

Отчет о выполнении лабораторной работы 3.6.1

Спектральный анализ электрических сигналов

Выполнил: Дедков Денис, группа Б01-109

01.10.2022

Цель работы

Изучить спектральный состав периодических электрических сигналов.

Оборудование и приборы

Генератор сигналов специальной формы АКИП-3409/4, Цифровой осциллограф SIGLENT АКИП 4131/1.

Введение

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 анализатора спектра и сравниваются с рассчитанными теоретически.

В последнее время повсеместное распространение получила цифровая обработка сигналов. Спектральный состав оцифрованного сигнала может быть найден численно. Существуют алгоритмы (быстрое преобразование Фурье, FFT), позволяющие проводить вычисления коэффициентов Фурье в реальном времени для сигналов относительно высокой частоты (до 200 МГц). Именно быстрое преобразование Фурье используется в данной работе для вычисления спектра.

Ход работы

Исследование спектра периодической последовательности прямоугольных импульсов

Теоретическое описание спектра периодической последовательности прямоугольных импульсов приведено на рисунке 1.

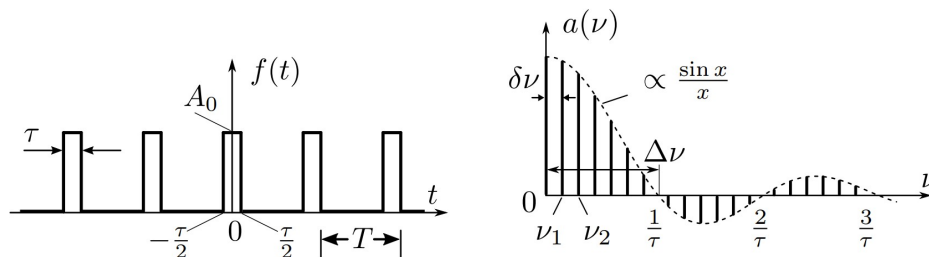


Рис. 1: Периодическая последовательность импульсов и её спектр.

Настраиваем генератор на прямоугольные импульсы с частотой повторения $\nu_{\text{повт}} = 1\text{кГц}$ (период $T = 1\text{мс}$) и длительностью импульса $\tau = \frac{T}{20} = 50\text{мкс}$. Фотографии экрана электронного осциллографа приведены на рисунках и .

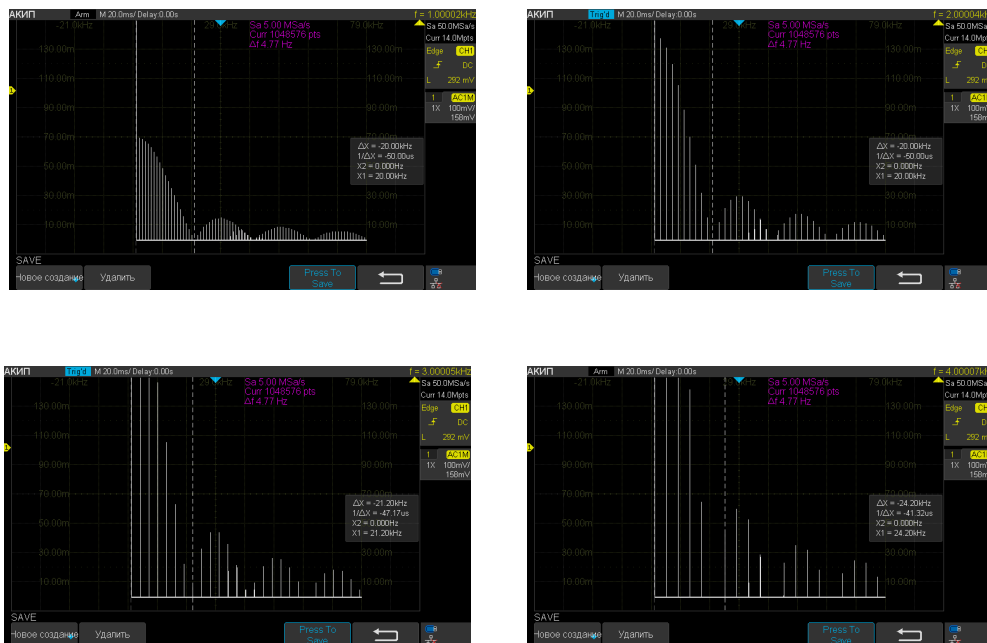


Рис. 2: Изменения спектра при увеличении ν

Работа 2.3.1

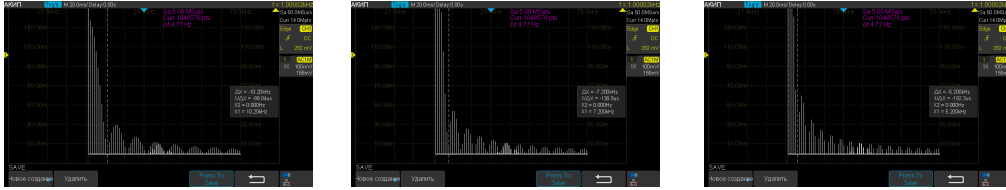


Рис. 3: Изменения спектра при увеличении τ

При фиксированных параметрах $\nu_{\text{повт}} = 1\text{кГц}$ и $\tau = 100\text{мкс}$ измерим высоты (амплитуды) a_n и частоты ν_n несколько первых гармоник спектра и сравним их значения с рассчитанными теоретически по следующей формуле:

$$a_n = \frac{\sin(\pi n \tau / T)}{\pi n}$$

Графики экспериментально измеренного спектра, а также теоретически рассчитанной огибающей приведен на рисунке .

