} - R_2^2}}, \quad (1)$$

где  $R_1$  – активное сопротивление катушки индуктивности,

$R_2$  – активное сопротивление конденсатора.

Резонансная частота зависит не только от параметров колебательного контура, но и от активных сопротивлений в его ветвях. Если бы в ветвях, в которых включены индуктивность и емкость (рис.1), не было активного сопротивления (то есть мы имели бы дело с идеальными катушкой и конденсатором), процесс колебания энергии между катушкой и конденсатором продолжался бы бесконечно долго, т. е. в контуре возникли бы незатухающие колебания энергии и токов  $I_C$  и  $I_L$ .

Однако реальные катушки индуктивности и конденсаторы имеют активное сопротивление (на обкладках конденсатора и проводе катушки), поэтому всегда поглощают электрическую энергию. Вследствие этого, в реальный контур при резонансе токов поступает от источника некоторая электрическая энергия и по неразветвленной части цепи протекает ток  $I$ .

В процессе изучения электротехники вопрос резонанса в цепях переменного тока является достаточно сложным для восприятия многими учащимися. Для демонстрации явления резонанса токов спроектировано электронное устройство, которое позволит наглядно представить механизм возникновения резонанса и его последствия.

В качестве элементов резонансного контура были выбраны значения параметров катушки индуктивности и конденсатора, не вступающие в резонанс при частоте, подаваемой блоком питания из розетки (50–60 Гц). Для того, чтобы можно было обеспечить возникновение резонанса, было принято решение собрать генератор частот с мостом Вина. Также был добавлен двуполярный источник питания вместо однополярного для оптимальной работы схемы и создания необходимых значений. Предварительно схема конструируемого устройства была создана на основе ПО Multisim (рисунок 3). Данное программное обеспечение поз-

воляет интерактивно разрабатывать и моделировать электронные схемы. На основе анализа результатов симуляции работы схемы можно до момента сборки устройства, определить корректность работы схемы и скорректировать ошибки.

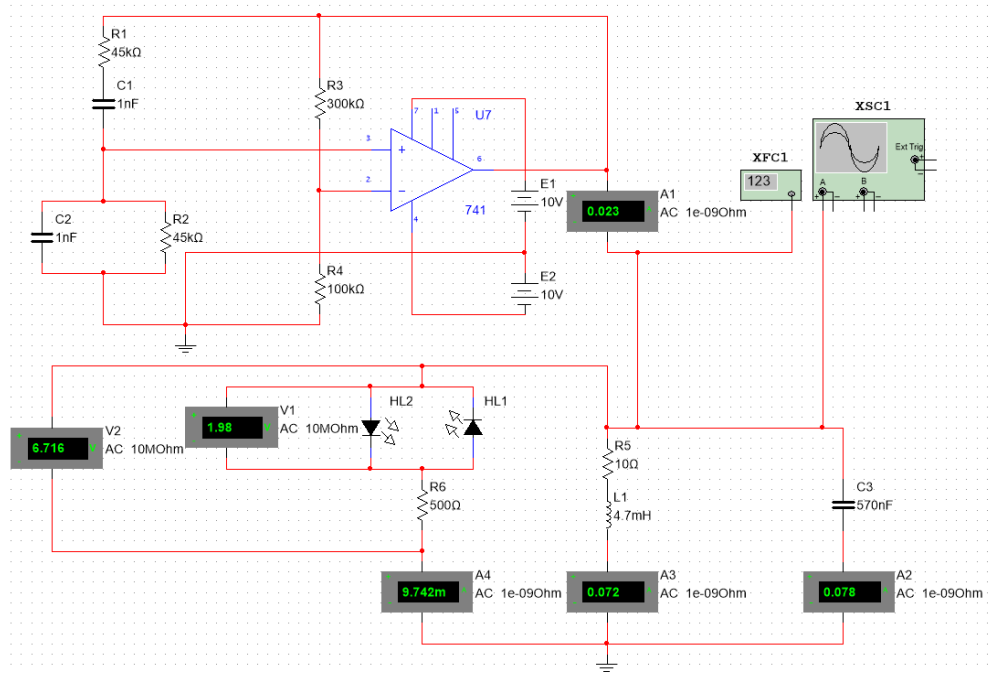


Рисунок 3 – Принципиальная схема генератора с мостом Вина и ОУ и резонансного контура

От источника двуполярного питания E1, E2 ток идёт на среднюю точку схемы и входы (7,4 – питание и земля соответственно) операционного усилителя (в последующем – ОУ, микросхема КР140УД708), где генерируется гармоничный (синусоидальный сигнал), выходящий на контакте 6, после чего разветвляется.

