

**УСТРОЙСТВО ИЗМЕРЕНИЯ АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНЫХ
ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМ, СОДЕРЖАЩИХ РЕАКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ
ПРИ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ЭКСПОГАРМОНИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ**

**DEVICE OF MEASUREMENT AMPLITUDE-FREQUENCY
CHARACTERISTICS OF SYSTEMS, CONTAINS REACTIVE ELEMENTS
UNDER PERIODIC EXPONHARMONICAL EXCITATIONS**

Аннотация. Усовершенствована структурная схема и предложена принципиальная схема устройства измерения амплитудно-частотных характеристик систем, содержащих LC- цепи с потерями при периодических экспогармонических воздействиях. Проведено измерение амплитудно-частотной характеристики фильтра нижних частот с потерями.

Summary. The block scheme is improved and electric scheme of device for measurement amplitude-frequency characteristics of systems, contains LC- circuits with losses under periodic expoharmonical excitation is offered. Amplitude-frequency characteristics of low-pass filter with losses is investigated.

При исследовании новых свойств радиотехнических цепей возникает проблема создания дополнительных установок, позволяющих осуществлять измерение характеристик электрических цепей при использовании новых физических явлений. К таким новым физическим явлениям относится явление выделения активной мощности реактивными элементами при экспофункциональных воздействиях [1, 2]. В работе [3] предложена схема передачи экспофункциональных сигналов по каналам связи. В работе [4] приводится упрощенная схема устройства для измерения амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) систем, содержащих цепи первого порядка при периодическом экспосинусоидальном воздействии. Однако в литературе отсутствуют сведения как о подробной структурной схеме, так и о технической реализации такого устройства. Поэтому целью данной работы является усовершенствование структурной схемы и создание пригодной для практического применения принципиальной схемы устройства измерения амплитудно-частотных характеристик систем, содержащих LC- цепи с потерями при периодических экспогармонических воздействиях.

Приемлемым как с точки зрения обеспечения точности, так и простоты реализации, является устройство измерения АЧХ, построенное по структурной схеме, представленной на рис. 1, где ГГС – генератор гармонических сигналов, ГПИ – генератор периодической последовательности прямоугольных импульсов, СВЗ – схема временной задержки импульсов на интервал Δt , $u_1(t)$ и $u_4(t)$ – сигналы на входе и выходе системы.

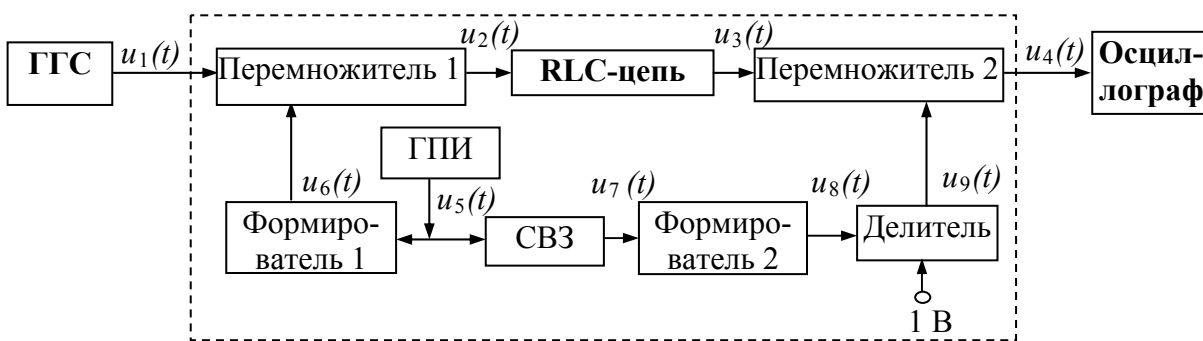


Рисунок 1 – Структурная схема устройства измерения АЧХ

Поместив исследуемую RLC-цепь в данное устройство, получим систему (обведена пунктиром на рис. 1), АЧХ которой необходимо исследовать. Процессы, происходящие в данной структурной схеме аналогичны процессам, описанным в [3, 4]. На рис. 2 представлены сигналы, действующие на выходе каждого блока структурной схемы. На выходе ГГС действует гармонический сигнал $u_1(t) = U_{1m} \sin(\omega_1 t + \varphi_1)$ с амплитудой U_{1m} и периодом $T_1 = 2\pi/\omega_1$, поступающий на вход

