

Спектральный анализ электрических сигналов*

Иван Едигарьев,
Московский Физико-Технический Институт
Факультет Общей и Прикладной Физики, 526т

Цель работы: 1) изучение спектрального состава периодических электрических сигналов.

В работе используются: анализатор спектра СК4-56, генератор прямоугольных импульсов Г5-54, генератор сигналов специальной формы Г6-34, осциллограф С1-76.

В работе изучается спектральный состав периодических электрических сигналов различной формы: последовательности прямоугольных импульсов, последовательности цугов и амплитудно-модулированных гармонических колебаний. Спектры этих сигналов наблюдаются с помощью промышленного анализатора спектра и сравниваются с рассчитанными теоретически.

I. ПРИНЦИП РАБОТЫ СПЕКТРОАНАЛИЗАТОРА.

Для исследования спектров в работе используется гетеродинный анализатор спектра типа СК4-56. Принцип работы анализатора заключается в следующем: входные цепи анализатора последовательно преобразуют поступающие на его вход колебания с разными частотами в колебания вполне определённой промежуточной частоты; выходной прибор (в нашем случае это электроннолучевая трубка — ЭЛТ) воспроизводит амплитуду сигнала промежуточной частоты. Напряжение, пропорциональное частоте сигнала, который в данный момент преобразуется в сигнал промежуточной частоты, подаётся на вход X ЭЛТ; напряжение, пропорциональное амплитуде исследуемой гармоник, поступает на вход Y . На экране анализатора возникает, таким образом, график, изображающий зависимость амплитуды гармоник от частоты, т.е. Фурье-спектр исследуемого сигнала. Для преобразования частоты колебаний, относящихся к исследуемому участку спектра, в сигнал промежуточной частоты служит нелинейный элемент (смеситель), на вход которого подаются исследуемый сигнал и сигнал со вспомогательного генератора колебаний регулируемой частоты (с гетеродина). При нелинейном сложении этих колебаний на выходе смесителя возникают сигналы суммарной и разностной частоты.

Для анализа используется только разностный сигнал. Смещение частот исследуемого сигнала и частоты гетеродина лежит в основе большинства современных радиоприёмных устройств — супергетеродинов.

Упрощённая структурная схема, поясняющая последовательный супергетеродинный метод спектрального анализа внешнего сигнала, изображена на рис. 1. Исследуемый сигнал $f(t)$ поступает на смеситель, на который одновременно подаётся напряжение с гетеродина. Разностный по частоте

сигнал подаётся на фильтр, пропускающий очень узкую полосу частот, усиливается, детектируется, вновь усиливается и подводится на вертикальный вход ЭЛТ.

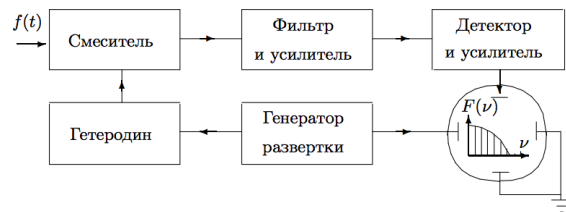


Рис. 1. Структурная схема анализатора спектра

Частота гетеродина управляется пилообразным напряжением, которое вырабатывается в генераторе развертки. Сигнал с генератора подаётся также на горизонтальный вход ЭЛТ. Частота сигналов, вырабатываемых гетеродином, изменяется в пределах от 128 до 188 кГц. Фильтр настроен на частоту 128 кГц. Прибор анализирует, таким образом, колебания с частотами, лежащими между $128 - 128 = 0$ кГц и $188 - 128 = 60$ кГц.

II. ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРА ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ ИМПУЛЬСОВ.

A. Экспериментальная установка

Схема для исследования спектра периодической последовательности прямоугольных импульсов представлена на рис. 2. Сигнал с выхода генератора прямоугольных импульсов Г5-54 подаётся на вход анализатора спектра и одновременно — на вход Y осциллографа. С генератора импульсов на осциллограф подаётся также сигнал синхронизации, запускающий ждущую развертку осциллографа. При этом на экране осциллографа можно наблюдать саму последовательность прямоугольных импульсов, а на

* 3.6.1

экране ЭЛТ анализатора спектра — распределение амплитуд спектральных составляющих этой последовательности.

