

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЯ ПЕРЕДАТОЧНОЙ ФУНКЦИИ ЧЕТЫРЕХПОЛЮСНИКА С ПОМОЩЬЮ ЛЧМ-СИГНАЛА

А.А. Науменко, А.В. Подлесный

RESULTS OF MEASURING QUADRIPOLE TRANSFER FUNCTION BY LFM SIGNAL

A.A. Naumenko, A.V. Podlesny

Измерения передаточной функции проводились на макете последовательного колебательного контура с заранее рассчитанными АЧХ и ФЧХ. Характеристики макета были проконтролированы с помощью гармонического сигнала, согласно определению передаточной функции. Измеренные АЧХ и ФЧХ макета с помощью ЛЧМ сигнала хорошо согласуются с результатами, полученными с помощью гармонического сигнала и результатами численного моделирования.

To perform simulation, we manufactured the model that was series oscillatory circuit with pre-calculated characteristics. Characteristics manufactured model were measured by harmonic signal according to the definition of the transfer function. The amplitude-frequency characteristics and the phase-frequency characteristics, obtained using method of the LFM sounding, were appropriate to the mathematical model and data of measure using harmonic signal.

Введение

Передаточная функция наиболее общее понятие, используемое при анализе стационарных систем. Определяемая как отклик системы на монохроматическое колебание, в случае, если стационарная система описывается дифференциальным или интегральным оператором, передаточная функция является Фурье образом импульсного отклика, который, в свою очередь, является решением задачи с дельта функцией в правой части и носит название, либо фундаментального решения, либо функции Грина.

Обычно используемый способ определения характеристик передаточной функции заключается в том, что на вход системы подают гармонические сигналы различных частот, измеряют выходные сигналы системы на каждой из частот и определяют передаточную функцию системы. В рамках данной работы будет рассмотрен метод получения передаточной функции с помощью специальной обработки ЛЧМ-сигнала [Ильин, 2007]. Практическая реализация данного метода появилась сравнительно недавно и требует проведения различных тестовых и калибровочных измерений для подтверждения качества ее работы. Одним из наиболее информативных способов проверки качества работы методики является проведение прямых измерений параметров системы (четыреполюсника) с хорошо известной передаточной функцией. Проведение таких измерений позволит оценить точность измерения передаточной функции с помощью ЛЧМ-сигнала.

Цель работы

Сравнить передаточную функцию, полученную специальной обработкой ЛЧМ-сигнала, с математической моделью передаточной функции и проконтролировать ее с помощью гармонического сигнала.

Четыреполюсник с известной передаточной функцией

В качестве четырехполюсника с известной передаточной функцией был выбран последовательный колебательный контур с сосредоточенными параметрами, обладающий ярко выраженной АЧХ и ФЧХ [Баскаков, 1988]. Зависимость частоты резонанса от параметров элементов контура выражается формулой Томсона (1).

нанса от параметров элементов контура выражается формулой Томсона (1).

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

Используемое в данной работе ЛЧМ оборудование имеет диапазон рабочих частот от 1 до 30 МГц, поэтому для того, чтобы результаты измерений отразили основные характерные особенности АЧХ и ФЧХ контура частота его резонанса должна лежать в средней части этого диапазона. Подбором элементов из стандартного ряда номиналов E24, был спроектирован последовательный колебательный контур с входным и выходным каскадами на операционном усилителе и расчетной резонансной частотой 10.7 МГц.

Итоговая принципиальная схема макета контура представлена на рис. 1.

AD8056 представляет собой двоярный операционный усилитель с полосой пропускания до 300 МГц. При изготовлении макета использованы радиокомпоненты с классом точности основной характеристики 5 %.

Расчет и измерение передаточной функции макета

Расчет передаточной функции связан с составлением и решением системы дифференциальных уравнений описывающих систему. Составление данных уравнений с учетом погрешностей и паразитных эффектов реальных элементов схемы представляет собой нетривиальную задачу, выходящую за рамки данной работы, поэтому все элементы схемы были приняты идеальными.

Коэффициент передачи последовательного колебательного контура с согласующими каскадами описывается следующим уравнением [Гоноровский, 1986]:

$$K(i\omega) = A \frac{1/i\omega C}{R + i\omega L + 1/i\omega C} = \frac{A}{((1 - \omega^2 LC) + i\omega RC)} \quad (2)$$

Использование согласующих каскадов добавляет в уравнение постоянный множитель A , равный произведению коэффициентов усиления входного и выход-

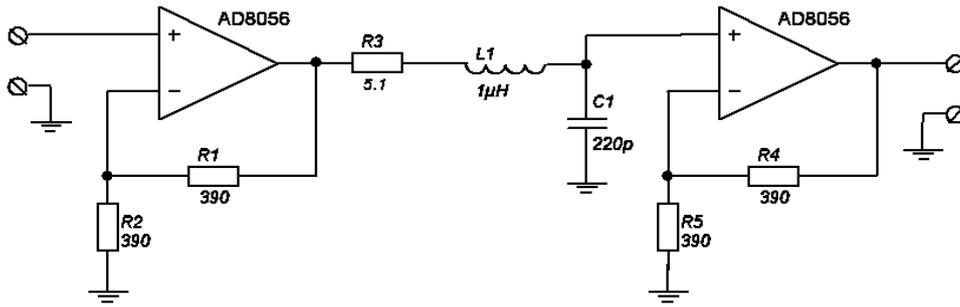


Рис. 1. Принципиальная схема макета.