аналогового перемножителя 1. В перемножителе 1 сигнал $u_1(t)$ перемножается с сигналом $u_6(t)$, поступающим с выхода формирователя 1 периодической последовательности импульсов вида $Ue^{-\lambda t}$ [5] и представляющим собой периодическую (с периодом $T = mT_1$, где m – целое число) экспофункцию $f_T(t)$ [3]

$$f_T(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} e^{-\lambda_1(t-nT)} \{1(t-nT) - 1[t-(n+1)T]\},$$

где λ_1 – положительное, вещественное число; $1(t)$ – единичная функция; n – целое число. На выходе перемножителя 1 получается периодический сигнал $u_2(t)$, амплитуда которого в пределах периода T убывает по экспоненциальному закону. Полученный на выходе RLC-цепи периодический сигнал $u_3(t)$ в аналоговом перемножителе 2 перемножается с сигналом $u_9(t)$, поступающим с выхода делителя и представляющим собой периодическую (с периодом T) экспофункцию $f^1_T(t - \Delta t)$ [3]. На выходе перемножителя 2 получается периодический сигнал $u_4(t)$, поступающий на осциллограф. На осциллографе можно зафиксировать интервал времени в течении которого амплитуда U_{4m} постоянна и измерить ее значение. На выходе ГПИ действует периодическая последовательность

