

Лабораторная работа 3.6.1

СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

В работе используются: генератор сигналов произвольной формы, цифровой осциллограф с функцией быстрого преобразования Фурье или цифровой USB-осциллограф, подключённый к персональному компьютеру.

Цель работы: изучить спектры сигналов различной формы и влияние параметров сигнала на вид соответствующих спектров; проверить справедливость соотношений неопределённостей; познакомиться с работой спектральных фильтров на примере *RC*-цепочки.

Перед выполнением работы рекомендуется ознакомиться с основными положениями теоретического Введения к разделу VI (при первом чтении можно пропустить п. 3, 4.3 и 5). Здесь приведём только краткие сведения из теории фурье-анализа.

Ряд Фурье и спектральный анализ. Согласно теореме Фурье, любая периодическая функция может быть представлена в виде ряда (конечного или бесконечного) гармонических функций с кратными частотами — *ряда Фурье* (см. п. 2.1. Введения к разделу). Одно из представлений ряда Фурье для функции с периодом T имеет вид

$$f(t) = \frac{A_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos(2\pi\nu_n t) + B_n \sin(2\pi\nu_n t), \quad (1)$$

где $\nu_n = n\nu_0$, $\nu_0 = \frac{1}{T}$, $n = 1, 2, \dots$ — частоты фурье-гармоник, A_n и B_n — коэффициенты разложения в ряд Фурье. Коэффициенты находятся как

$$A_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cdot \cos(2\pi\nu_n t) dt, \quad B_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cdot \sin(2\pi\nu_n t) dt. \quad (2)$$

На практике зачастую удобнее использовать эквивалентную форму записи ряда Фурье в «представлении амплитуд и фаз»:

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos(2\pi\nu_n t + \varphi_n), \quad (3)$$

где по известной тригонометрической формуле *амплитуда* гармоники равна $a_n = \sqrt{A_n^2 + B_n^2}$, а *фаза* определяется соотношением $\operatorname{tg} \varphi_n = B_n/A_n$.

Отметим, что если функция f чётная, то $B_n \equiv 0$ ($\varphi_n \equiv 0$, разложение по косинусам), а если нечётная, то $A_n \equiv 0$ ($\varphi_n \equiv \pi/2$, разложение по синусам).

Совокупность всех частот ν_n и соответствующих им амплитуд a_n (а также фаз φ_n) часто называют *спектром* функции $f(t)$. Если речь идёт об изменяющемся во времени напряжении, то говорят о *спектре электрического сигнала*.

Спектральный анализ электрических сигналов играет важную роль в технике. Особенно важен он для *линейных* систем, подчиняющихся *принципу суперпозиции*. Если известно, как некоторая система реагирует на гармонический сигнал, с помощью разложения Фурье можно определить, как система будет реагировать на *произвольную* функцию $f(t)$.

Заметим, что спектр периодической функции *дискретен* (число гармоник *счётно*). Если функция *не* периодическая (но ограниченная во времени, например, отдельный «импульс»), её можно представить как предел

периодической функции с очень большим периодом $T \rightarrow \infty$. Тогда частотное расстояние между соседними гармониками $\delta\nu = 1/T$ стремится к нулю. Говорят, что спектр становится *непрерывным*. Разложение в ряд Фурье при этом переходит в *интеграл Фурье* (см. п. 2.2 Введения).

Операцию, при которой функции $f(t)$ ставится в соответствие её ряд (или интеграл) Фурье называют *преобразованием Фурье*. Это преобразование является взаимно-однозначным, а восстановление исходной функции по её спектру называется *обратным преобразованием Фурье*. Однако при спектральном анализе электрических сигналов, как правило, измеряются именно амплитуды $|a_n|$ (или интенсивности $|a_n|^2$) спектральных компонент, а информация об их фазах φ_n *теряется*. Это приводит к тому, что пропадает взаимно-однозначное соответствие между сигналом и спектром, и весьма разные сигналы могут иметь один и тот же амплитудный спектр (пример: амплитудная и фазовая модуляции).

Соотношения неопределённостей. Между сигналом как функцией времени $f(t)$ и его спектром как функции частоты $a(\nu)$ имеется простая и универсальная взаимосвязь. А именно, если у сигнала $f(t)$ есть какое характерное время Δt (например, период повторения, длительность импульса, время нарастания и т.п.), то в спектре $a(\nu)$ в том или ином виде будет наблюдаться характерный масштаб $\Delta\nu \sim 1/\Delta t$ (расстояния между пиками, ширина спектра, ширина пиков и т.п.).

Соотношения вида

$$\Delta\nu \cdot \Delta t \sim 1 \quad (4)$$

принято называть *соотношениями неопределённостей*. Конкретный вид соотношения неопределённостей зависит от обстоятельств, в которых оно применяется.

Например, если $\Delta t = \tau$ — характерная *длительность* импульса, то характерная *ширина* спектра по порядку величины будет равна $\Delta\nu \sim 1/\tau$. Здесь единица в правой части (4) — это единица именно *по порядку величины*. Конкретное числовое значение зависит, во-первых, от детальной формы сигнала, и, во-вторых, от того, что именно мы называем «характерным» временем и что — «шириной» спектра.