Часть сигнала уходит в участок цепи с мостом Вина, состоящий из двух фильтров частот C1, R1; C2, R2 и делителя напряжений R3, R4, пропускающих частоту, регулируемую значениями сопротивлений на резисторах R1, R2, в то время как остальные частоты проходят вновь на мост Вина, усиливаясь, пока не станут равными значению, которые выходят из ОУ. Далее частоты подаются на не инвертирующий и инвертирующий входы (3, 2 соответственно), после чего усиливаются в ОУ, проходя дальше, либо фильтруются повторно.

Амперметр A1 показывает выходной ток ОУ, а после него установлен частотометр, фиксирующий выходную частоту ОУ (рисунок 4).

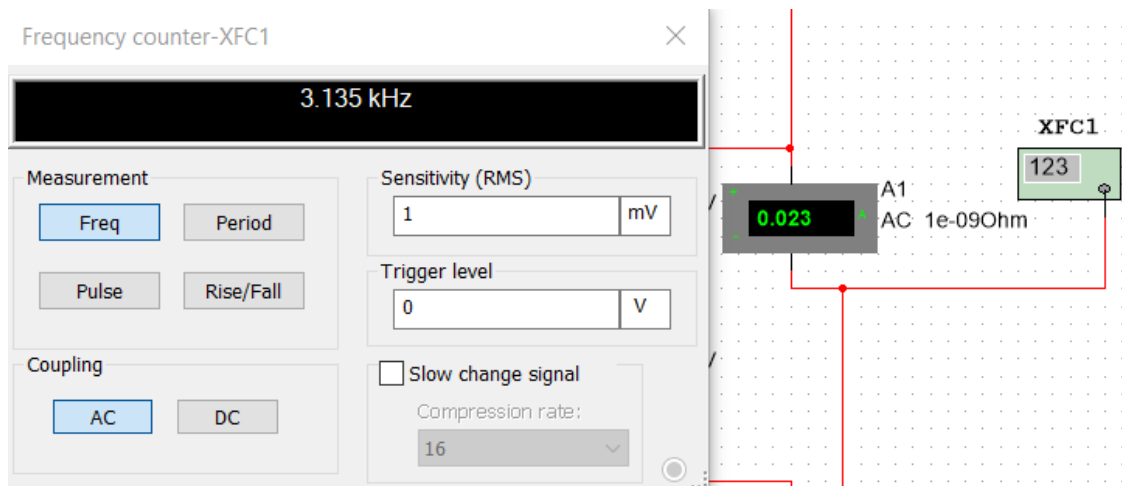


Рисунок 4 – Измерения частотометра

Далее переменный ток следует на резонансный контур (рисунок 5).