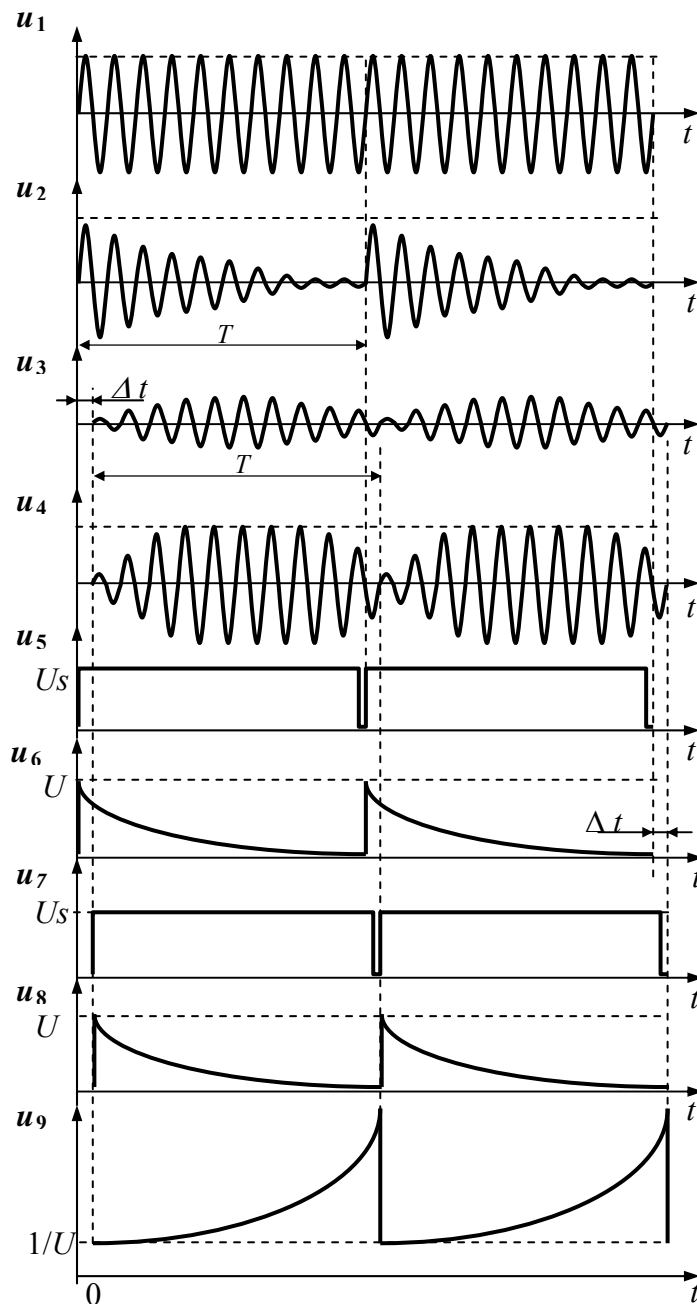


Рисунок 2 – Сигналы на выходе блоков устройства измерения АЧХ

прямоугольных импульсов $u_5(t)$ с амплитудой U_s , поступающих на вход формирователя 1 и на СВЗ. На выходе СВЗ получается периодическая последовательность прямоугольных импульсов $u_7(t)$, задержанных на интервал времени Δt , значение которого определяется экспериментально и равно задержке сигнала, вносимой RLC-цепью. ГПИ необходим для синхронизации формирователя 1 и формирователя 2 периодических последовательностей импульсов вида $Ue^{-\lambda t}$ [6]. Формирователь 2 формирует сигнал $u_8(t)$, полностью идентичный $u_6(t)$ и задержанный на Δt , поступающий на вход аналогового делителя. В делителе происходит деление напряжения, равного одному вольту, на сигнал $u_8(t)$, что приводит к формированию на выходе делителя сигнала $u_9(t)$. АЧХ такой системы можно измерить по отсчетам: каждому фиксированному значению частоты сигнала $u_1(t)$, задаваемому ГГС, будет соответствовать новое значение отношения амплитуды U_{4m} к амплитуде U_{1m} .

Перейдем к реализации структурной схемы, показанной на рис. 1, используя известные схемотехнические решения. Для сборки, испытания и отладки принципиальной схемы устройства использована среда моделирования Multisim. Полученная принципиальная схема устройства представлена на рис. 3. Приведем краткое описание принципиальной схемы устройства.