Другой пример, для любого сигнала с периодом T в спектре обязательно будут наблюдаться гармоники на расстоянии $\delta\nu = 1/T$ друг от друга. В данном случае соотношение является точным и от формы сигнала не зависит.

Методы спектрального анализа. Современные методы спектрального анализа электрических сигналов можно разделить на два типа: цифровые (математические) и аналоговые (физические).

Простейшим *физическим* анализатором частот является высокочастотный колебательный контур (RLC -цепочка). Такой контур, как известно, хорошо откликается на частоты, близкие к его резонансной, и почти не реагирует на частоты, находящиеся за пределами его узкой (т.к. контур высокочастотный) амплитудно-частотной характеристики. Подстраивая параметры контура и изменяя его резонансную частоту, можно «просканировать» весь частотный спектр поступающего на него сигнала. В современной лаборатории спектральные приборы, основанные на физических методах (как

правило, довольно дорогостоящие), применяются для анализа высоких частот (сотни мегагерц и более).

Если же частота исследуемого сигнала не слишком велика (заведомо меньше тактовой частоты процессоров), современная цифровая техника позволяет проводить частотный анализ сигналов в реальном времени непосредственно по математическим формулам (2). Входящий сигнал при этом оцифровывается (дискретизируется) и, с помощью так называемого алгоритма «быстрого преобразования Фурье», осуществляется вычисление частот и амплитуд его гармоник.

Цифровой спектральный анализ имеет две отличительные особенности, о которых стоит упомянуть.

Во-первых, при цифровом анализе возникает *частота дискретизации* $\nu_{\text{дискр}}$, то есть частота, с которой считываются значения напряжения, подаваемого на входной канал анализатора. Ясно, что дискретизация не позволит исследовать спектр частот, превышающих частоту $\nu_{\text{дискр}}$, и исказит спектр вблизи неё. Поэтому надёжно получать спектр можно лишь на достаточно низких частотах $\nu \ll \nu_{\text{дискр}}$, когда влияние дискретности минимально (точнее, как следует из *теоремы Котельникова*, необходимо выполнение условия $\nu < \nu_{\text{дискр}}/2$). *Внутренняя частота дискретизации осциллографов* обычно велика (типичное значение — 1 ГГц), однако для преобразования Фурье в целях оптимизации скорости работы она может *существенно* урезаться. В настройках цифровых осциллографов часто используется параметр «количество точек» на интервал времени. Например, если сигнал записывался в течение 1 с, то при стандартных для многих осциллографов 4096 точках дискретизации, спектр будет заведомо ограничен лишь частотой ~ 2 кГц!

Во-вторых, интервал времени Δt , в течение которого регистрируется сигнал, всегда *ограничен*. Для анализа сигнала вырезается его участок — «окно» $t \in [t_0; t_0 + \Delta t]$. Такое преобразование Фурье часто называют «оконным». Из-за ограниченности размеров «окна» неизбежно возникают дополнительные искажения спектра (их можно назвать «краевыми эффектами»). Чтобы компенсировать эти искажения, значениям регистрируемой функции в пределах «окна» придают разный вес. В таком случае говорят об «оконной» (или «весовой») функции преобразования Фурье. На практике применяются различные оконные функции, каждая из которых обладает своими достоинствами и недостатками (одни уменьшают шумы, другие уменьшают ширину пиков и погрешность частоты, третьи погрешность измерения амплитуд и т.д.). В нашей работе важно аккуратное измерения амплитуд, для чего лучше всего подходят окна «с плоской вершиной» (flat top) и, в меньшей степени, Блэкмана (Blackman). Для более точного измерения частот предпочтительнее окна Ханна (Hann) и Хэмминга (Hamming).

ЗАДАНИЕ

1. По техническому описанию ознакомьтесь с устройством панелей приборов: генератора сигналов произвольной формы и цифрового осциллографа / компьютерной программы, используемой для отображения сигналов с 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 и проверка соотношений неопределённостей

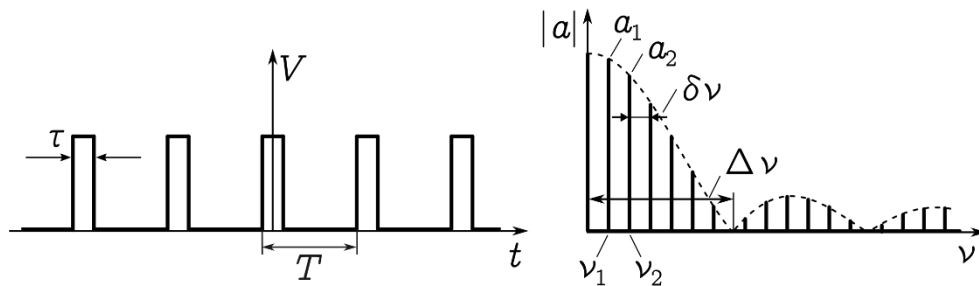


Рис. 1. Периодическая последовательность импульсов и её спектр

3. Следуя техническому описанию генератора (п. А), настройте генерацию прямоугольных импульсов. Рекомендуемые параметры: частота повторения $\nu_{\text{повт}} = 1 \text{ кГц}$ (период $T = 1/\nu_{\text{повт}} = 1 \text{ мс}$), и длительность импульса $\tau = T/20 = 50 \text{ мкс}$.
4. Получите устойчивую картину сигнала на экране осциллографа (см. техническое описание осциллографа, п. I).
5. Следуя техническому описанию осциллографа (п. II), получите на его экране спектр (преобразование Фурье) сигнала.

