

Лабораторная работа № 2 СПЕКТРАЛЬНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ СИГНАЛОВ

Цель работы

Демонстрация характеристик гармоник сигнала с помощью анализатора спектра и ваттметра.

Теоретические сведения

Теоретически синусоидальные сигналы представляются одной спектральной линией на графике зависимости амплитуды от частоты. При искажении исходного сигнала появляются дополнительные гармоники, отличные от основной. Математически, складывая мощность каждой гармоники с мощностью основной гармоники, можно восстановить весь исходный сигнал.

Другие формы сигнала, такие как, прямоугольная, треугольная и пилообразная содержат в себе бесконечное количество гармоник, сложение которых даёт форму сигнала, его амплитуду и частоту. Сколько бы ни было параметров у сигнала, спектральный анализ является основным средством для изучения отдельных его компонентов.

Сигнал **прямоугольной** формы может быть представлен суперпозицией бесконечного количества синусоидальных сигналов, частоты которых кратны основной частоте ω . Ряд Фурье сигнала прямоугольной формы выглядит следующим образом:

$$U = \frac{4A}{\pi} \left(\sin \omega t + \frac{1}{3} \sin 3\omega t + \frac{1}{5} \sin 5\omega t + \dots \right), \quad (1)$$

где A – амплитуда прямоугольного сигнала.

Замечание: Возможна другая – отличная от (1) – форма представления сигнала прямоугольной формы – через косинусы. Выбор той или иной формы представления – через синусы или через косинусы – определяется началом отсчёта времени: при нечётной форме сигнала в представлении используются синусы, а при чётной форме – косинусы.

Среднеквадратическое значение напряжения гармоник прямоугольного сигнала определяется формулой:

$$E_n = \frac{4A}{n\pi\sqrt{2}}.$$

Частота n -ой гармоники равна $n\omega$. По мере добавления каждой гармоники, форма сигнала всё более становится похожей на прямоугольную. Идеальный сигнал прямоугольной формы включает в себя бесконечное количество нечётных гармоник.

Сигнал пилообразной формы также может быть представлен суперпозицией бесконечного количества синусоидальных сигналов, частоты которых кратны основной частоте ω . Амплитуда и мощность этих синусоид уменьшаются с увеличением их частоты. Ряд Фурье пилообразного сигнала выглядит следующим образом:

$$U = \frac{2A}{\pi} \left(\sin \omega t - \frac{1}{2} \sin 2\omega t + \frac{1}{3} \sin 3\omega t - \frac{1}{4} \sin 4\omega t + \dots \right). \quad (2)$$

Среднеквадратическое значение напряжения гармоник пилообразного сигнала определяется формулой:

$$E_n = \frac{2A}{n\pi\sqrt{2}}.$$

Основная частота:

$$\omega = \frac{2\pi}{T}, \text{ где } T - \text{ период сигнала.}$$

Так как амплитуда гармоник высоких порядков во много раз меньше амплитуды несущей частоты, то вычисление гармоник, как правило, происходит до 5-го порядка.

Сигналы прямоугольной и пилообразной формы относятся к импульсным сигналам. Для характеристики импульсного сигнала применяют величину, которая определяет отношение периода повторения к длительности импульса. Эта величина называется **скважность**. Скважность не может быть меньше 1. Величина, равная 1, соответствует случаю, когда длительность сигнала равна его периоду.

В англоязычной литературе используется величина, обратная скважности, которая называется **коэффициентом заполнения** (*Duty cycle*).

Можно записать соотношение:

$$S = \frac{T}{\tau} = \frac{1}{D},$$

где S – скважность, T – период повторения импульсов, τ – длительность импульса, D – коэффициент заполнения (*Duty cycle*).

Частое применение на практике находит прямоугольный сигнал со скважностью 2 – такой сигнал называется **меандр**.

Следует обратить внимание на взаимосвязь термина скважность и коэффициента заполнения (*Duty cycle*). Скважность S является безразмерной

величиной. В англоязычной литературе, коэффициент заполнения D (*Duty cycle*), как правило, измеряется в процентах. Но обе величины – всего лишь разные представления одного и того же. И, чтобы не было путаницы, необходимо понимать, что имеется в виду. Сквозность – это отношение периода следования импульсов к длительности импульса, а коэффициент заполнения D (*Duty cycle*) – отношение длительности импульса к периоду их следования, то есть эти величины – обратно пропорциональны.

1. Описание схем опытов

1.1. Объект исследования:

Анализатор спектра. Схема его включения в экспериментальном исследовании приведена на рис. 1.

1.2. Назначение схемных элементов:

R1 – резистор, служащий в качестве нагрузки.