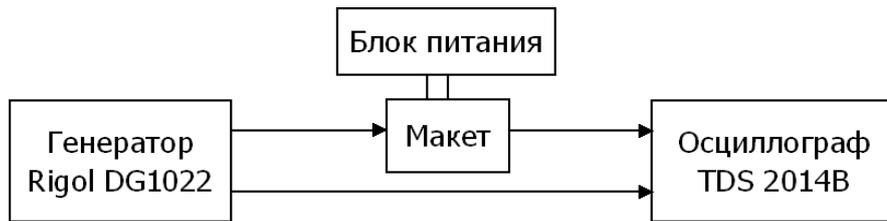


Рис. 2. Схема измерения передаточной функции с помощью гармонического сигнала.

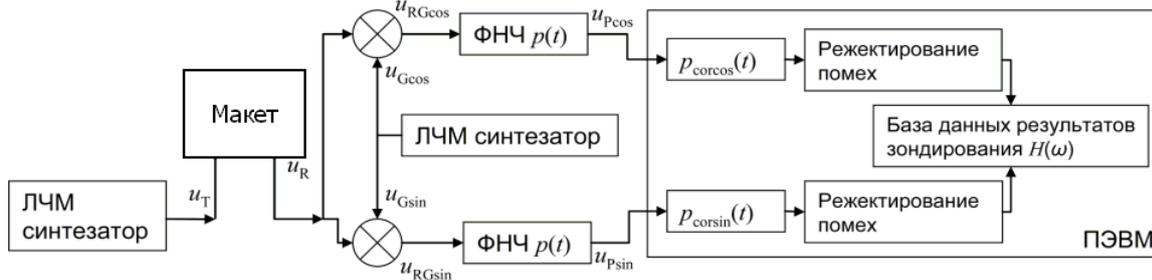


Рис. 3. Схема измерения передаточной функции с помощью ЛЧМ-сигнала.

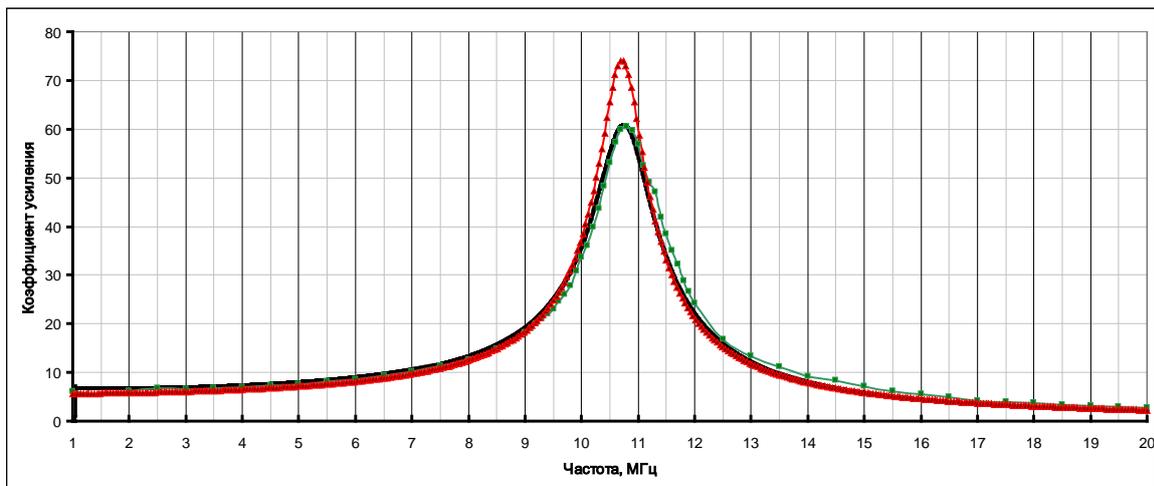


Рис. 4. АЧХ макета: без маркеров – измеренная с помощью ЛЧМ-сигнала; квадратные маркеры – измеренная с помощью гармонического сигнала; треугольные маркеры – результат численного моделирования.

