

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

Тема работы: «Исследование спектров периодических сигналов на основе программного продукта EWB»

Цель работы: Исследовать спектры периодической последовательности прямоугольных видеоимпульсов различной скважности. Закрепить теоретические знания о спектрах периодических сигналов.

Используемое оборудование и средства: персональный компьютер, программа Electronics Workbench.

Теоретический материал

В радиоэлектронной аппаратуре носителями информации являются электрические сигналы. Под электрическими сигналами понимают изменения токов $i(t)$ или напряжений $u(t)$ во времени. Сигналы, у которых информацию переносят постоянные токи или напряжения, называют видеосигналами (рисунок 4.1, а). В радиосигналах в качестве функции, несущей информацию, используют синусоидальные (гармонические) колебания высокой частоты (рисунок 4.1, б)

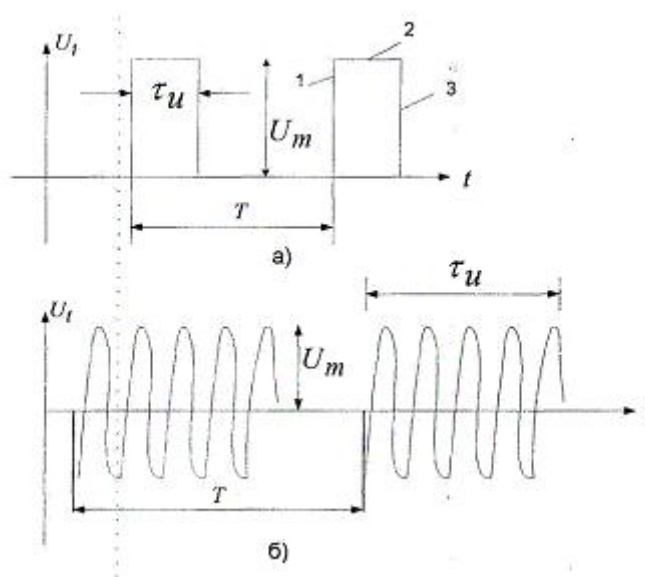


Рисунок 4.1 – Последовательность видео (а) и радио (б) сигналов

Основными параметрами импульсных сигналов являются:

- амплитуда импульса U_m – это максимальное значение сигнала;
- период повторения импульсов T - это интервал времени между двумя любыми соседними импульсами;
- частота повторения импульсов: $f=1/T$
- длительность импульсов τ_u - это интервал времени от момента появления импульса до момента его исчезновения;

- скважность импульсов: $q=T/\tau_n$
- фронт (1), вершина (2) и спад (3) (рисунок 4.1,а).

Электрические сигналы могут быть представлены в виде временной функциональной зависимости, либо как сумма ортогональных составляющих, то есть существует временной и спектральный способы представления сигналов. Периодическую последовательность видеоимпульсов (рисунок 4.1,а) во временной области можно записать в виде спектральной функциональной зависимости:

$$U(t)=U(t+nT) \quad \text{где } U(t)=U_m \text{ при } t=|-\tau_n/2, \dots, +\tau_n/2| \quad (4.1)$$

$$0 \text{ при } t < -\tau_n/2; t > +\tau_n/2$$

где T – период повторения импульсов;

n – любое целое отрицательное или положительное число.

Из математики известно, что любую периодическую функцию $U(t)$, которая удовлетворяет условиям Дирихле (функция ограничена, кусочно-непрерывная и имеет конечное число экстремальных значений), можно представить в виде ряда Фурье (набором гармоник):

$$U(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} U_{mn} e^{jn\omega_1 t}, \quad (4.2)$$

где коэффициенты ряда Фурье определяются следующим выражением:

$$U_{mn} = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} U(t) * e^{-jn\omega_1 t} dt \quad (4.3)$$

U_{mn} – является комплексной величиной и определяет амплитуду и фазу n -й гармоники;

$$F_1 = \frac{1}{T} = \frac{\omega_1}{2\pi} \quad (4.4)$$

F_1 - частота 1-й гармоники.

Постоянная составляющая U_0 периодического сигнала определяется при $n = 0$:

$$U_0 = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} U(t) dt. \quad (4.5)$$

Подставляя в (4.3) и (4.4) выражение для сигнала (1) и выполняя интегрирование, получим амплитуду n -й гармоники:

$$U_{mn} = \frac{2U_m}{q} \left| \frac{\sin \frac{n\pi}{q}}{\frac{n\pi}{q}} \right|; \quad (4.6)$$

фазу n-й гармоники:

$$\varphi_n = \begin{cases} 0_{\text{при}} \frac{\sin \frac{n\pi}{q}}{\frac{n\pi}{q}} > 0 \\ \pi_{\text{при}} \frac{\sin \frac{n\pi}{q}}{\frac{n\pi}{q}} < 0 \end{cases} \quad (4.7)$$

постоянная составляющая сигнала, где q скважность .

