

Лабораторная работа 3.6.1''

СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

В работе используются: генератор сигналов произвольной формы, цифровой осциллограф с функцией быстрого преобразования Фурье.

ЗАДАНИЕ

1. По техническому описанию ознакомьтесь с устройством панелей приборов: генератора сигналов произвольной формы и цифрового осциллографа. Изучите расположение основных кнопок и ручек настройки.

2. Подключите один из выходов генератора к одному из каналов осциллографа и включите приборы в сеть.

А. Исследование спектра периодической последовательности прямоугольных импульсов

3. Следуя техническому описанию, настройте генератор на прямоугольные импульсы с частотой повторения $\nu_{\text{повт}} = 1 \text{ кГц}$ (период $T = 1 \text{ мс}$) и длительностью импульса $\tau = T/20 = 50 \text{ мкс}$.

4. Получите устойчивую картину сигнала на экране осциллографа.

5. Пользуясь соотношением неопределённостей, предварительно оцените ширину $\Delta\nu$ спектра исследуемого сигнала.

6. Получите на экране осциллографа спектр (преобразование Фурье) сигнала. Для этого

- а. Установите такой период горизонтальной развертки осциллографа, чтобы на экране умещалось не менее 100 импульсов (для периода T масштаб развертки не менее $10 \cdot T \text{ [с/дел]}$). Преобразование Фурье будет проводиться *по сигналу, умещающемуся на экране*.
- б. Включите режим быстрого преобразования Фурье (БПФ) осциллографа и настройте его согласно техническому описанию.
- в. Масштаб по горизонтальной оси установите меньше или порядка ожидаемой ширины спектра $\Delta\nu$ (например, $\Delta\nu/2$).
- г. Подберите масштаб по вертикальной осям так чтобы спектральные линии не выходили выходить за пределы экрана (кроме, может быть, «нулевой» гармоники $\nu = 0 \text{ Гц}$, — она отвечает за уровень постоянного смещения сигнала и ее высота может оказаться значительно выше остальных).
- д. Центр картины при предварительной настройке установите на 0 Гц , а затем после подбора масштабов сместите его так, чтобы спектр занимал весь экран начиная от левого края.

7. Изменяя на генераторе параметры сигнала наблюдайте, как изменяется спектр. Опишите, что происходит со спектром при изменении $\nu_{\text{повт}}$ при фиксированном τ и при изменении τ при фиксированном $\nu_{\text{повт}}$. Сохраните или сфотографируйте 3-4 спектра с различными параметрами (при фиксированном масштабе частот по горизонтали кГц/дел). Изображения приложите к отчёту. Прокомментируйте их различия.

8. Для измерения параметров спектра включите на осциллографе режим курсорных измерений (см. техническое описание).

9. При некоторых фиксированных параметрах $\nu_{\text{повт}}$ и τ измерьте высоты (амплитуды) a_n и частоты ν_n первых 5-7 гармоник спектра и сравните их значения с рассчитанными теоретически по (6.12).

10. Проведите измерения зависимости ширины спектра $\Delta\nu$ от времени импульса τ в диапазоне от 20 до 200 мкс при фиксированной $\nu_{\text{повт}}$ (ширина измеряется от центра спектра до первой нулевой гармоники).

11. Постройте график зависимости $\Delta\nu(1/\tau)$. Проведите наилучшую прямую и по её наклону убедитесь в справедливости соотношения неопределённостей для длительности импульса и ширины спектра. Оцените погрешность данного опыта.

Б. Исследование спектра периодической последовательности цугов

12. Следуя техническому описанию, установите на генераторе режим подачи периодических импульсов синусоидальной формы. Частоту несущей установите $\nu_0 = 50$ кГц, период повторения $T = 1$ мс ($\nu_{\text{повт}} = 1$ кГц), число периодов в одном импульсе $N = 5$ (длительность импульса $\tau = N/\nu_0 = 100$ мкс). Получите на экране осциллографа устойчивую картину цугов.