Масштаб по горизонтальной оси установите меньше или порядка ожидаемой ширины спектра $\Delta \nu$ (ширина спектра оценивается из соотношения неопределённостей).

Масштаб по вертикальной осям подберите так, чтобы спектральные линии не выходили 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).

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.

6. Изменяя на генераторе параметры сигнала, наблюдайте, как изменяется спектр. Запишите в лабораторном журнале, что происходит со спектром: а) при изменении $\nu_{\text{повт}}$ при фиксированном τ и б) при изменении τ при фиксированном $\nu_{\text{повт}}$. Сохраните или сфотографируйте несколько (3–4) спектров с различными параметрами (при *фиксированных масштабах* частот по горизонтали кГц/дел и амплитуд по вертикали). Изображения приложите к отчёту и прокомментируйте их различия.

7. Ознакомьтесь с методикой измерения параметров спектра (см. техническое описание осциллографа, п. III). При некоторых фиксированных параметрах $\nu_{\text{повт}}$ и τ (например, заданных в п. 3) измерьте амплитуды a_n и частоты ν_n нескольких (6–8) спектральных компонент (*гармоник*). Сравните значения с рассчитанными теоретически (см. Пример 3 Введения к разделу VI):

$$\nu_n = \frac{n}{T}, \quad |a_n| = \frac{\left| \sin \frac{\pi n \tau}{T} \right|}{\pi n} = \frac{\tau}{T} \frac{|\sin \pi \nu_n \tau|}{\pi \nu_n \tau}.$$

Поскольку единицы измерения амплитуд гармоник произвольны, следует сравнивать их *относительные* величины, например $|a_n/a_1|$. Результаты занесите в таблицу:

n	1	2	...
$\nu_n^{\text{эксп}}, \text{Гц}$			
$\nu_n^{\text{теор}}, \text{Гц}$			
$ a_n ^{\text{эксп}}, \text{усл. ед.}$			
$ a_n/a_1 ^{\text{эксп}}$	1		
$ a_n/a_1 ^{\text{теор}}$	1		

8. Зафиксируйте период повторения T прямоугольного сигнала (например, $T = 1 \text{ мс}$, $\nu_{\text{повт}} = 1 \text{ кГц}$). Изменяя длительность импульса τ в диапазоне от $\tau = T/50$ до $\tau = T/5$, измерьте полную ширину спектра сигнала $\Delta\nu$ — от центра спектра ($\nu = 0$) до гармоники с нулевой амплитудой $a_n \approx 0$.
9. Зафиксируйте длительность импульса прямоугольного сигнала (например, $\tau = 100 \text{ мкс}$). Изменяя период повторения T в диапазоне от 2τ до 50τ измерьте расстояния $\delta\nu = \nu_{n+1} - \nu_n$ между соседними гармониками спектра. Если спектральные компоненты окажутся расположены слишком близко друг к другу, измерьте расстояние между $(n + m)$ -й и m -й гармониками (для некоторых целых n и m) найдите $\delta\nu = (\nu_{n+m} - \nu_n)/m$.
10. Постройте графики зависимостей $\Delta\nu(1/\tau)$ и $\delta\nu(1/T)$. Проведите наилучшие прямые и определите их наклон. Убедитесь в справедливости *соотношений неопределённости* (см. п. 2.3. Введения). Оцените погрешности.

Б. Наблюдение спектра периодической последовательности цугов

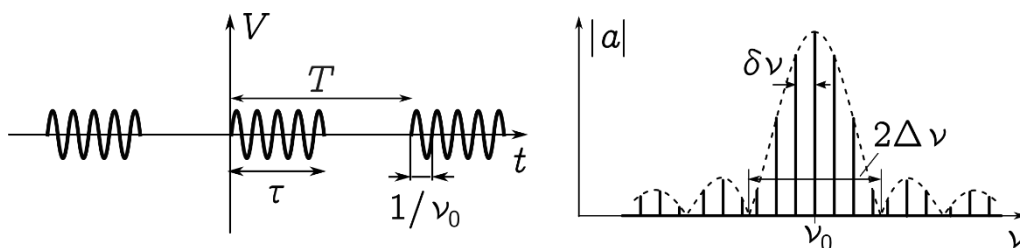


Рис. 2. Периодическая последовательность цугов и её спектр

11. Следуя техническому описанию генератора (п. Б), установите на режим подачи периодических импульсов синусоидальной формы («цугов»). Рекомендуемые параметры: частота несущей $\nu_0 = 50 \text{ кГц}$, период повторения

$T = 1 \text{ мс}$ ($\nu_{\text{повт}} = 1 \text{ кГц}$), число периодов синусоиды в одном импульсе $N = 5$ (что соответствует длительности импульса $\tau = N/\nu_0 = 100 \text{ мкс}$). Получите на экране осциллографа устойчивую картину сигнала.