Соотношение (4.6) определяет набор гармоник, из которых может быть образован периодический сигнал (рисунок 4.1, а) и называется распределением амплитуд сигнала, или амплитудно-частотным спектром (АЧС) периодического сигнала. Соотношение (4.7) определяет фазу каждой гармоники и называется распределением фаз периодического сигнала, или его фазо-частотным спектром (ФЧС). Подставляя (4.5-4.7) в ряд Фурье (4.2) получим окончательное выражение для спектра периодических видеосигналов:

$$U(t) = \frac{U_m}{q} + \frac{2U_m}{q} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin n\pi/q}{n\pi/q} * \cos(n\omega t + \varphi_n). \quad (4.8)$$

Из соотношения (4.8) видно, что амплитуда n-й гармоники будет равна нулю при условии, когда:

$$\sin \frac{n\pi}{q} = 0. \quad (4.9)$$

Условие (4.9) выполняется, если

$$n\pi/q = \pm k\pi \quad (4.10)$$

Из соотношений (4.8-4.10) видно, что амплитуды гармоник, номера которых кратны скважности импульсов q, равны нулю. Определим частоты, на которых номера гармоник кратны скважности импульсов q. Текущая частота n-й гармоники определяется выражением Учитывая, что n=kq имеем:

$$\omega_n = kq \omega_1 = k \frac{2\pi}{T} \frac{T}{\tau_H} = k \frac{2\pi}{\tau_H},$$

$$F = k \frac{1}{\tau_H}.$$

Из полученных соотношений видно, что спектр последовательности периодических видеосигналов имеет следующую структуру:

- в спектре имеется постоянная составляющая (4.5);
- гармонические составляющие сигнала расположены на частотах, кратных частоте повторения видеосигналов $f=1/T$;
- амплитуды гармонических составляющих зависят от номера (частоты) гармоник;
- с увеличением номера (частоты) гармоники, ее амплитуда (4.6) уменьшается;
- огибающая распределения амплитуд сигнала по частоте (АЧС) имеет форму функции $\sin x/x$ где $x=n\pi/q$
- АЧС имеет максимальное значение на $F=0$ и принимает нулевые

значения на частотах, кратных длительности видеоимпульсов где $k = 1, 2, 3, \dots$

- около 90% всей мощности сигнала содержится в составляющих спектра, которые расположены до второго нулевого значения огибающей, поэтому за ширину спектра периодической последовательности

видеосигналов принимают полосу частот

- ширина спектра периодической последовательности видеосигналов пропорциональна длительности импульсов. Чем короче длительность импульсов видеопоследовательности τ_H , тем шире АЧС (рисунок 4.2).

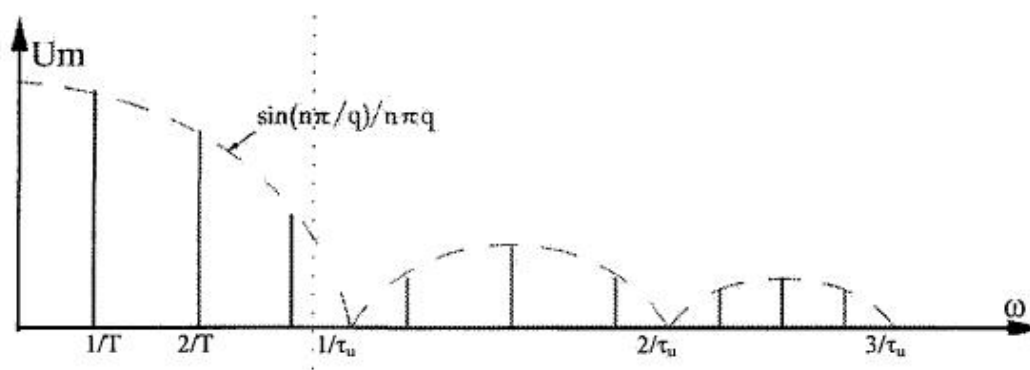


Рисунок 4.2 – Спектр периодической последовательности видеосигналов

Задание к выполнению работы

1. Изучить: виды электрических сигналов и их параметры; временное и спектральное представление периодической последовательности видеосигналов; зависимость амплитудно-частотного и фазо-частотного спектров периодической последовательности прямоугольных видеосигналов от их параметров.
2. Изучить порядок выполнения лабораторной работы.
3. Рассчитать нормированные значения амплитуд и начальные фазы гармоник до $n = 3$ для сигнала со следующими параметрами: $f_n = 20 \text{ кГц}$, $U_m = 20 \text{ В}$, $q = 3$. Данные расчета записать в таблицу 4.1.
4. По результатам расчета построить графики АЧС и ФЧС.