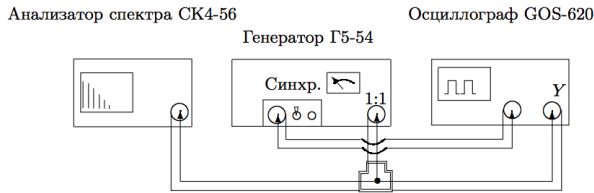


Рис. 2. Схема для исследования спектра периодической последовательности прямоугольных импульсов

В наблюдаемом спектре отсутствует информация об амплитуде нулевой гармоники, т. е. о величине постоянной составляющей; её местоположение (начало отсчёта шкалы частот) отмечено небольшим вертикальным выбросом.

В. Задание

В этом упражнении исследуется зависимость ширины спектра периодической последовательности прямоугольных импульсов от длительности отдельного импульса.

1. Соберите схему согласно рис. 2 и включите в сеть только генератор Г5-54.
2. Познакомьтесь с назначением ручек управления генератора и осциллографа по техническому описанию, расположенному на установке (ТО, разделы I и II).
3. Подготовьте установку к измерениям, следуя техническому описанию (см. ТО, раздел III А).
4. Установив на анализаторе режим работы с однократной развёрткой, получите на его экране спектр импульсов с параметрами $f_{\text{повт}} = 10^3$ Гц; $\tau = 25$ мкс; частотный масштаб $m_x = 5$ кГц/дел (см. ТО, III А, п. 7).
5. Проанализируйте, как меняется спектр ($\Delta\nu$ и $\delta\nu$ на рис. П.3): а) при увеличении τ вдвое при неизменном $f_{\text{повт}} = 1$ кГц; б) при увеличении $f_{\text{повт}}$ вдвое при неизменном $\tau = 25$ мкс. Опишите результаты или зарисуйте в тетрадь качественную картину.
6. Проведите измерения зависимости ширины спектра от длительности импульса $\Delta\nu(\tau)$ при увеличении τ от 25 до 200 мкс (6–8 значений при $f_{\text{повт}} = 1$ кГц и масштабе по горизонтали $m_x = 5$ кГц/дел).
7. Скопируйте на кальку огибающие спектров с параметрами: $f_{\text{повт}} = 1$ кГц, $m_x = 5$ кГц/дел, а) $\tau = 50$ мкс, б) $\tau = 100$ мкс. Запишите на кальках эти параметры и приложите кальки к отчёту.
8. Постройте график $\Delta\nu(1/\tau)$ и по его наклону убедитесь в справедливости соотношения неопределённостей.

III. ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРА ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ЦУГОВ ГАРМОНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ.

А. Экспериментальная установка

Исследование спектра периодически чередующихся цугов гармонических колебаний проводится по схеме, изображённой на рис. 3. Генератор Г6-34 вырабатывает синусоидальные колебания высокой частоты. На вход АМ (амплитудная модуляция) генератора Г6-34 подаются прямоугольные импульсы с генератора Г5-54 и синусоида модулируется — «нарезается» на отдельные куски — *цуги*. Эти цуги с выхода генератора Г6-34 поступают на вход спектроанализатора и одновременно на вход Y осциллографа. Сигнал синхронизации подаётся на вход осциллографа с генератора импульсов.

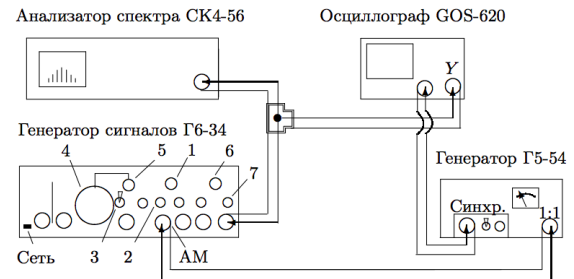


Рис. 3. Схема для исследования спектра периодической последовательности цугов высокочастотных колебаний

В. Задание

В этом упражнении исследуется зависимость расстояния между ближайшими спектральными компонентами от частоты повторения цугов.

1. Соберите схему, изображённую на рис. 3.
2. Подготовьте приборы к работе, следуя техническому описанию (ТО, раздел III, Б).
3. Установив частоту несущей $\nu_0 = 25$ кГц, проанализируйте, как изменяется вид спектра при увеличении длительности импульса вдвое ($\tau = 50, 100$ мкс для $f_{\text{повт}} = 1$ кГц).
4. При фиксированных значениях $f_{\text{повт}} = 1$ кГц, $\tau = 100$ мкс и частотном масштабе $m_x = 5$ кГц/дел проследите, как меняется картина спектра при изменении несущей частоты ν_0 (на генераторе Г6-34 $\nu_0 = 25, 10$ или 40 кГц). Опишите результаты эксперимента или зарисуйте качественную картину в тетради.
5. При фиксированной длительности импульсов $\tau = 50$ мкс исследуйте зависимость расстояния $\delta\nu$ между соседними спектральными компонентами от периода T (частоты повторения импульсов $f_{\text{повт}}$). Проведите измерения для 5–6 значений частоты $f_{\text{повт}}$ в диапазоне 1–8 кГц, подбирая горизонтальный масштаб m_x , удобный для измерений (см. ТО, III А, п.7).

6. Скопируйте на кальку спектры цугов с параметрами: $\tau = 100$ мкс, $m_x = 5$ кГц/дел; а) $f_{\text{повт}} = 1$ кГц; б) $f_{\text{повт}} = 2$ кГц. Запишите на кальках эти параметры и приложите кальки к отчёту.

7. Постройте график $\delta\nu(f_{\text{повт}})$ и по его наклону убедитесь в справедливости соотношения неопределённости.

8. Сравните зарисованные на кальку спектры: а) прямоугольных импульсов при одинаковых периодах и разных длительностях импульса τ ; б) цугов при одинаковых τ и разных периодах; в) цугов и прямоугольных импульсов при одинаковых значениях τ и T .

IV. ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРА ГАРМОНИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ, МОДУЛИРОВАННЫХ ПО АМПЛИТУДЕ.

А. Экспериментальная установка

Схема для исследования амплитудномодулированного сигнала представлена на рис. 4. Модуляционный генератор встроен в левую часть генератора сигналов Г6-34. Синусоидальный сигнал с частотой модуляции $f_{\text{мод}} = 1$ кГц подаётся с модуляционного генератора на вход АМ (амплитудная модуляция) генератора, вырабатывающего синусоидальный сигнал высокой частоты (частота несущей $\nu_0 = 25$ кГц). Амплитудномодулированный сигнал с основного выхода генератора поступает на осциллограф и на анализатор спектра.



Рис. 4. Схема для исследования спектра высокочастотного гармонического сигнала, промодулированного по амплитуде низкочастотным гармоническим сигналом

В. Задание

В этом упражнении исследуется зависимость отношения амплитуд спектральных линий синусоидального сигнала, модулированного низкочастотными гармоническими колебаниями, от коэффициента модуляции, который определяется с помощью осциллографа.

1. Соберите схему, изображённую на рис. 4.
2. Подготовьте приборы к работе, следуя техническому описанию (ТО, раздел III, С).
3. Изменяя глубину модуляции (ручка 11 на Г6-34), исследуйте зависимость отношения амплитуды боковой линии спектра к амплитуде основной линии ($A_{\text{бок}}/A_{\text{осн}}$) от глубины модуляции m (5–6 значений

в диапазоне $0 < m \leq 1$); для расчёта глубины модуляции m по формуле (П.13) измеряйте максимальную $2A_{\text{max}}$ и минимальную $2A_{\text{min}}$ амплитуды сигнала на экране осциллографа (см. рис. П.6 и П.7).

4. При 100% глубине модуляции ($A_{\text{min}} = 0$) посмотрите, как меняется спектр при увеличении частоты модулирующего сигнала (ручка 10 на Г6-34 поворачивается по часовой стрелке).

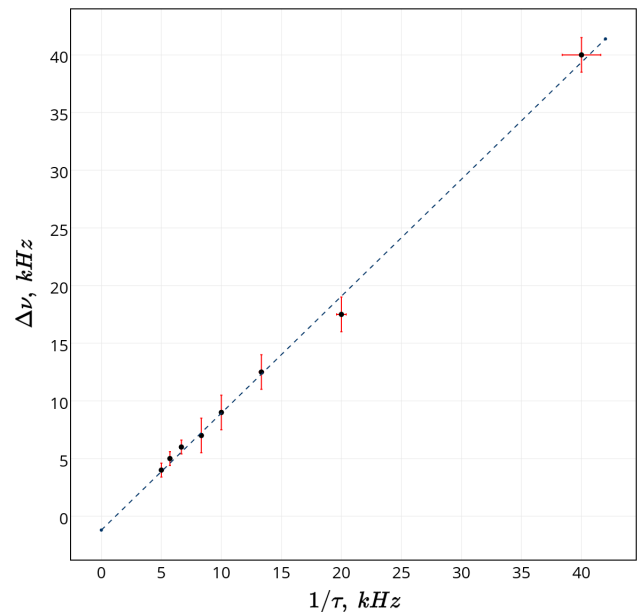
5. Постройте график отношения $A_{\text{бок}}/A_{\text{осн}}$ в зависимости от m . Определите угол наклона графика и сравните с рассчитанным с помощью формулы (П.14).

V. ОБРАБОТКА ИЗМЕРЕНИЙ.

А. II

По измеренной зависимости $\Delta\nu(1/\tau)$ построим график и построим невзвешенный метод наименьших квадратов.

График.1



Результаты построения модели $\Delta\nu = \alpha + \beta(1/\tau)$:

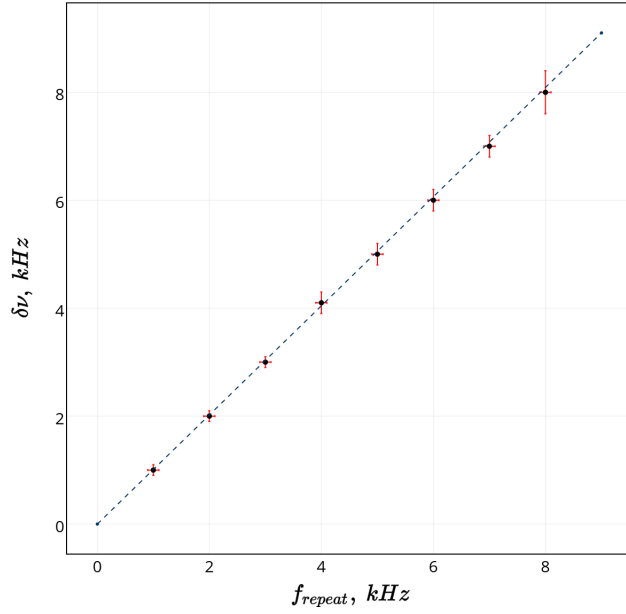
$$\beta = 1.01 \pm 0.03, \quad \alpha = 0.0 \pm 0.04$$

Что позволяет нам говорить о справедливости соотношения неопределённости.

В. III

По измеренной зависимости $\delta\nu(f_{\text{повт}})$ построим график и аналогично построим невзвешенный метод наименьших квадратов.

График.2



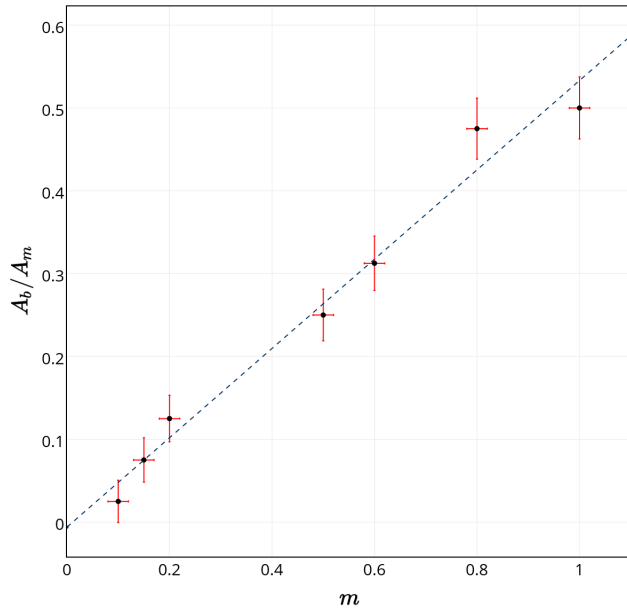
Результаты построения модели $\delta\nu = \alpha + \beta(f_{\text{повт}})$:

$$\beta = 0.99 \pm 0.06, \quad \alpha = 0.0 \pm 0.3$$

С. IV

Построим график измеренной зависимости отношения амплитуды боковой линии спектра к амплитуде основной линии ($A_{\text{бок}}/A_{\text{осн}}$) от глубины модуляции m .

График.3



Построим невзвешенный метод наименьших квадратов и определим угол наклона графика. Стоит напомнить, что согласно теоретической модели значение угла наклона должно быть равным $1/2$.

Результат построения:

$$\beta = 0.54 \pm 0.04, \quad \alpha = 0.0 \pm 0.2$$

Предполагаемое значение лежит в 67% доверительном интервале, на этом уровне значимости можно утверждать совпадение результатов измерения с теорией.

VI. ФОТОГРАФИИ СПЕКТРОВ.