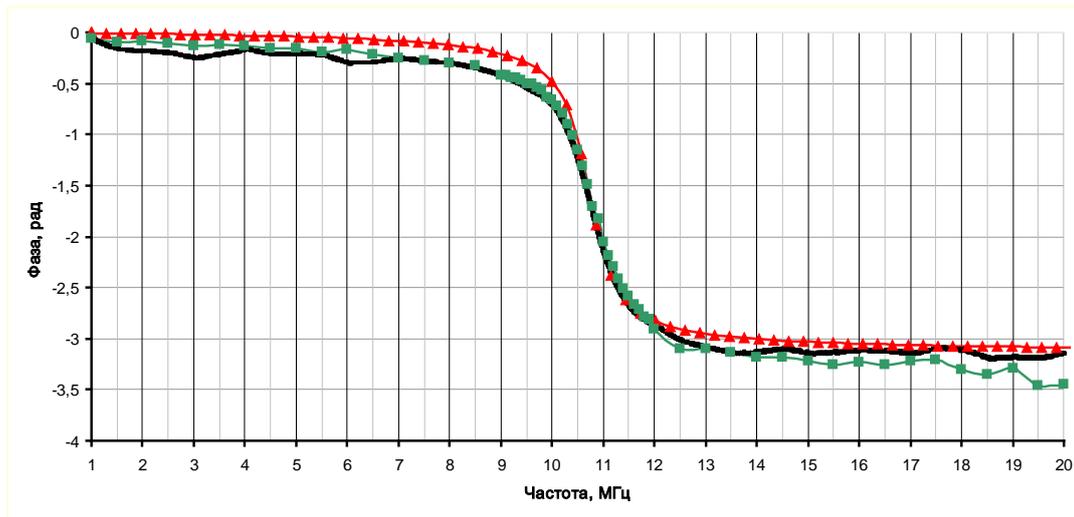


Рис. 5. ФЧХ макета: без маркеров – измеренная с помощью ЛЧМ-сигнала; квадратные маркеры – измеренная с помощью гармонического сигнала; треугольные маркеры – результат численного моделирования.

ного каскадов. Коэффициенты усиления входного и выходного каскадов одинаковые и равны двум, итоговое значение множителя соответственно равно четырем.

Измерение передаточной функции монохроматическим сигналом проводилось с помощью генератора гармонических сигналов и осциллографа, по схеме, представленной на рис. 2.

Для измерения передаточной функции с помощью ЛЧМ-сигнала использовался лабораторный стенд ЛЧМ-ионозонд, из которого был удален усилитель мощности (рис. 3). Выходными данными ЛЧМ-ионозонда является передаточная функция среды [Ильин, 2007], что стало возможно после модернизации приемника ЛЧМ-сигналов [Подлесный, 2014].

Измерение передаточной функции проводили со скоростью 500 кГц/сек, от частоты 1 МГц до частоты 20 МГц. Для исключения влияния внутренних задержек ЛЧМ-синтезатора и приемника измерения ПФ были проведены дважды: один раз без макета контура и один раз с установленным макетом контура. Разность полученных ФЧХ, соответствующая ФЧХ макета контура, приведена на рис. 5 на графике без маркеров. АЧХ макета представлена на рис. 4 на графиках без маркеров.

Для сравнения на рис. 4 и 5 также представлены результаты измерений и расчетов другими методами. На них треугольными маркерами помечены модуль и фаза выражения (2), представляющие собой результат расчета АЧХ и ФЧХ макета в полосе от 1 до 20 МГц. Квадратными маркерами представлены результаты пошаговых измерений с помощью гармонического сигнала с шагом в 100 кГц.

Измеренная АЧХ макета с помощью ЛЧМ-сигнала хорошо согласуется с математической моделью и измеренной АЧХ с помощью гармонического сигнала, с отклонением по форме не более 5%. Уменьшение добротности на 14%, полученное в результате измерений реального контура по сравнению с результатами численного моделирования, скорее всего, связано с паразитным активным сопротивлением элементов реального контура.

Полученная с помощью ЛЧМ-сигнала ФЧХ хорошо согласуется с математической моделью и с ФЧХ измеренной с помощью гармонического сигнала, с отклонением по форме не более 5%.

Выводы

Полученные результаты показывают, что АЧХ и ФЧХ, полученные с помощью ЛЧМ-сигнала, хорошо согласуются как с математической моделью, так и с характеристиками, полученными с помощью гармонического сигнала. Небольшое расхождение результатов измерений реального макета и расчетов может быть связано с классом точности используемых радиокомпонентов и паразитными эффектами реальных элементов схемы.

Работа выполнена при поддержке РФФИ грант №13-05-00979

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы. М.: Высшая школа, 1988. 448 с.
- Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы: Учебник для вузов. 4-е изд. М.: Радио и связь. 1986. С. 152.
- Ильин Н.В., Давыденко М.А., Хахинов В.В. Моделирование регистрируемого спектра и восстановление передаточной функции широкополосного коротковолнового ионосферного радиоканала при зондировании ЛЧМ-сигналом // Известия вузов. Радиофизика. 2007. Т. 1, № 5. С. 387–395.
- Подлесный А.В., Лебедев В.П., Ильин Н.В., Хахинов В.В. Реализация метода восстановления передаточной функции ионосферного радиоканала по результатам зондирования ионосферы непрерывным ЛЧМ сигналом // Электромагнитные волны и электронные системы. 2014. № 1. С. 63–70.

Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия