

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «НОВОСИБИРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ».

Физический факультет
Кафедра общей физики
Дударь Максим Романович

КУРСОВАЯ РАБОТА

**“Исследование амплитудно-частотной характеристики широкополос-
ного усилителя”**

Практикум по электромагнетизму и электричеству, 2 курс, группа №18345

Научный руководитель:

Косинов Александр Дмитриевич
д. ф.-м. наук, зав. лаб. №14
Оценка научного руководителя

«_____» _____ 20__ г.

Преподаватель практикума

Симонов Андрей Артемович
к. ф.-м. наук
Оценка преподавателя практикума

«_____» _____ 20__ г.

Куратор практикума:

Астрелин Виталий Тимофеевич
к.т. наук
Итоговая оценка

«_____» _____ 20__ г.

Аннотация

В данной работе изучалась амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) усилителя У2-8 при различных коэффициентах усиления, в режиме широкополосного усилителя. Для получения АЧХ использовалось два метода, первый с использованием генератора синусоидального сигнала, второй с использованием генератора прямоугольного сигнала и анализа Фурье спектров входного и выходного сигналов. Сигналы с усилителя и генератора оцифровывались с использованием цифрового осциллографа Tektronix TDS 1012B. Фурье спектры получались с использованием математических функций осциллографа. Проведено сравнение двух методов получения АЧХ усилителя.

Ключевые слова: усилитель У2-8, амплитудно-частотная характеристика, спектр сигнала, Фурье анализ.

Работа выполнена в Институте теоретической и прикладной механики СО РАН в лаборатории №14.

Содержание

Введение.....	3
1.Теоретическая часть.....	4
2. Экспериментальная часть.....	6
3.Результаты измерений и их анализ.....	8
4. Выводы.....	11
5. Список литературы.....	12

Введение

В практике исследователи часто сталкиваются с сигналами, имеющими широкий спектр, очень часто это сигналы от различных датчиков. Они имеют место в различных областях науки и техники. Поэтому надо уметь их анализировать и правильно с ними работать. В лаборатории №14, где выполнялась данная работа, широко используются различные типы усилителей сигналов: от широкополосных до узкополосных. При проверке работоспособности усилителей обычно используется высококачественный генератор сигналов синусоидальной формы, который позволяет проверять амплитудно-частотные характеристики этих приборов. Однако, для тестирования широкополосных усилителей можно использовать метод определения АЧХ с помощью прямоугольного периодического сигнала и преобразования Фурье. Этот метод аналогичен современному подходу в изучении механизмов ламинарно-турбулентного перехода в сдвиговых течениях, который основывается на введении и регистрации периодических возмущений в исследуемый поток с последующей обработкой сигналов, полученных с датчиков расположенных в ниже по течению.

Целью курсовой работы является исследование и анализ, а также сравнение с паспортными данными, амплитудно-частотных характеристик широкополосного измерительного усилителя с полосой пропускания, согласно паспорту, от 20 Гц до 200 кГц. Исходя из указанной цели, были поставлены следующие задачи:

1. Изучить специальную литературу по исследуемому вопросу;
2. Рассмотреть содержание основных понятий;
3. Экспериментально получить характеристики импульсных сигналов различной длительности;
4. Определить передаточную функцию широкополосного усилителя.

1. Теоретическая часть

Сигнал — физический процесс, распространяющийся в пространстве и времени, способный нести в себе информацию. В зависимости от природы сигналы разделяются на:

- а) электромагнитные (в частности, электрические);
- б) звуковые;
- в) пневматические и гидравлические и др.

Преобразование Фурье.