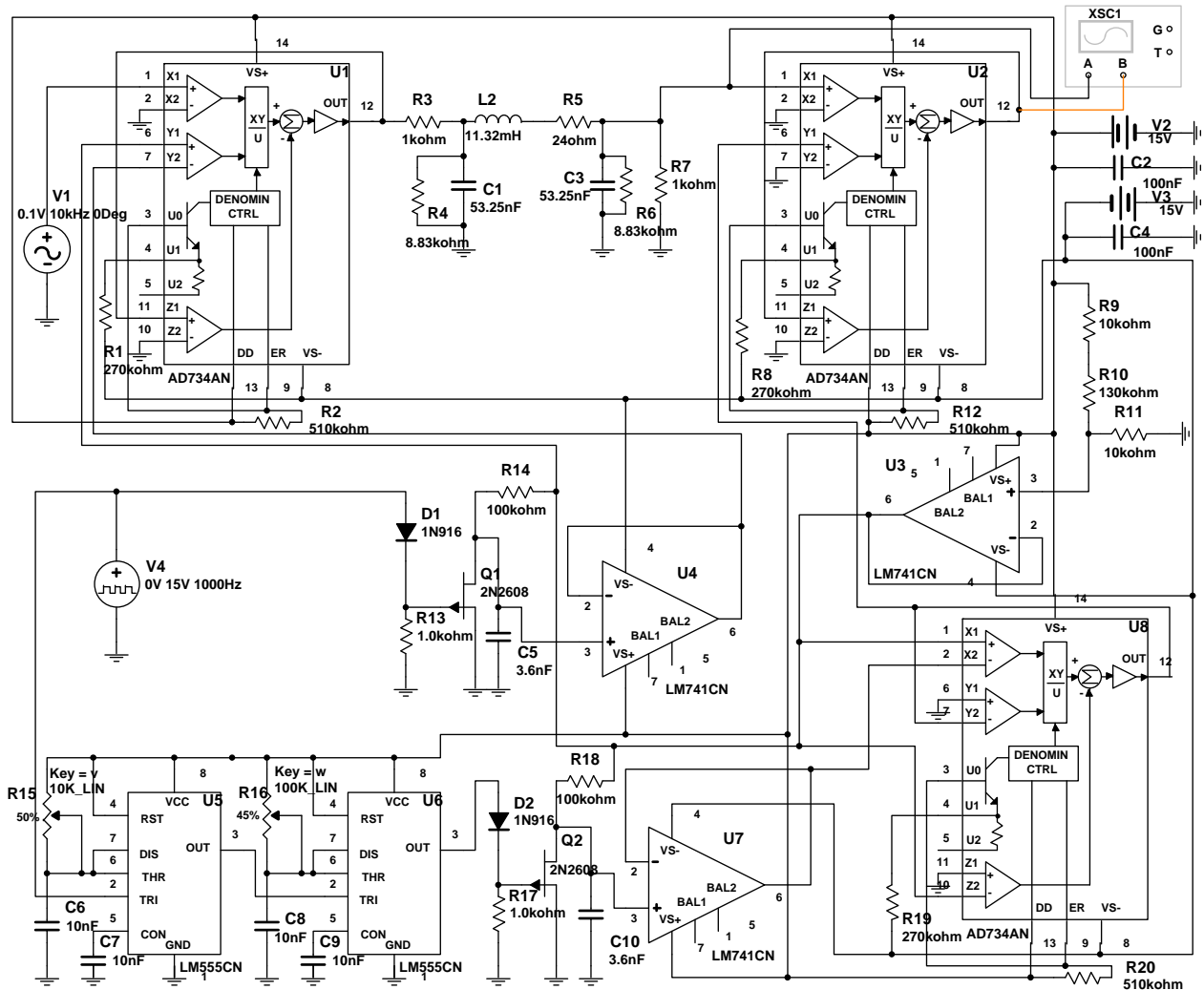


Рисунок 3 – Принципиальная схема устройства измерения АЧХ

Аналоговые перемножитель 1 (U1), перемножитель 2 (U2) и делитель (U8) реализованы на интегральных микросхемах AD734AN, имеющих погрешность работы не более 1% [7]. Формирователь 1 (U4, U1) и полностью идентичный ему формирователь 2 (U7, U8) реализованы на операционных усилителях LM741CN [5] и частично на интегральных микросхемах AD734 [7]. Схема временной задержки сигналов (U5, U6) реализована на двух аналоговых таймерах LM555CN [8]. Источник опорного напряжения в один вольт (U3, R9, R10, R11) реализован с помощью резистивного делителя и повторителя на операционном усилителе LM741CN [7]. В качестве ГГС (V1) может быть использован генератор сигналов низкочастотный ГЗ-112. В качестве ГПИ (V4) должен быть

использован генератор прямоугольных импульсов с регулируемой скважностью и стабильностью частоты не хуже 10^{-3} . Входом системы, АЧХ которой необходимо исследовать, является вывод 6 (U1). Выходом является вывод 12 (U2), к которому подключается осциллограф XSC1. С целью исключения сбоев в работе Multisim рекомендуется схему временной задержки сигналов заменить при моделировании на генератор, идентичный ГПИ (V4), задав в нем задержку Δt .

Проведем с помощью данного устройства измерение амплитудно-частотной характеристики фильтра нижних частот (ФНЧ) с потерями (C1, R4, L2, R5, C3, R6). Значения элементов ФНЧ [9] следующие: $C_1 = 53,25$ нФ, $L_2 = 11,32$ мГн, $C_3 = 53,25$ нФ. Пусть сопротивление потерь $R_4 = 8,83$ кОм, сопротивление потерь $R_5 = 24$ Ом, сопротивление потерь $R_6 = 8,83$ кОм. Тогда, согласно [2] $\lambda = R_5/L_2 = 1/(R_4C_1) = 1/(R_6C_3) = 2128$. Отсюда определим $\tau = 1/\lambda = 0,47$ мс. Значение τ необходимо знать для расчета элементов интегрирующих RC-цепей (R14C5 и R18C10) в формирователях периодической последовательности импульсов вида $Ue^{-\lambda t}$ [5]. Изменяя частоту генератора V1 и подстраивая величину Δt с помощью R15, получаем на осциллографе XSC1 осциллограммы, по которым измеряем значение U_{4m} .