13. Получите на экране осциллографа спектр сигнала (см. п. 5). Центр картины установите на частоту ν_0 . Масштаб по горизонтали (кГц/дел) — порядка характерной ширины спектра. В чем отличие спектральной картины от полученной в п. 5?

14. Изменяя параметры сигнала ν_0 , T и N наблюдайте, как изменяется вид спектра. Сохраните или сфотографируйте 5-6 спектров с различными комбинациями параметров (при фиксированном масштабе частот по горизонтали кГц/дел). Изображения приложите к отчёту. Прокомментируйте их различия.

15. При фиксированных параметрах $\nu_0 = 50$ кГц и $N = 5$ измерьте (в режиме курсорных измерений) зависимость расстояния $\delta\nu$ между соседними спектральными компонентами сигнала от периода T повторения импульсов. Измерения проведите в диапазоне $T = 0,2 - 5$ мс.

16. Постройте график зависимости $\delta\nu(1/T)$. Проведите наилучшую прямую и сравните результат с теоретическим. Оцените погрешность данного опыта.

В. Исследование спектра амплитудно-модулированного сигнала

17. Следуя техническому описанию, установите на генераторе режим модулированного по амплитуде синусоидального сигнала. Установите частоту несущей $\nu_0 = 50$ кГц, частоту модуляции $\nu_{\text{мод}} = 2$ кГц, глубину модуляции — 50% ($m = 0,5$). Получите на экране осциллографа устойчивую картину сигнала.

18. С помощью осциллографа (в режиме курсорных измерений) измерьте максимальную A_{max} и минимальную A_{min} амплитуды сигнала. Убедитесь в справедливость равенства $m = \frac{A_{\text{max}} - A_{\text{min}}}{A_{\text{max}} + A_{\text{min}}}$.

19. Получите на экране спектр сигнала. С помощью осциллографа измерьте частоты центральной и боковой гармоник (в режиме курсорных измерений). Изменяя несущую частоту ν_0 и частоту модуляции $\nu_{\text{мод}}$, наблюдайте, как изменяется положение спектральных линий. Зарисуйте результат в лабораторный журнал.

20. Меняя на генераторе глубину модуляции m в диапазоне от 10% до 100%, измеряйте отношение $a_{\text{бок}}/a_{\text{осн}}$ амплитуд боковой и основной спектральных линий.

21. Постройте график зависимости $a_{\text{бок}}/a_{\text{осн}}$ от m . Проведите наилучшую прямую и сравните результат теоретическим. Оцените погрешность данного опыта.

Г. *Исследование спектра сигнала, модулированного по фазе

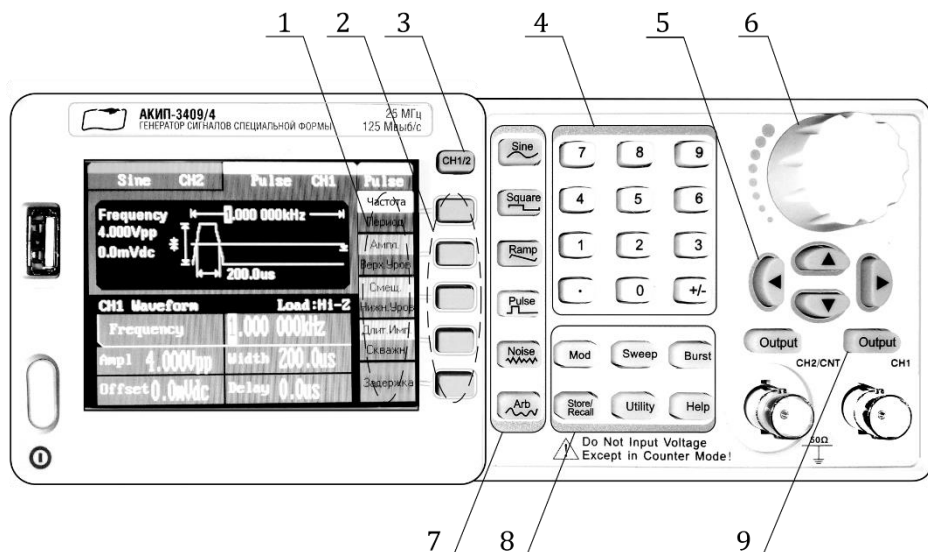
22. Следуя техническому описанию, установите на генераторе режим модулированного по фазе синусоидального сигнала с несущей $\nu_0 = 50$ кГц, частотой модуляции $\nu_{\text{мод}} = 2$ кГц и максимальным отклонением (глубиной модуляции) фазы $\varphi_m = 10^\circ$. Получите на экране осциллографа устойчивую картину сигнала.