Преобразование Фурье — один из основных элементов спектрального анализа сигналов. Если рассматривать функцию $s(t)$, то состояние системы смотрят на плоскости амплитуда-время. При рассмотрении функции $S(f)$ оно изучается на плоскости амплитуда-частота. То есть, с помощью преобразования Фурье получают спектр сигнала. Формулы для вычисления прямого и обратного преобразований Фурье:

Чтобы преобразование Фурье было применимо, сигнал должен удовлетворять следующим требованиям:

$$s(f) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t)e^{-i2\pi ft} dt \quad (1)$$

$$s(t) = \int_{-\infty}^{\infty} s(f)e^{-i2\pi ft} df \quad (2)$$

1) должны выполняться условия Дирихле:

- а. фрагмент сигнала длительностью в один период не иметь должен иметь разрывов второго рода;
- б. число разрывов у этого фрагмента должно быть конечным;

с. число минимумов и максимумов должно быть также конечным;

2) $s(t)$ абсолютно интегрируема при $t \in (-\infty; +\infty)$;

Преобразование Фурье обладает свойством линейности, то есть, спектр линейной комбинации сигналов равен линейной комбинации спектров данных сигналов. Также известно, что сдвиг по аргументу у функции приводит к сдвигу по фазе у её преобразования Фурье (теорема запаздывания). Т. е. если τ - время задержки, $s(t)=f(t-\tau)$, тогда функция, задающая спектр сигнала, будет выглядеть следующим образом:

$$S(\omega) = F(\omega) \quad (3)$$

Дискретное преобразование Фурье.

Для работы с дискретными сигналами используется дискретное преобразование Фурье.

Рассмотрим, что представляет собой спектр дискретного периодического сигнала. Пусть последовательность отсчетов $\{x(k)\}$ является периодической с периодом N : $x(k+N)=x(k)$ для любого k . Если мы возьмем последовательность $x(k)$ из N точек, то можем представить сигнал из смещенных по времени дельта функций

$$s(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x(k)\delta(t - kT) \quad (4)$$

Это будет периодический сигнал с минимальным периодом NT . Дискретным преобразование Фурье будет называться преобразование

$$\dot{X}(n) = \sum_{k=0}^{N-1} x(k) \exp\left(-j \frac{2\pi nk}{N}\right),$$

а обратным

$$x(k) = \sum_{n=0}^{N-1} \dot{X}(n) \exp\left(j \frac{2\pi nk}{N}\right).$$

Свойства дискретного преобразования Фурье аналогичны вышеописанным свойствам непрерывного преобразования.

Быстрое преобразование Фурье.

Быстрое преобразование Фурье – это $O(N * \log N)$ алгоритм вычисления дискретного преобразования Фурье, в то время обычное преобразование масштабируется как $O(N^2)$. Расчет дискретного преобразования, содержащего N коэффициентов, требует выполнения большего количества операций, однако если N - не простое и раскладывается на множители, то имеется возможность ускорить процесс выполнения алгоритма, разбив анализируемый набор отсчетов на части.

$$\dot{X}(n) = \sum_{m=0}^{N/2-1} x(2m) \exp(-j \frac{2\pi 2mn}{N}) + \sum_{m=0}^{N/2-1} x(2m+1) \exp(-j \frac{2\pi (2m+1)n}{N})$$

Если обозначим $x(2m)=y(m)$ и $x(2m+1)=z(m)$, то после преобразований получим

$\dot{X} = \dot{Y}(n - N/2) + e^{-j \frac{2n\pi}{N}} \dot{Z}(n - N/2)$. Этот способ требует операций почти вдвое меньше, чем просто прямое дискретное преобразование Фурье. Таким образом, разбивая последовательность на максимальное количество частей, мы можем эффективно вычислять преобразование.

2. Экспериментальная часть

Для решения поставленных задач в работе был проведен эксперимент, который позволил получить амплитудно-частотную характеристику широкополосного усилителя. Так в эксперименте были выбраны два способа получения амплитудно-частотной характеристики.