12. Получите на экране осциллографа спектр сигнала. Центр картины установите на частоту ν_0 . Масштаб по горизонтали (кГц/дел) подберите так, чтобы спектр помещался на экране.
13. Изменяя параметры сигнала ν_0 , T и N наблюдайте, как изменяется вид спектра. Сравните наблюдаемые спектры со спектрами прямоугольных импульсов. Сохраните или сфотографируйте несколько (3–4) изображений спектров, подтверждающих результаты наблюдений. Изображения приложите к отчёту и прокомментируйте их.
14. При параметрах сигнала, соответствующих сохранённым в предыдущем пункте изображениям, измерьте положение центра спектра, его ширину $\Delta\nu$ и расстояние между гармониками $\delta\nu$. Убедитесь в справедливости *теоремы смещения* (см. п. 3 Введения) и *соотношений неопределённостей*.

В. *Наблюдение спектра периодической последовательности гауссианов

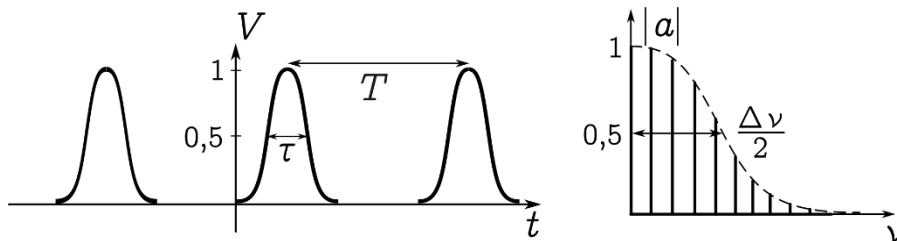


Рис. 3. Периодическая последовательность гауссианов и её спектр

15. Следуя техническому описанию генератора (п. В), установите режим подачи периодической последовательности «гауссианов» (функций вида $f(t) \sim e^{-t^2/2\tau^2}$) или другую особую форму сигнала по указанию преподавателя. Рекомендуемые параметры: частота «несущей» $\nu_0 = 1 \text{ кГц}$ (длительность импульса $\tau = 1/\nu_0 = 1 \text{ мс}$), период повторения $T = 10\tau = 10 \text{ мс}$. Получите на экране осциллографа устойчивую картину.
16. Получите на экране осциллографа спектр сигнала. Изменяя параметры сигнала, наблюдайте, как изменяется вид спектра. Подберите 3–4 комбинации параметров для детального изучения. Сохраните или сфотографируйте соответствующие спектры сигналов, изображения спектров приложите к отчёту и прокомментируйте их различия.
17. Измерьте ширину отдельного импульса τ и ширину его спектра $\Delta\nu$ (за характерную ширину кривой примите её полную ширину на половине высоте, см. рис. 3). Проверьте справедливость соотношения неопределённостей. Отличается ли оно от соотношения неопределённостей для прямоугольных импульсов?
18. **Получите (самостоятельно) формулу для коэффициентов разложения наблюдаемого сигнала в ряд Фурье и сравните теоретически и экспериментально получаемые спектры.

Г. Исследование спектра амплитудно-модулированного сигнала

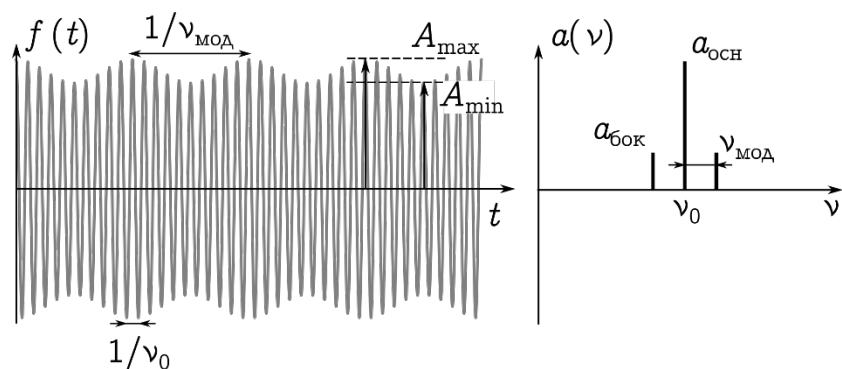


Рис. 4. Гармонический амплитудно-модулированный сигнал и его спектр

19. Следуя техническому описанию генератора (п. Г), установите на генераторе режим *модулированного по амплитуде* синусоидального сигнала (теоретические сведения см. в п. 4.1 и 4.2 Введения к разделу). Рекомендуемые параметры: частота несущей $\nu_0 = 50$ кГц, частота модуляции $\nu_{\text{мод}} = 2$ кГц, глубина модуляции 50% ($m = 0,5$). Получите на экране осциллографа устойчивую картину сигнала.
20. С помощью осциллографа (в режиме курсорных измерений) измерьте максимальную A_{max} и минимальную A_{min} амплитуды сигнала. Убедитесь в справедливость равенства $m = \frac{A_{\text{max}} - A_{\text{min}}}{A_{\text{max}} + A_{\text{min}}}$.
21. 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. Запишите (зарисуйте) результат в лабораторный журнал.
22. Изменяя на генераторе глубину модуляции m в диапазоне от 10% до 100% (всего 6-8 точек), измеряйте отношение амплитуд боковой и основной спектральных линий $a_{\text{бок}}/a_{\text{осн}}$.
23. Постройте график зависимости $a_{\text{бок}}/a_{\text{осн}}$ от m и проверьте, совпадает ли результат с теоретическим (см. п. 4.2. Введения).