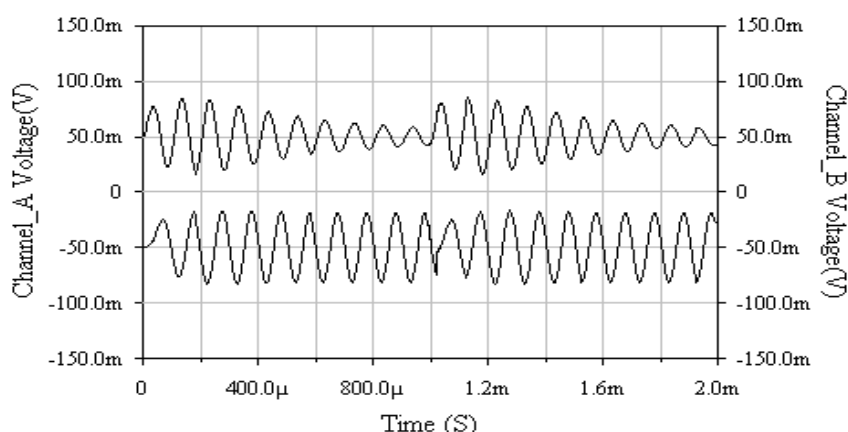


Рисунок 4 – Сигнал на выходе ФНЧ с потерями и сигнал на выходе устройства измерения АЧХ при экспогармоническом воздействии

На рис. 4, в качестве примера, показаны осциллограммы сигналов, полученных на выходе ФНЧ с потерями и на выходе устройства измерения АЧХ при частоте генератора, равной 10 кГц. С помощью имеющегося в Multisim устройства измерения АЧХ при гармоническом воздействии (Bode Plotter) получены графики АЧХ ФНЧ без потерь (рис. 5) и АЧХ ФНЧ с потерями (показан сплошной линией на рис. 6) при гармоническом воздействии. Пунктиром на рис. 6 показан график АЧХ ФНЧ с потерями при экспогармоническом воздействии. Данный график построен по точкам, вычисленным по результатам измерений, полученным с помощью предложенной принципиальной схемы устройства измерения АЧХ.