Первый способ заключался в использовании синусоидального сигнала и измерении амплитуд при разных частотах сигнала по формуле (5):

$$dB = 20 \log(\frac{U_2}{U_1}) \quad (5)$$

Второй же способ заключался в подаче на усилитель прямоугольного сигнала, считывании спектра входного и усиленного сигнала, запись которых выполнял цифровой осциллограф Tektronix TDS 1012B, и последующей обработке. С помощью дискретного преобразования Фурье вычислялась амплитуда гармоник сигналов входного и выходного, далее вычислялся коэффициент усиления по формуле (5).

Перед выполнением эксперимента была выполнена подготовка к эксперименту, которая заключалась в калибровке усилителя с помощью откалиброванного генератора и в сравнении усиленного сигнала с паспортными данными.

Описание селективного усилителя У2-8.

Селективный усилитель У2-8 предназначен для усиления и выделения малых напряжений синусоидальной формы и преобразования среднеквадратичного значения синусоидального напряжения в постоянное. Усилитель имеет два режима усиления: широкополосный (используется в нашей работе) и селективный. В широкополосном режиме усиления диапазон частот усиливаемых напряжений от 20 Гц до 200 кГц. Коэффициент усиления имеет ступенчатую регулировку через 10 дБ от -20 до 100 дБ. В широкополосном режиме, согласно паспорту, используется делитель входного сигнала, ослабляющий его на -20 дБ. Именно этот режим работы широкополосного усилителя использовался в работе.

Tektronix TDS 1012B

Двухканальный цифровой осциллограф Tektronix TDS 1012B обладает полосой пропускания в 100 МГц и частотой выборки до 1 Гвыб/с. Имеется возможность производить запись сигнала до 2500 отчетов на каждый канал. Также существует возможность усреднения сигнала. Погрешность коэффициента усиления по постоянному напряжению 3% для режима выборки или усиления данных, 5 В/дел-10 мВ/дел. В работе было использовано меню измерений, меню с быстрым Фурье преобразованием.

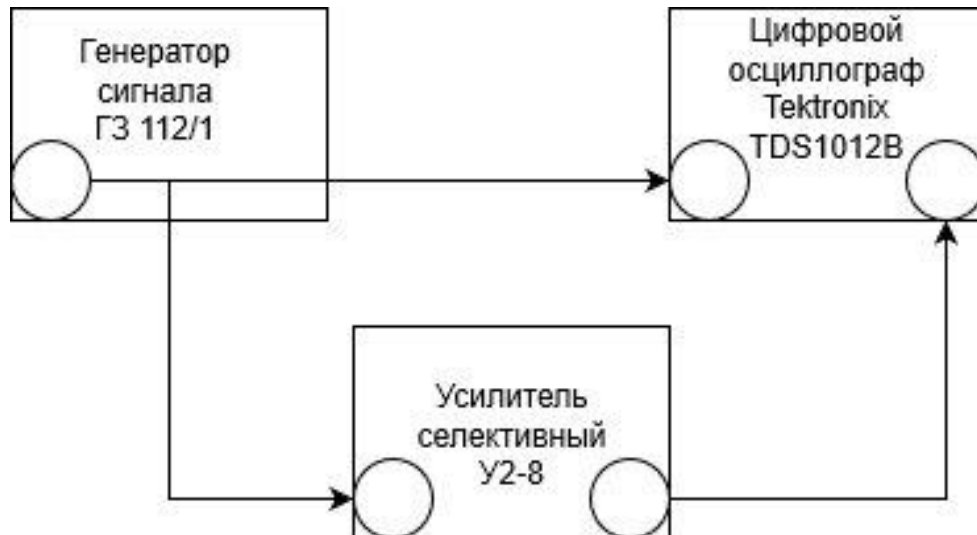


Рис. 1 Схема установки

3. Результаты измерений и их анализ

В первом методе был использован диапазон частот с 10 Гц до 1 МГц и диапазон усиления с 40 Дб до 70 Дб, при более высоких частотах наблюдался шум, который сильно искажал сигнал, поэтому было принято решение использовать именно данный диапазон усиления.