Д. *Наблюдение спектра сигнала, модулированного по фазе

24. Следуя техническому описанию генератора (п. Е), 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 $\varphi_m = 30^\circ$. Получите на экране осциллографа устойчивую картину сигнала.
25. Получите спектр сигнала. Меняя параметры сигнала ν_0 , $\nu_{\text{мод}}$ и φ_m , наблюдайте, как изменяется сигнал и его спектр. Сравните его со спектром синусоиды, модулированной по амплитуде. При каких параметрах эти спектры начинают различаться? Опишите или зарисуйте результаты в лабораторном журнале.

Е. Изучение фильтрации сигналов

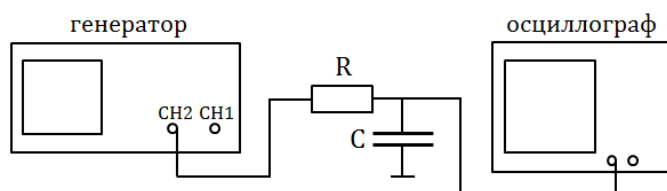
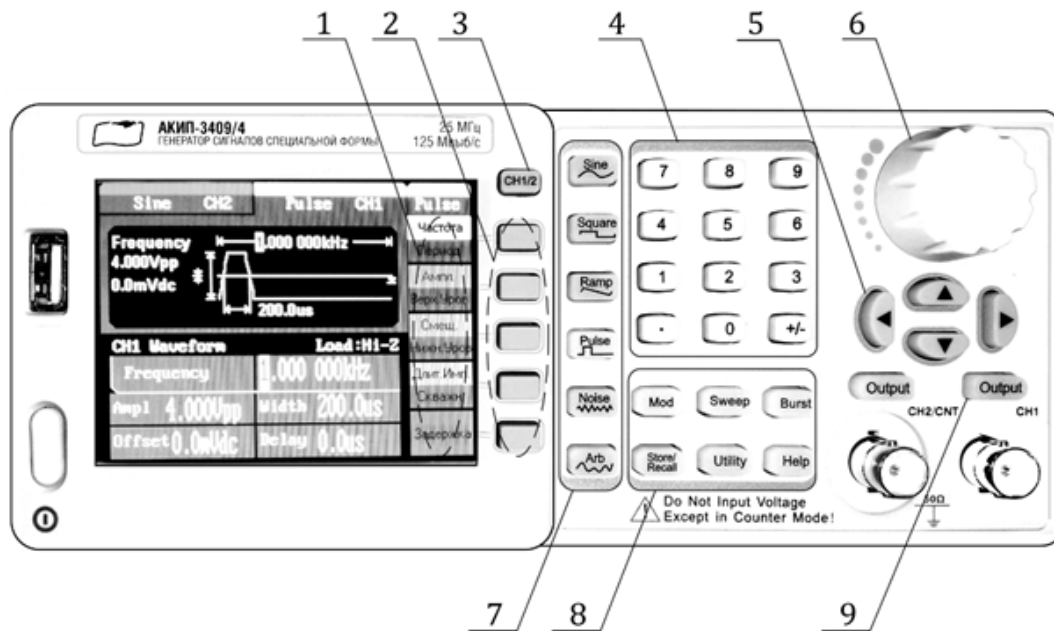


Рис. 5. Схема экспериментальной установки для изучения фильтрации сигналов

26. Для RC -цепочки (RC -фильтр низких частот) с известными сопротивлением и ёмкостью рассчитайте её характерное время $\tau_{RC} = RC$ и соответствующую частоту $\nu_{RC} = 1/\tau_{RC}$. Соберите схему согласно рис. 4. Подайте на вход RC -цепочки последовательность прямоугольных импульсов с периодом повторения $T \sim \tau_{RC}$ и длительностью $\tau \sim T/20$.
27. Наблюдайте форму сигнала и его спектр на выходе RC -цепочки («фильтрованный» сигнал) при различных значениях периода повторения T . Зарисуйте (сфотографируйте/сохраните) несколько характерных осциллограмм сигналов и их спектры.
28. При некотором фиксированном периоде T проведите измерения отношений амплитуд соответствующих спектральных гармоник (для 7–9 гармоник) фильтрованного и исходного сигналов: $K_n = |a_n^\phi|/|a_n^0|$. Чтобы измерить амплитуды a_n^0 спектра исходного сигнала переподключите генератор к первому каналу осциллографа напрямую или с помощью отдельного кабеля подайте нефильтрованный сигнал на второй канал осциллографа.
29. Постройте график зависимости амплитудного коэффициента фильтрации $K(\nu)$ от частоты $\nu = n\nu_0$. Убедитесь в том, что экспериментальная зависимость совпадает с теоретической (теоретическую зависимость получите самостоятельно, см. Пример 2 Введения к разделу). По полученной зависимости определите временную постоянную RC -цепочки τ_{RC} и сравните результат с непосредственным расчётом по формуле $\tau_{RC} = RC$. Оцените погрешности.

Составители
Мартынова И.А., Попов П.В.
23 сентября 2023 г.

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 цифровой клавиатурой **4**, стрелками курсора **5** и ручкой плавной регулировки **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.

А. 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 (freq/period),
- амплитуду/верхний уровень напряжения (Ampl/HLevel),
- смещение/нижний уровень напряжения (Offset/LLevel),
- длительность импульса/скважность импульсов (PulWidth/Duty),
- задержку импульса (Delay).

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**.

Б. 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 подсвеченной «**Sine**») — включится режим настройки последовательности импульсов заданной формы. Контекстными кнопками **2** и средствами регулировки **4**, **5**, **6** установите:

- «Период» («Period») — период повторения T ;
- выберите режим «N-цикл» («Ncycle»);
перейдите к следующей странице настроек, нажав «1/2 ↓», и установите:
- «Циклы» («Cycles») — число циклов N , требуемых по заданию (количество пиков синусоиды в отдельном цуге);
- остальные параметры оставьте *по умолчанию*: «Нач. фаза» — 0; «Источник» — «Внутр.»; «ВыхСинхр.» — «Выкл».

Включите генерацию кнопкой «Output» 9.

В. Генерация периодической последовательности гауссианов

В блоке 7 выберите режим «Arb» (остальные кнопки не нажаты) — генерация произвольных сигналов. Воспользуйтесь библиотекой сигналов, которая размещена на 2-й «странице» режима «Arb». Для переключения с первой страницы на вторую нажмите на панели 2 нижнюю кнопку $\frac{1}{2}$ со стрелкой вниз. На второй странице на той же панели 2 нажмите «Загр. Форм.» («Load Wform») → встроенные функции «Встр.» («Built-In») → → математические «Математ.» («Math») → помощью стрелок курсора 5 выберите «Gaussian» (или другую форму по указанию преподавателя) → нажмите «Выбор» («Select»).

В настройках установите желаемую частоту несущей синусоиды, используемой для генерации отдельного гауссова пика. В данном случае эта частота ν_0 приблизительно задаёт ширину отдельного импульса ($\tau \sim 1/\nu_0$). Амплитуду, смещение и начальную фазу можно оставить по умолчанию.

Нажмите кнопку «Burst» блока 8 (при подсвеченной «Arb»). Установите желаемый период следования импульсов. Остальные параметры можно не изменять; по умолчанию установлены: тип — «N-цикл» («Ncycle»), количество циклов (Cycles) — 1Сус, источник (Source) — внутренний «Внутр.» («Internal»), «ВыхСинхр.» («Trig Out») — «Выкл» («Off»).

Включите генерацию кнопкой «Output» 9.

Г. 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 подсвеченной «Sine»). Контекстными кнопками 2 и средствами регулировки 4, 5, 6 установите параметры модуляции:

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

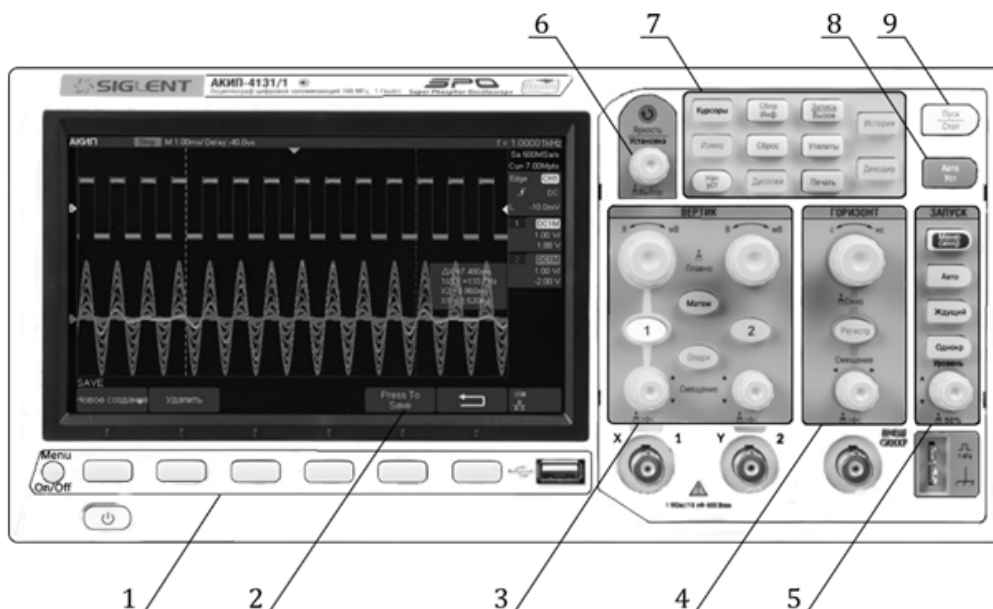
Д. Генерация модулированного синусоидального сигнала

Для модуляции сигнала *по фазе*, действуя аналогично пункту Г, установите:

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

Включите генерацию кнопкой «Output» 9.