1.3. Измерительные приборы:

XFG1 – функциональный генератор; имитирует источник входного гармонического сигнала;

XWM1 – ваттметр; служит для измерения мощности;

XSC1 – осциллограф; используется для контроля формы сигнала на выходе генератора переменного напряжения;

XSA1 – анализатор спектра; используется для определения спектра выходного сигнала.

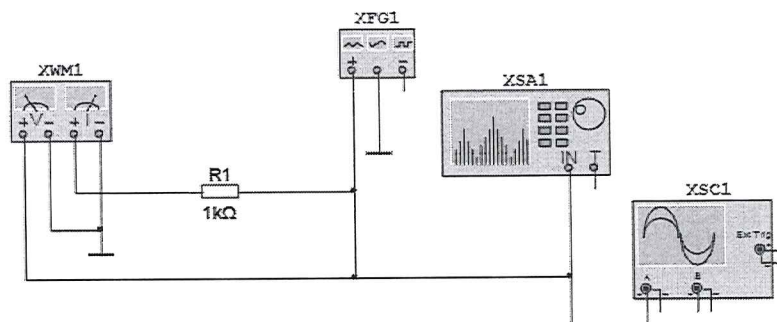


Рис. 1. Схема для исследования спектральных составляющих спектра сложного сигнала

2. Экспериментальное исследование

Исследование спектра сигнала прямоугольной формы

1. Соберите схему, изображённую на рис. 1. Подсоедините **Function Generator** (функциональный генератор), **Oscilloscope** (осциллограф), **Wattmeter** (ваттметр) и **Spectrum Analyzer** (анализатор спектра). При подключении ваттметра помните, что клеммы, обозначенные **V** (напряжение), подключается параллельно с нагрузкой, а клеммы, обозначенные **I** (ток), – последовательно с нагрузкой.
2. Дважды щёлкните на осциллографе, для настройки его параметров. Установите масштаб **Time Base** (Временная ось) равным 50 мкс/Дел, установите значение **Channel 1** (Канал 1) равным 10 В/Дел. Выберите режим автоматического запуска (**Auto Triggering**) и режим пропускания постоянной составляющей сигнала (**DC coupling**).
3. Дважды щёлкните на функциональном генераторе, для настройки его параметров. Выберите **Frequency** (частота) = f_1 (Данное значение частоты следует брать из табл. 1, в соответствии с номером, указанным преподавателем). **Duty Cycle** (коэффициент заполнения) = 50%, **Amplitude** (амплитуда) = 10 В, **Offset** = 0, Выберите **Square Wave** (прямоугольная форма).
4. Двойным щелчком на анализаторе спектра откройте его дисплей. Выделите **Set Span**. Установите **Start** (начало) = f_1 , **End** (конец) = $10 \cdot f_1$ и **Amplitude** (амплитуда) = **Lin**. Нажмите **Enter**.

Таблица 1

№ варианта	Частота f_1 , кГц
1	10
2	12
3	14
4	16
5	18
6	20
7	22
8	24
9	26
10	28

5. Запустите процесс моделирования.
6. Два раза щёлкните на осциллографе и убедитесь, что значение амплитуды равно 10 В. Скопируйте вид наблюдаемого сигнала и вставьте его в отчёт – для этого надо скопировать изображение экрана осциллографа в буфер обмена, нажав комбинацию клавиш **Alt + PrtScn** (при активном окне осциллографа), а затем, перейдя в файл с отчётом, – комбинацию **Ctrl + V**. Таким же образом можно поступать и в дальнейшем при необходимости копирования вида сигнала или его спектра.
7. Дважды щёлкните на анализаторе спектра. Сдвиньте вертикальный маркер в левую часть окна и измерьте частоту и амплитуду несущего сигнала с частотой f_1 . Эти значения будут отображаться в левом нижнем углу окна.
8. Скопируйте полученный спектр прямоугольного сигнала и вставьте его в отчёт.
9. Пользуясь спектром сигнала, измерьте величину спектральных составляющих, соответствующих 1-ой, 3-ей и 5-ой гармоникам. Результаты занесите в табл. 2 в колонку «Измеренная амплитуда».
10. Воспользовавшись формулой (1), рассчитайте амплитуды 1-ой, 3-ей и 5-ой гармоник. Результаты занесите в табл. 3 в колонку «Расчётная амплитуда».
11. Сравните экспериментальные и теоретические значения амплитуд гармоник.
12. Вычислите среднеквадратическое напряжение для первой гармоники по формуле (4). Рассчитайте её предполагаемую мощность.
13. Прделайте то же для 3-ей и 5-ой гармоник. Полученные результаты занесите в табл. 2.
14. Вычислите общую (суммарную) мощность 1-ой, 3-ей и 5-ой гармоник. Результат запишите.
15. Щёлкните два раза на **Wattmeter** (ваттметр). Сравните наблюдаемое значение мощности с аналогичным значением, полученным в п. 14. Результат запишите.
16. Измените величину скважности прямоугольного сигнала. Для этого: дважды щёлкните на функциональном генераторе, для настройки его параметров, и установите параметр *Duty Cycle* (коэффициент заполнения) = 33% (Какое значение при этом имеет скважность?). Скопируйте в отчёт вид наблюдаемого прямоугольного сигнала и полученный спектр.
17. Ещё раз измените величину скважности прямоугольного сигнала, установив на функциональном генераторе параметр *Duty Cycle* (коэффициент заполнения) = 25% (Как изменилась при этом величина скважности?). Скопируйте в отчёт вид сигнала и его спектр.