Во втором методе был подан прямоугольный сигнал с частотой 4,8 кГц на вход осциллографа, оцифровывающего сигнал с разрядностью 8 бит и частотой выборки в 2,5 МВб/с в таком же диапазоне усиления, так по спектрам входного сигнала и выходного можно наблюдать спектры сигнала, и на их основе, вычислить АЧХ усилителя.

Напряжение входного сигнала во всех измерениях $U_{вх}=20$ мВ.

Первый метод

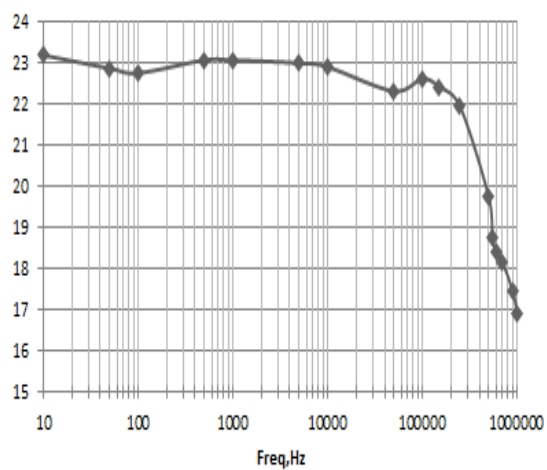


Рис.1 АЧХ при усилении 40 дБ.

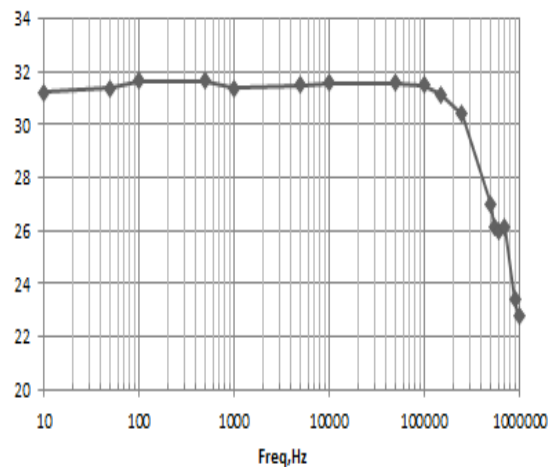


Рис.2 АЧХ при усилении 50 дБ.

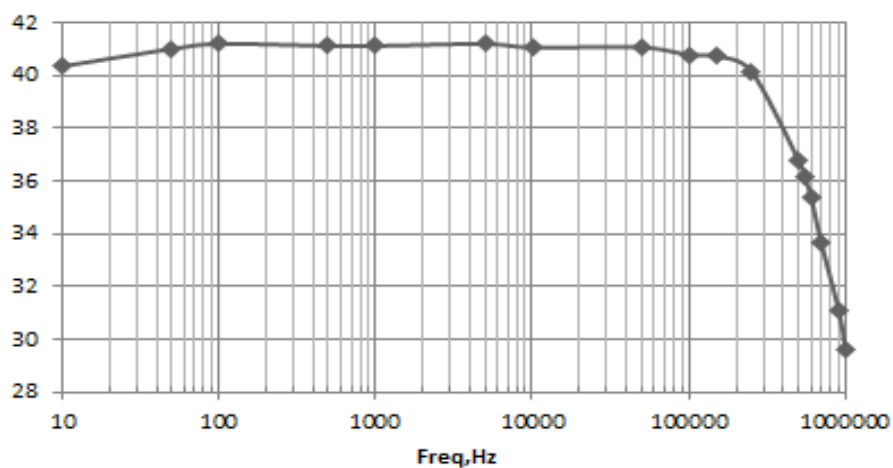


Рис. 3 АЧХ при усилении 60 дБ.

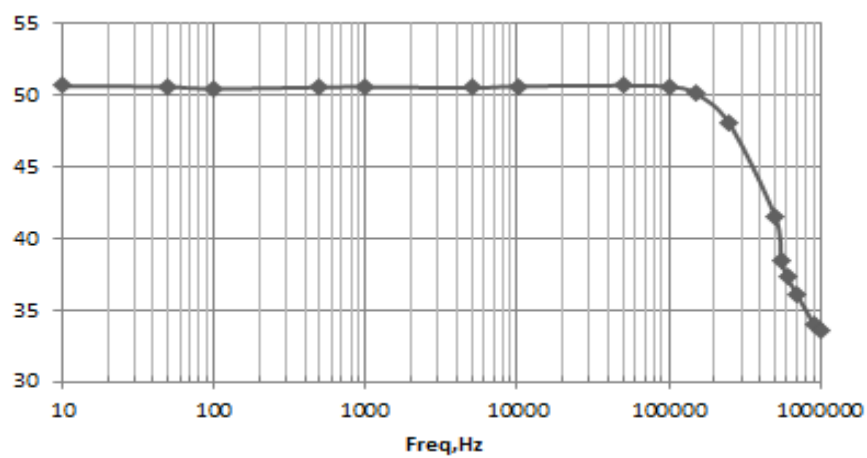


Рис. 4 АЧХ при усилении 70 дБ.

Тогда, исходя из вышепоказанных АЧХ, можем оценить диапазон в широкополосном режиме, который будем считать от 10 до 250 кГц.

Второй метод

Результаты эксперимента, проведенного с помощью генератора ГЗ-112/1 в режиме генерации прямоугольного периодического сигнала со скважностью 2 (меандр), представлены на рис. 6 и рис. 7.

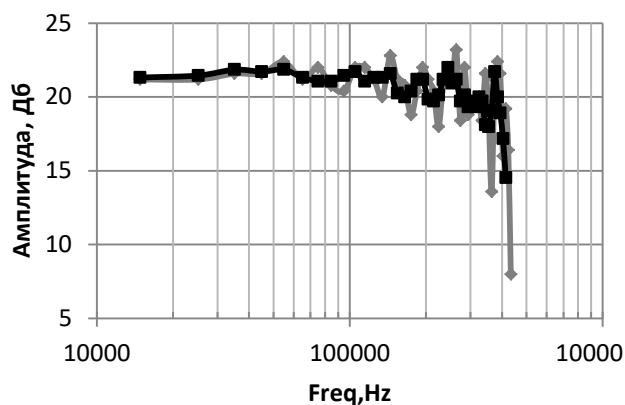


Рис.5 АЧХ при усилении 40 дБ. Серым цветом без фильтрации. Черным цветом выделен график с фильтрацией, при помощи скользящего среднего.

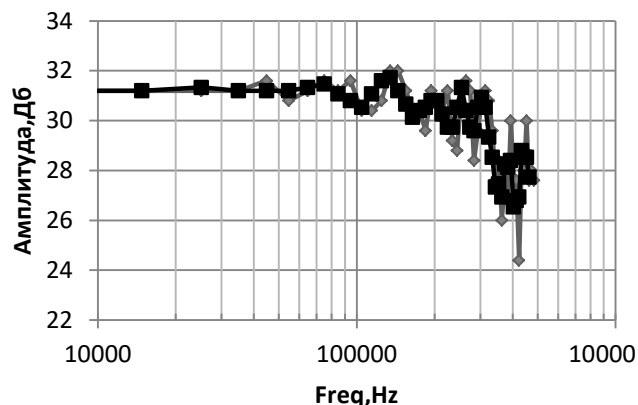


Рис. 6 АЧХ при усилении 50 дБ.

Из рис. 5 видно, что до ~200 кГц усиление происходит примерно с одним коэффициентом, а далее с ростом частоты наблюдается спад коэффициента усиления, что также можно увидеть на рис.6.

Однако как видно из рис. 5-6 этот метод определения АЧХ является менее точным, в сравнении с первым методом, особенно в области высоких частот, т.к. амплитуда гармоник быстро спадает, и становится по величине на уровне шума. А также виду погрешности оцифровки сигнала.

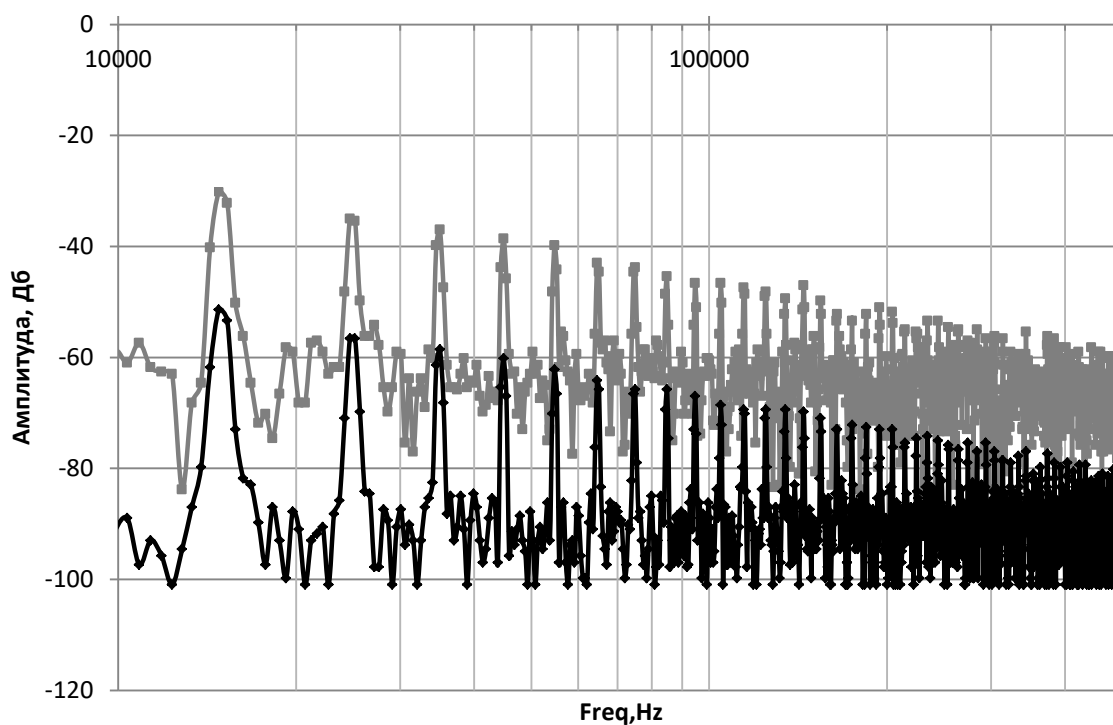


Рис. 7 Спектры входного (черный цвет) и выходного (серый) сигналов.

4. Выводы

В работе были исследованы диапазоны рабочих частот усилителей У2-8 в режиме широкополосного усиления. В ходе работы проведено экспериментальное изучение амплитудно-частотных характеристик, которые совпадали с паспортными данными. За исключением диапазонов 40 дБ и 50 дБ АЧХ усилителя имеет неоднородность в рабочем диапазоне частот порядка 1 дБ.

Так же проведено сравнение двух методов получения АЧХ, с использованием генератора синусоидального напряжения, и с использованием спектрального анализа.

5. Список литературы

1. Марпл С.Л. *Цифровой спектральный анализ и его приложения*. М.: Мир, 1990.
2. Князев Б.А., Черкасский В.С. *Дискретное преобразование Фурье – как это делается*. Новосибирск: НГУ, 2008.
3. Сергиенко А.Б. *Цифровая обработка сигналов*. СПб.: Питер, 2002.
4. В. А. Александров *Обобщенные функции* Новосибирск: НГУ, 2005.
5. Александров В. А. *Ряды Фурье: Метод. пособие*. Новосибирск: НГУ, 1996.