Цифровой осциллограф SIGLENT АКИП 4131/1



I. Общие сведения

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

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, задаваемого ручкой «**Уровень**». Кнопка «**Однокр**» проводит однократную регистрацию сигнала в пределах временного окна, установленного в блоке «**ГОРИЗОНТ**».

Блок **7** содержит дополнительные функции 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.

II. Настройка режима быстрого преобразования Фурье

Подайте исследуемый сигнал на один из каналов осциллографа (например, **CH1**) и получите устойчивый сигнал на экране.

В данной модели осциллографа спектр вычисляется только по сигналу, *помещающемуся на экране* (т.е. сигнал, не попавший на экран, **не учитывается**). Поэтому предварительно установите такой масштаб по вертикали, чтобы сигнал *целиком* умещался на экране осциллографа и *не выходил за его пределы*. Период горизонтальной развертки осциллографа (масштаб по горизонтали) установите такой, чтобы на экране умещалось *не менее 100 периодов* исследуемого сигнала. Для этого цену деления горизонтальной развертки установите равной $\approx 10 \cdot T$ [сек/дел], где T — период сигнала (поскольку на экране умещается 10 делений).

ВНИМАНИЕ! После этого **НЕ МЕНЯЙТЕ** положение ручек настройки вертикального и горизонтального масштаба 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**. Для первичной настройки используйте кнопку **«АВТ»**, расположенной на «странице» 3.

«Стр 1/3»:

- «Операция» — **«БПФ»** (быстрое преобразование Фурье);
- «Источник» — **«СН1»**;
- «Окно» — **«ФЛЭТ-ТОП»** или **«Блэкман»** (наиболее подходящие оконные функции для измерения амплитуд гармоник);
- «Center» — частота, соответствующая центру картины; при необходимости настраивается ручкой **6**; при начальной настройке установите на 0;
- «Hz/div» — масштаб спектра по горизонтали (герц на деление); при необходимости настраивается ручкой **6**; при начальной настройке установите на 1 кГц/дел;

«Стр 2/3»:

- «Scale» — масштаб по вертикали (вольт/дел или дБ/дел); при необходимости настраивается ручкой **6**; при начальной настройке установите 0,5 В/дел;
- «Ref Level» — смещение начала отсчёта (вольт или дБ); при необходимости измените 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»**).

III. Курсорные измерения

Нажмите кнопку **«Курсоры»** в блоке **7**. В контекстном меню выберите **«Режим»** — **«Ручной»**, **«Источник»** — **«MATH»** (для измерений параметров спектра) или **СН1** (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.

IV. Сохранение экрана

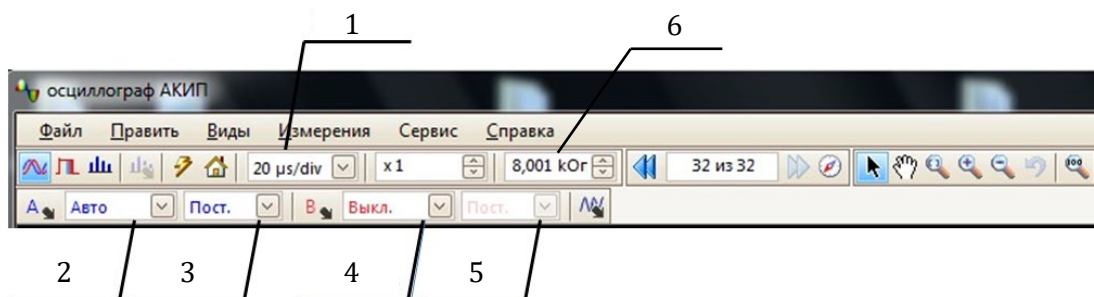
Подключите USB-диск к осциллографу. Нажмите кнопку **«Запись/Вызов»** блока **7**. Выберите тип сохраняемых данных (например, PNG). Для сохранения нажмите кнопку **«Press To Save»**.

Программа PicoScore-6 как экран цифрового осциллографа

Программа "PicoScore 6" предназначена для отображения электрических сигналов, поступающих на входной канал USB-осциллографа. Программа может работать как в режиме осциллографа, так и в режиме спектроанализатора. Для запуска программы "PicoScore 6" воспользуйтесь ярлыком на рабочем столе компьютера.

I. Общие сведения

Верхняя панель инструментов:



— режим **«Осциллограф»**: переключает в режим прибора с временной развёрткой;



— режим **«Спектр»**: переключает в режим прибора с частотной развёрткой;



— параметры спектра: позволяет настроить вид режима «Спектр»;



— «Автоматическая настройка»: выбираются лучшие параметры для захвата текущего сигнала.

Поле 1 — масштаб по горизонтальной оси (время / деления).



– функции «Выбор», «Перемещение», «Масштабирование +» и «Масштабирование –»: позволяют выбирать элементы рабочего экрана (например, графики сигналов), перемещать и масштабировать их;



— настройки **канала «А»** осциллографа:

Поле 2 (для канала «А») — амплитуда сигнала по вертикальной оси (вольт / деления). Также, при нажатии на это поле можно отключить сигнал («Откл.») или настроить амплитуду сигнала автоматически («Авто»);

Поле 3 (для канала «А») — выбор типа сигнала: **«Пост.»** — постоянный («открытый вход»), **«Пер.»** — переменный («закрытый вход»).

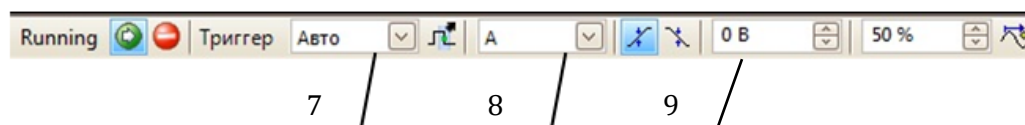


– настройки **канала «В»** осциллографа:

Поле 4 и 5 (для канала «В») — аналогичны полям 2 и 3, но для канала «В».

Поле 6 — количество измерений, производимых осциллографом в секунду (частота дискретизации сигнала).

Нижняя панель инструментов (блок синхронизации):





Поле 7 – определяет значение поля **Триггер** (синхронизация) по сигналу с канала, указанного в **Поле 8**. Для автоматической синхронизации установите режим «Авто». **Поле 9** устанавливает *уровень* синхронизации (можно изменять как вручную, так и перемещением жёлтого ромбика — маркера синхронизации).

II. Настройка режима просмотра параметров спектра



Проверьте соединение блоков экспериментальной установки (один из каналов осциллографа "CH1" или "CH2" должен быть соединён с разъёмом «А» или «В»). В настройках

программы отключите отображение неиспользуемого канала. Настройте сигнал генератора и подайте его на осциллограф.


Включите режим «Осциллограф» . Установите автоматический запуск развёртки по сигналу с нужного канала (нижняя панель «Триггер», режим «Авто»). Нажмите кнопку автоматической настройки  и получите на экране устойчивое изображение сигнала. Уровень запуска синхронизации можно изменить, перемещая мышкой жёлтый ромбик-маркер уровня запуска.

Установите в **поле 6** частоту дискретизации (количество выборок в секунду), равной максимальной для данной модели осциллографа (указано на его корпусе).

Подберите масштаб по вертикали (поле 2), так чтобы сигнал занимал большую часть экрана по вертикали, но *не выходил за его пределы*.

Перейдите в режим «Спектр» . Установите параметры спектра : «Масштаб» — линейный; «Элементы разрешения спектра» — максимально (1М); «Функция окна» — «окно с плоской вершиной» (можно попробовать и другие оконные функции).

В **поле 1** установите диапазон измерения спектра (максимальную частоту). Не рекомендуется устанавливать слишком большие или слишком малые диапазоны, поскольку в первом случае разрешение спектра будет недостаточным, а во втором будут видны *не все* существенные гармоники спектра. Рекомендуемое начальное значение: $\sim 50\nu_0$, где $\nu_0 = 2\pi/T$ — частота следования исследуемых импульсов.

С помощью кнопок масштабирования ( и другие) подберите масштаб, при котором удобно наблюдать спектр и измерять его параметры. При попытке изменения масштаба появится мини-окно «Общий вид», где удобно выбирать область спектра, которую вы хотите наблюдать.


ВНИМАНИЕ! Не изменяйте настройку масштаба сигнала канала по вертикали в **поле 2** или **4** (можно оставить её в режиме «Авто»)! Если сигнал выйдет за пределы «экрана», он будет обрезан и это исказит спектр.

Чтобы наблюдать *одновременно* и сигнал с осциллографа и его спектр — нажмите правой кнопкой мыши по рабочей области, выберите «Добавить вид» → «Осциллограф».

III. Измерение координат спектра

Для измерения координаты по вертикали наведите курсор на синий (для канала А) или красный (для канала В) квадрат в черной рамке, который находится около вертикальной оси в левом верхнем углу рабочей области. Перемещайте курсор до необходимого положения. В появившейся на экране таблице будет записана искомая координата.

Для измерения координаты по горизонтали наведите курсор на белый квадрат в черной рамке, который находится около горизонтальной оси в левом нижнем углу рабочей области. Перемещайте курсор до необходимого положения. В появившейся на экране таблице будет показана искомая координата.

Кроме того, координаты точки будут подсвечены при нажатии на произвольную точку спектра в режиме «Выбора» .

IV. Сохранение экрана

Предварительно создайте на рабочем столе компьютера отдельную папку для сохранения ваших изображений с именем в формате «Группа_Фамилия_Дата». Ваши файлы будут храниться в течение учебного года.

Для сохранения сигнала или спектра выберите в меню программы «Файл» -> «Сохранить как...». Выберите тип файла для сохранения (для сохранения изображений рекомендуется тип PNG). Сохраните изображение в вашу папку.