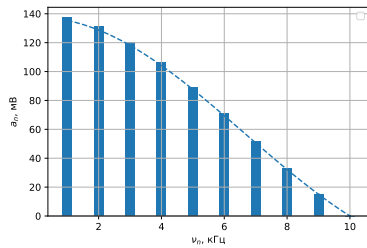


Рис. 4: Спектр и огибающая

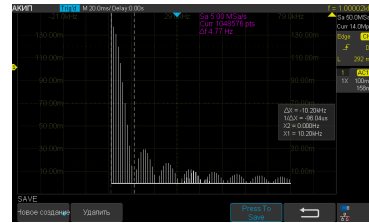
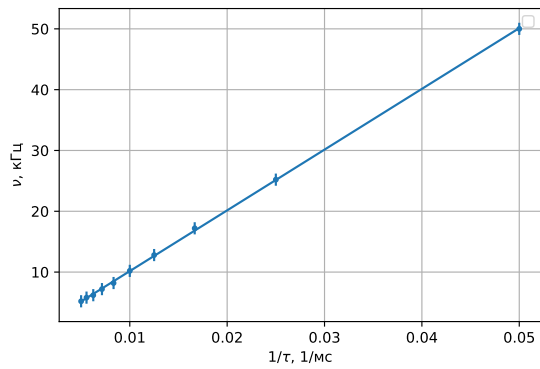


Рис. 5: Фотография экспериментального спектра

Проводим 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). Строим график зависимости $\Delta\nu(\frac{1}{\tau})$ (см. рис.).



$\Delta\nu$, кГц	τ , мс	$\frac{1}{\tau}$, 1/мс
5.2	200	0.0050
5.8	180	0.0056
6.2	160	0.0063
7.2	140	0.0071
8.2	120	0.0083
10.2	100	0.0100
12.8	80	0.0125
17.2	60	0.0167
25.2	40	0.0250
50.0	20	0.0500

Таблица 1: Данные

Рис. 6: График зависимости $\Delta\nu(\frac{1}{\tau})$

\bar{x}	σ_x^2	\bar{y}	σ_y^2	r_{xy}	a	Δa	b	Δb
1.46e-02	1.73e-04	1.48e+01	1.73e+02	1.73e-01	998.99	4.92	0.17	0.10

Таблица 2: Обработка МНК

Погрешность эксперимента коррелирует с погрешностью коэффициента наклона. Следовательно, рассчитаем количественный критерий точности:

$$\mathcal{C} \approx \frac{\Delta a}{a} \approx 0.5\%$$

Исследование спектра периодической последовательности цугов

Теоретическое описание спектра периодической последовательности цугов приведено на рисунке 7.

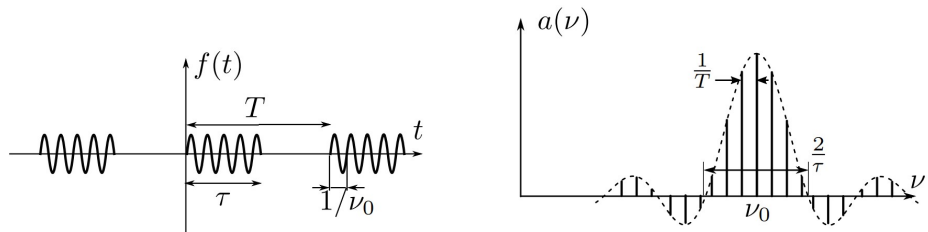


Рис. 7: Периодическая последовательность импульсов и её спектр.

Работа 2.3.1

Следуя техническому описанию, устанавливаем на генераторе режим подачи периодических импульсов синусоидальной формы. Частоту несущей устанавливаем $\nu_0 = 50\text{кГц}$, период повторения $T = 1\text{мс}$ ($\nu = 1\text{кГц}$), число периодов в одном импульсе $N = 5$ (длительность импульса $\tau = N/\nu_0 = 100\text{мкс}$).

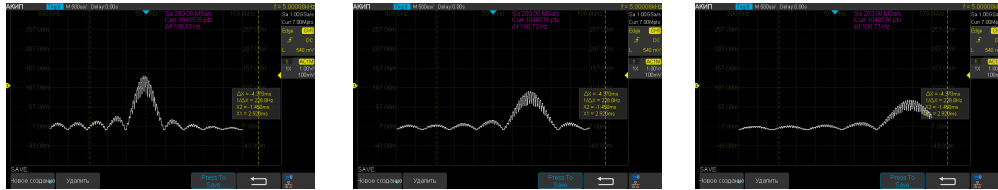


Рис. 8: Изменения спектра при уменьшении τ

К сожалению нам не удалось добиться устойчивой картины на экране осциллографа. Скорее всего это связано с генератором импульсов. Из-за этого следующее изучение спектра становится близким к невозможному.

Исследование спектра гармонических сигналов, модулированных по амплитуде

Теоретическое описание гармонического сигнала, модулированного по амплитуде приведено на рисунке 9.

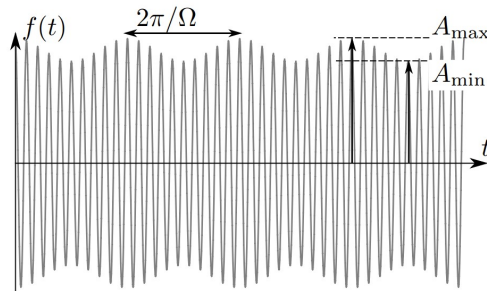


Рис. 9: Спектр гармонических сигналов, модулированных по амплитуде.

Настраиваем генератор на частоту несущей $\nu_0 = 25\text{кГц}$, частоту модуляции $\nu_{\text{мод}} = 1\text{кГц}$ и глубину модуляции $m = 0.5$. Фотографии экрана электронного осциллографа приведены на рисунке .

Работа 2.3.1

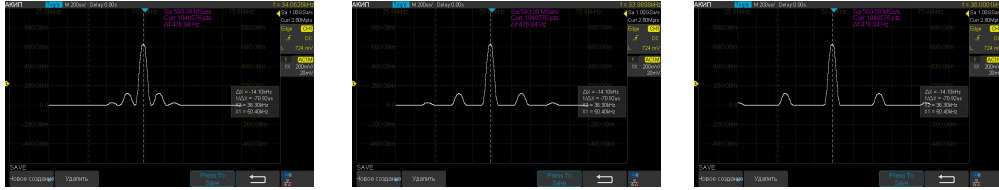
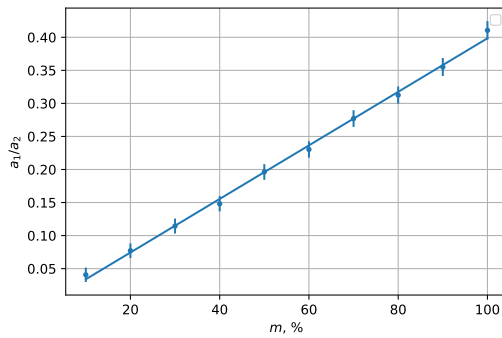


Рис. 10: Изменения спектра при увеличении ν_0

Меняя на генераторе глубину модуляции m в диапазоне от 10% до 100%, измерим отношение $\frac{a_{\text{бок}}}{a_{\text{осн}}}$ амплитуд боковой и основной спектральных линий. Строим график зависимости $\frac{a_{\text{бок}}}{a_{\text{осн}}}(m)$ (см. рис.).



$m, \%$	$a_{\text{осн}}, \text{МВ}$	$a_{\text{бок}}, \text{МВ}$	$\frac{a_{\text{бок}}}{a_{\text{осн}}}$
10	688.0	28.0	0.0407
20	674.0	52.0	0.0772
30	664.0	76.0	0.1145
40	648.0	96.0	0.1481
50	632.0	124.0	0.1962
60	608.0	140.0	0.2303
70	592.0	164.0	0.2770
80	576.0	180.0	0.3125
90	552.0	196.0	0.3551
100	536.0	220.0	0.4104

Рис. 11: График зависимости $\frac{a_{\text{бок}}}{a_{\text{осн}}}(m)$

Таблица 3: Данные

\bar{x}	σ_x^2	\bar{y}	σ_y^2	r_{xy}	$a \cdot 10^3$	$\Delta a \cdot 10^3$	b	Δb
5.50e+01	8.25e+02	2.16e-01	1.36e-02	3.34e+00	4.05	0.07	-6.61e-03	4.33e-03

Таблица 4: Обработка МНК

Погрешность эксперимента коррелирует с погрешностью коэффициента наклона. Следовательно, рассчитаем количественный критерий точности:

$$C \approx \frac{\Delta a}{a} \approx 3\%$$

Вывод

В работе было проведено изучение спектрального состава различных периодических электрических сигналов. Примечательно, что эксперимент

Работа 2.3.1

получается с очень хорошей точностью (относительная погрешность порядка нескольких процентов).

К сожалению во второй части работы нам так и не удалось добиться устойчивой картины на экране осциллографа. Скорее всего это связано с генератором импульсов.