23. Получите спектр сигнала, модулированного по фазе, и сравните его со спектром синусоиды, модулированной по амплитуде. Меняя параметры сигнала ν_0 , $\nu_{\text{мод}}$ и φ_m , наблюдайте, как изменяется спектр. Опишите или зарисуйте результат в лабораторный журнал.

Составитель
Попов П.В.

06.09.2019

Генератор сигналов специальной формы АКИП-3409/4



Управление большинством функций генератора осуществляется кнопками **2** рядом с дисплеем генератора. Контекстное назначение кнопок высвечивается в меню с правой стороны дисплея **1**.

Цифровые значения параметров устанавливаются клавиатурой **4**, ручкой плавной регулировки **5** и стрелками курсора **6**.

Блоки кнопок **7** и **8** используются для выбора режима сигнала.

Кнопка «CH1/2» **3** выбирает режим настройки одного из каналов CH1/CH2, сигнал подаётся на соответствующий канал при нажатой кнопке «Output» **9**.

Кнопку «Help» (блок **8**) можно использовать для вызова встроенной контекстной справки.

Генерация прямоугольных импульсов

В блоке **7** выберите режим «Pulse» (остальные кнопки не нажаты). Контекстными кнопками **2** выберите параметр, который необходимо изменить (повторное нажатие кнопки переключает один из двух соответствующих ей параметров):

- частоту/период повторения,
- амплитуду/верхний уровень напряжения,
- смещение/нижний уровень напряжения,
- длительность импульса/скважность импульсов,
- задержку импульса.

Изменяйте значение выбранного параметра кнопками/ручками регулировки **4, 5, 6**. По умолчанию амплитуда сигнала равна 4 В при смещении 0 В (верхний уровень +2 В, нижний -2 В), и данную настройку можно не менять.

Включите генерацию кнопкой «Output» **9**.

Генерация последовательности цугов

В блоке **7** выберите режим «Sine» (остальные кнопки не нажаты). Установите требуемую частоту (или период) несущей синусоиды ν_0 . Для остальных параметров сигнала (амплитуда, смещение, начальная фаза) можно оставить значения по умолчанию.

Нажмите кнопку «Burst» блока **8** (при нажатой «Sine»). Контекстными кнопками **2** и средствами регулировки **4, 5, 6** установите:

- «Период» — период повторения T ;
- выберите режим «N-цикл»;

перейдите к следующей странице настроек, нажав «1/2 ↓», и установите:

- «Циклы» — число циклов N , требуемых по заданию;
- остальные параметры оставьте по умолчанию: «Нач. фаза» — 0; «Источник» — «Внутр.»; «ВыхСинхр.» — «Выкл».

Включите генерацию кнопкой «Output» **9**.

Генерация модулированного синусоидального сигнала

В блоке **7** выберите режим «Sine» (остальные кнопки не нажаты). Установите требуемую частоту (или период) несущей синусоиды ν_0 . Для остальных параметров сигнала (амплитуда, смещение, начальная фаза) можно оставить значения по умолчанию.

В блоке **8** включите режим «Mod» (при нажатой «Sine»). Контекстными кнопками **2** и средствами регулировки **4, 5, 6** установите параметры модуляции:

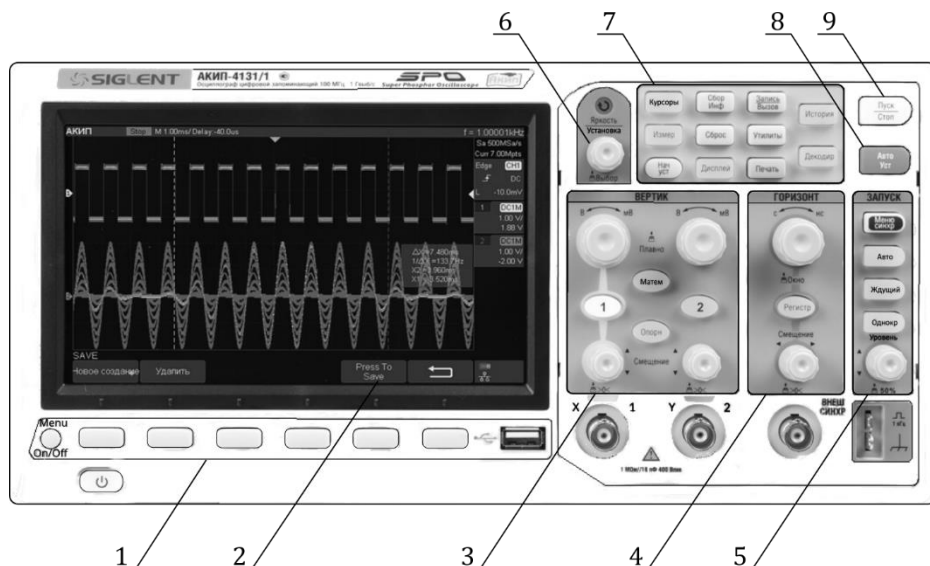
- «Тип» — «АМ» (амплитудная модуляция);
- «АМ част.» — частота модуляции $\nu_{\text{мод}}$;
- «АМ глуб.» — глубина модуляции m (в %);
- «Форма» — «Sine» (синусоидальная модуляция);
- «Источник» — «Внутр.» (модуляция внутреннего сигнала генератора).

Для модуляции сигнала по фазе установите:

- «Тип» — «РМ» (фазовая модуляция);
- «ФМ част.» — частота модуляции $\nu_{\text{мод}}$;
- «Деф. Фаз.» — глубина модуляции φ_m (в градусах).

Включите генерацию кнопкой «Output» **9**.

Цифровой осциллограф SIGLENT АКИП 4131/1



Управление большинством функций осциллографа осуществляется контекстными кнопками **1**, назначение которых высвечивается в нижней части экрана **2**. Для установки соответствующих числовых значений параметров используется ручка «Установка» **6**.

Блок «**ВЕРТИКАЛЬ**» **3** служит для установки масштаба сигнала по вертикальной оси (вольт/дел) и вертикального смещения. Кнопка «**Матем**» включает режим математического преобразования сигнала (в том числе, режим быстрого преобразования Фурье — БПФ).

Блок «**ГОРИЗОНТ**» **4** позволяет изменять временной масштаб по горизонтальной оси (сек/дел) и горизонтальное смещение сигнала.

Блок «**ЗАПУСК**» **5** управляет синхронизацией сигнала (запуском горизонтальной развертки). Кнопки «**Авто**»/«**Ждущий**» включают соответственно автоматический или ждущий режим синхронизации по уровню напряжения, выставляемого ручкой «**Уровень**». Кнопка «**Однокр**» проводит однократную регистрацию сигнала в пределах временного окна, установленного в блоке «**ГОРИЗОНТ**».

Блок кнопок **7** используется для включения дополнительных функций осциллографа и изменения внутренних настроек. В работе используется кнопка «**Курсоры**» для включения режима курсорных измерений. Кнопка «**Запись/Вызов**» позволяет сохранить данные на внешний USB-накопитель.

Кнопка «**Авто Уст**» **8** может быть использована для быстрой автоматической настройки параметров осциллографа и предварительного получения изображения сигнала на экране. Кнопка «**Пуск/Стоп**» **9** запускает/останавливает регистрацию сигнала.

Настройка режима быстрого преобразования Фурье

Подайте исследуемый сигнал на один из каналов (например, СН1) и получите сигнал на экране.

С помощью блока управления горизонтальной разверткой подберите масштаб по горизонтали (сек/дел) так, чтобы на экране поместился весь сигнал, спектр которого необходимо вычислить (спектр вычисляется только по сигналу, помещающемуся на экране, поэтому для получения спектра периодического процесса горизонтальный масштаб должен существенно превосходит период сигнала!).

Включите режим математической обработки, нажав кнопку **«Матем»** в блоке **«ВЕРТИК» 3**. Повторное нажатие кнопки **«Матем»** отключает математический режим и возвращает в режим регистрации сигнала (с сохранением настроек).

С помощью блока кнопок **1** (с контекстным меню **2**) и ручки **«Установка» 6** настройте параметры преобразования Фурье. Параметры размещены на 3-х «страницах», переключаемых крайней правой кнопкой блока **1**.

«Стр 1/3»:

- «Операция» — «БПФ»;
- «Источник» — «СН1»;
- «Окно» — «флэттоп» (подробнее о различных типах окон БПФ см. Приложение);
- «Center» — частота, соответствующая центру картины; при необходимости настраивается ручкой **6**;
- «Hz/div» — масштаб спектра по горизонтали (герц на деление); при необходимости настраивается ручкой **6**;

«Стр 2/3»:

- «Scale» — масштаб по вертикали (вольт/дел или дБ/дел); при необходимости настраивается ручкой **6**;
- «Ref Level» — смещение начала отсчёта (вольт или дБ); при необходимости изменяйте ручкой **6** для смещения спектра по вертикали;
- «ЕдИзм/нагрузка» — установите единицы измерения **«Vrms»** (вольты, среднеквадратичное значение), нагрузку установите равной входному сопротивлению генератора (50 Ω);
- «Режим» — выберите один из режимов отображения: разделенный/полный/эксклюзивный. Для измерений параметров спектра используйте режим «эксклюзивный» (на экране отображается только спектр);

«Стр 3/3»:

- «АВТ» — используйте для предварительной автоматической настройки параметров отображения спектра;
- «Показание» — оставьте значение по умолчанию («Выборка»).

Курсорные измерения

Нажмите кнопку **«Курсоры»** в блоке 7. В контекстном меню выберите «Режим» — «Ручной», «Источник» — «MATH» (для измерений параметров спектра) или CH1 (для измерений параметров сигнала). При измерениях на спектре предварительно включите «эксклюзивный» режим отображения спектра.

Выберите в меню пункт «X-Y» для включений измерений по обеим осям. В контекстном меню выберите одну из направляющих (X1, X2, Y1, Y2 или пары Y2-Y1, X2-X1). Ручкой **«Установка» 6** перемещайте направляющие — их положение отображается в легенде на экране. Нажатие на ручку **«Установка»** также переключает между активными направляющими.

При необходимости вернитесь в режим настройки сигнала (кнопка «1» блока **«ВЕРТИК» 3**) или спектра (кнопка **«Матем»**) и измените масштабы по горизонтали или вертикали, либо сместите положение картины на экране.

Сохранение экрана

Подключите USB-диск к осциллографу. Нажмите кнопку **«Запись/Вызов»** блока 7. Выберите тип сохраняемых данных (например, PNG). Для сохранения нажмите кнопку «Press To Save».