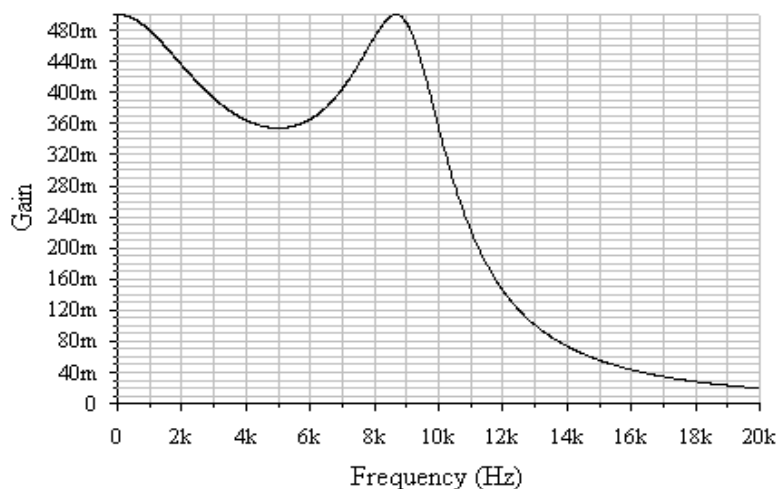


Рисунок 5 – АЧХ ФНЧ без потерь при гармоническом воздействии

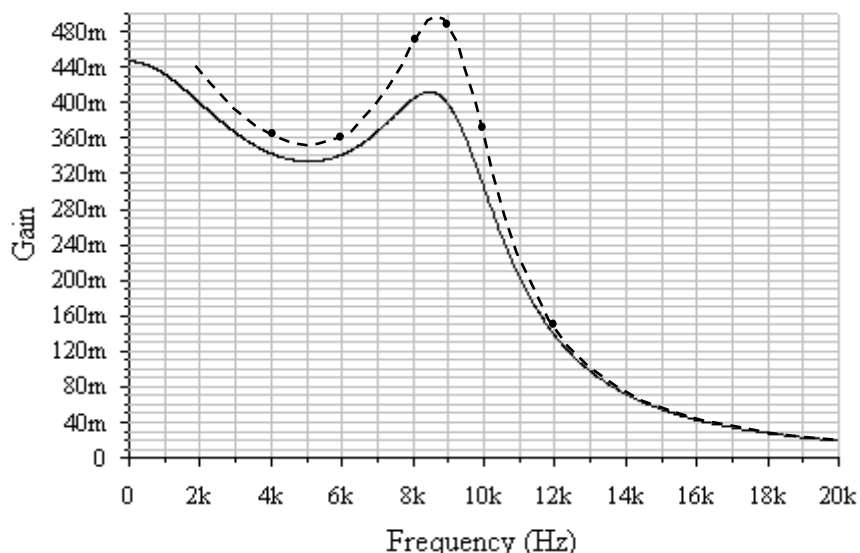


Рисунок 6 – АЧХ ФНЧ с потерями при гармоническом воздействии и ФНЧ с потерями при экспогармоническом воздействии

Проанализируем полученные результаты. Вследствие компенсации потерь в реактивных элементах при применении периодических экспогармонических сигналов АЧХ системы, содержащей LC- цепь с потерями, совпадает с АЧХ LC- цепи без потерь.

Таким образом, в данной работе создана пригодная для практического применения принципиальная схема устройства измерения амплитудно-частотных характеристик систем, содержащих LC-цепи с потерями при периодических экспогармонических воздействиях. Проведено измерение амплитудно-частотной характеристики фильтра нижних частот с потерями при гармоническом и экспогармоническом воздействии, подтверждающее существование явления выделения активной мощности реактивными элементами при экспогармоническом воздействии. Данное явление может быть использовано для улучшения амплитудно-частотных характеристик LC- фильтров.

Литература

1. *Іваницький А.М.* Явище виділення активної потужності реактивними елементами електричного кола / Диплом на відкриття НВ №3, зареєстровано 12.01.99; пріоритет від 31.11.94// Винахідник України. – 1999, №2.– 2000, №1.– С.121-126.
2. *Іваницький А.М.* Реактивні елементи при експофункціональних воздействиях // Информатика и связь: Сб. науч. тр. Укр. госуд. акад. связи им. А.С. Попова. – Одесса. – 1996. – № 1 – С. 236 - 240.
3. *Іваницький А.М.* Применение экспофункціональних воздействий в электросвязи и электроэнергетике // Наукові праці УДАЗ ім. О.С. Попова. – Одесса. – 1999. – № 2 – С. 53-57.
4. *Паску Д.Г.* Исследование амплитудно-частотных характеристик систем, содержащих цепи первого порядка при периодическом экспосинусоидальном воздействии // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. – Одесса. – 2005. – № 1. – С. 88 – 91.
5. *Іваницький А.М., Паску Д.Г.* Формувач періодичної послідовності імпульсів виду $Ue^{-\lambda t}$ / Заявка № u200511920 від 12 грудня 2005 р.).
6. *Іваницький А.М., Паску Д.Г.* Система формування періодичних послідовностей імпульсів виду $Ue^{-\lambda t}$ і виду $Ue^{2(t-\Delta t)}$. Заявка на деклараційний патент, відправлено 28.02.2006 р.
7. *Волович Г.И.* Схемотехника аналоговых и аналого-цифровых электронных устройств. – М.: Изд. дом "Додэка – XXI", 2005. – 528 с.
8. *Фолкенберри Л.* Применения операционных усилителей и линейных ИС; Пер. с англ. – М.: Мир, 1985. – 572 с.
9. *Добротворский И.Н.* Теория электрических цепей: Учебник для техникумов. – М.: Радио и связь, 1989. – 472 с.