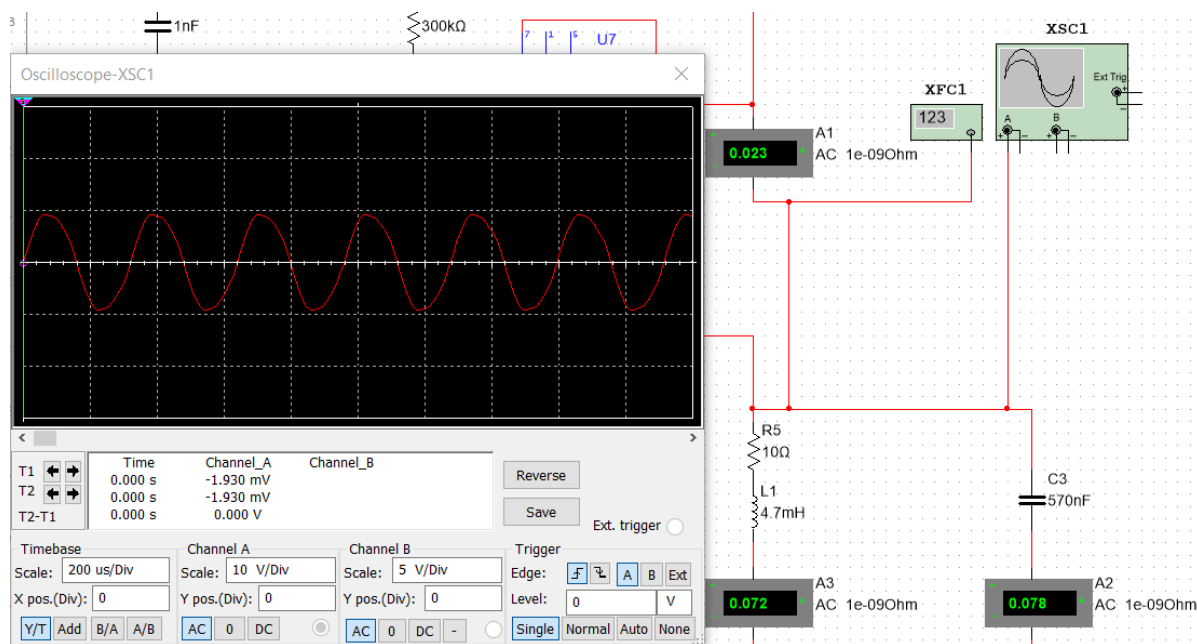


Рисунок 5 – Осциллограмма переменного тока на параллельном соединении катушки и конденсатора

Ток разветвляется в резонансный контур и на ветвь с активной нагрузкой. В резонансном контуре происходит взаимозаряд катушкой индуктивности L1 (R5 – сопротивление катушки) конденсатора C3 и наоборот, во время заряда происходит преобразование тока в магнитный поток и обратно в поток электронов. При наличии резонансной частоты сопротивление в резонансном контуре минимально, из-за чего ток возрастает (амперметры A2, A3).

Контур с активной нагрузкой R6, имеет меньший ток, чем выходной ток ОУ, и напряжение, не превышающее напряжения источника питания. Для наглядности перед R6 были поставлены противонаправленные светодиоды, которые выступают в роли индикатора параметров изменения значений напряжений и тока на резонансном контуре.

После анализа результатов работы разработанной схемы и некоторой ее корректировки, было собрано портативное устройство, позволяющее наглядно демонстрировать явление резонанса тока.

Практически вся силовая электротехника использует колебательный контур. Также он необходима для настройки работы телевизора, емкостного генератора, сварочного аппарата, радиоприемника, её применяет технология «согласование» антенн телевидения, где нужно выбрать узкий диапазон частот некоторых используемых волн. Схема RLC может быть использована в качестве полосового, режекторного фильтра, для датчиков для распределения нижних или верхних частот [4].

Резонанс тока может проявиться во многих случаях. Но где-то от него стараются избавиться, а где-то – наоборот, прибегают к его использованию. Несмотря на то, что в большинстве случаев резонанс оказывает пагубное воздействие на приборы, у этого явления есть не менее значимые возможности для практического применения.

### Список литературы

1. Что такое резонанс токов // Сам электрик [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://samelectrik.ru/chto-takoe-rezonans-tokov-i-napryazhenij.html>. Дата доступа : 30.03.2022
2. Резонанс напряжений и резонанс токов. Электротехника // Сайт об электротехнике [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://electrono.ru/peremennyj-tok/56-rezonans-napryazhenij-i-rezonans-tokov>. Дата доступа : 02.04.2022
3. Применение резонанса напряжений и резонанса токов // Школа для электрика [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://electricalschool.info/spravochnik/electroteh/1860-primeneniye-rezonansa-napryazhenij-i.html>. Дата доступа : 02.04.2022
4. 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

UDK 621.3.014.8

## **DEVICE FOR STUDYING THE PHENOMENON OF RESONANCE IN A PARALLEL OSCILLATORY CIRCUIT**

*Basai A.S., Grudski E.A.*

*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 electronic device that makes it possible to investigate the resonance of currents in a parallel oscillatory circuit. It is known that the resonance that occurs in a parallel oscillatory circuit occurs when it is connected to a voltage source, the frequency of which coincides with the resonant frequency of the circuit. For the practical implementation of the resonant circuit, a circuit with a frequency generator with a Wien bridge is proposed.

**Keywords:** reactance, resonance frequency, resonant circuit, capacitance, inductance.