Таблица 2

Результаты для сигнала прямоугольной формы.

	Измеренная частота, кГц	Измеренная амплитуда, В	Расчетанная амплитуда, В	Расчетанное среднеквадратическое напряжение, В	Расчетанная мощность, мВт
f_1					
f_2					
f_3					

Общая (суммарная) мощность в мВт (измеренная) _____

Показания полной мощности в мВт с Ваттметра _____

Исследование спектра сигнала треугольной (пилообразной) формы

18. Два раза щёлкните на **Function Generator** (Генератор функций) и выберите **Triangle Waveform** (треугольная форма сигнала). Установите значение **Duty Cycle** (коэффициент заполнения) = 50%.
19. Понаблюдайте за экраном в окне **Oscilloscope** (Осциллограф). Нарисуйте наблюдаемый вид сигнала.
20. Два раза щёлкните на **Spectrum Analyzer** (анализатор спектра) и наблюдайте за спектром пилообразной формы сигнала. Нарисуйте получаемый спектр.
21. Ещё раз дважды щёлкните на **Function Generator** и выставьте **Duty Cycle** (коэффициент заполнения) = 80%. Понаблюдайте за дисплеем осциллографа, отмечая изменения формы сигнала. Нарисуйте вновь полученный сигнал.
22. На анализаторе спектра наблюдайте за тем, как изменился спектр сигнала по сравнению с полученным в п. 20. Нарисуйте получаемый спектр.
23. Ещё раз дважды щёлкните на **Function Generator** и выставьте **Duty Cycle** (коэффициент заполнения) = 99%. Скопируйте в отчёт новый вид сигнала. (*Замечание:* Коэффициент заполнения не удаётся установить равным 100% – это связано с математическим представлением такого сигнала в программе Multisim.)
24. На анализаторе спектра наблюдайте за тем, как изменился спектр сигнала по сравнению с полученными в пп. 20 и 22. Нарисуйте получаемый спектр.
25. Для сигнала пилообразной формы проделайте измерения для 1-ой, 2-ой и 3-ей гармоник, аналогичные полученным в пп. 9–15 для гармо-

ник прямоугольного сигнала (для сигнала пилообразной формы при расчёте амплитуд гармоник следует воспользоваться формулой (2), а для среднеквадратического напряжения – формулой (5)).

26. Заполните табл. 3 для сигнала пилообразной формы.

Таблица 3

Результаты для сигнала пилообразной формы.

	Измеренная частота, кГц	Измеренная амплитуда, В	Расчитанная амплитуда, В	Расчитанное среднеквадратическое напряжение, В	Расчитанная мощность, мВт
f_1					
f_2					
f_3					

Общая (суммарная) мощность в мВт (измеренная) _____

Показания полной мощности в мВт с Ваттметра _____

3. Проверочный расчёт

Рабочие формулы

$$P = \frac{V_{rms}^2}{R} \quad (3)$$

В формулах (4) и (5) используется величина A – амплитуда прямоугольного сигнала (задаётся генератором колебаний, в лабораторной работе это – функциональный генератор XFG1).

Напряжение гармоники прямоугольного сигнала n -го порядка (среднеквадратическое напряжение):

$$E_n = \frac{4A}{n\pi\sqrt{2}} \quad (4)$$

Напряжение гармоники пилообразного сигнала n -го порядка (средне-квадратичское напряжение):

$$E_n = \frac{2A}{n\pi\sqrt{2}}. \quad (5)$$

4. Содержание отчета:

- 1) цель работы;
- 2) схема для исследования спектра сигнала;
- 3) таблицы опытных и расчётных данных (таблицы 2 и 3);
- 4) виды спектров;
- 5) спектры, соответствующие разным сигналам (для прямоугольного сигнала (*Duty Cycle* = 50%, 33% и 25%) и для пилообразного сигнала (*Duty Cycle* = 50, 80 и 99%));
- 6) значения мощности сигналов, рассчитанной для трёх гармоник, и полной мощности;
- 7) выводы по результатам экспериментального исследования.