Таблица 4.1

Номер гармоники (n)	0	1	2	3	4	5	6
Амплитуда гармоники U_{nm} (В)							
Фаза гармоники φ_n (град)							
Частота гармоники F (Гц)							

Сведения о лабораторной установке

Схема лабораторной установки изображена на рисунке 4.3. Она представляет собой анализатор спектра, состоящий из набора последовательных колебательных контуров. Колебательные контуры настроены на фиксированные частоты, соответствующие частотам, из которых состоит исследуемая периодическая последовательность импульсов.

Вход анализатора спектра подключен к выходу генератора сигналов, а выход – ко входу осциллографа. Коммутация соответствующих контуров осуществляется переключателями S1-S5.

Переключатель S6 подключает на вход осциллографа исследуемые сигналы, минуя анализатор.

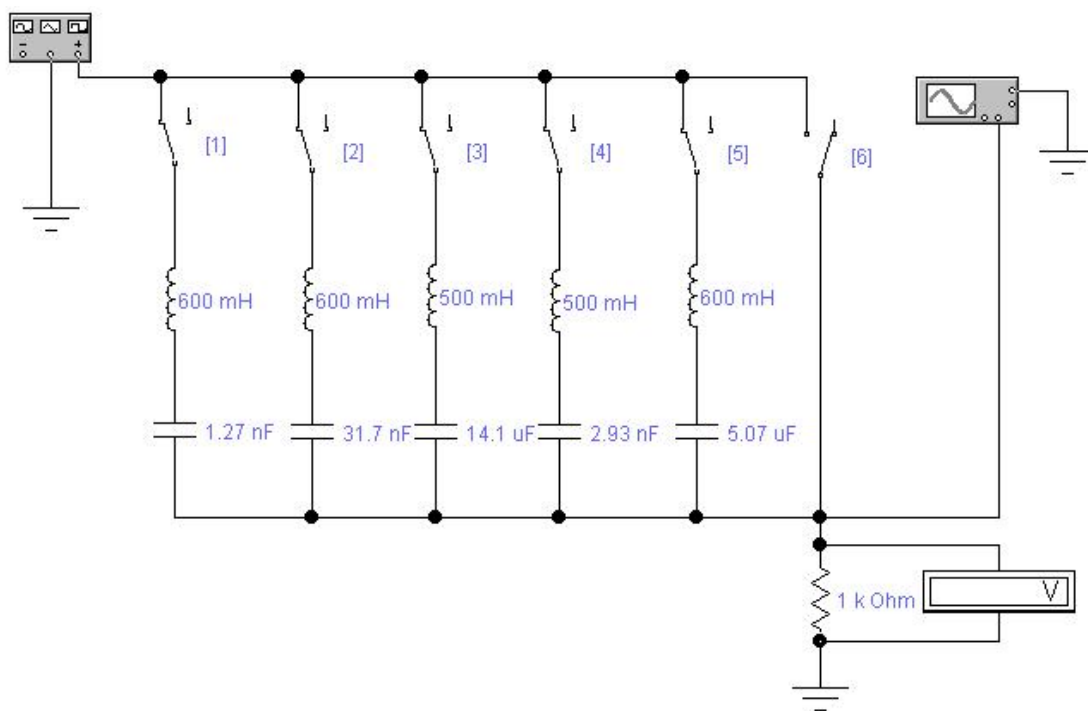


Рисунок 4.3 – Схема анализатора спектра сигнала

Порядок выполнения работы

1. Исследование амплитудно-частотной характеристики лабораторной установки.

Для исследования АЧХ необходимо:

- 1.1 Включить переключатели S1-S5;
- 1.2 На вход анализатора спектра подать с генератора низкочастотных колебаний гармонический сигнал с частотой $F=1/T \approx 15$ кГц
- 1.3 К выходу анализатора спектра подключить осциллограф.
- 1.4 Ручками (кнопками) управления генератора и осциллографа добиться на экране устойчивого изображения гармонического колебания с амплитудой 2-3 см
- 1.5 Изменяя частоту генератора в пределах от 15 до 110 кГц, убедиться, что максимальные значения амплитуд колебаний на выходе анализатора спектра будут на частотах, кратных частоте 20 кГц.
- 1.6 Нарисовать график АЧХ анализатора спектра $K(f)$
- 1.7 Выключить генератор и переключатели S1-S5.

2. Исследование спектра периодической последовательности прямоугольных видеосигналов.

Для выполнения исследования необходимо:

2.1 На вход анализатора спектра подать с выхода генератора последовательность прямоугольных видеоимпульсов со следующими параметрами:

$F = 20 \text{ кГц}$; $q = 3$; $U_m = 20 \text{ В}$.

2.2 Включить переключатель S6 добиться устойчивого изображения видеоимпульсов на экране осциллографа.

2.3 Выключить переключатель S6 и включить переключатель S1, то есть включить в рабочее состояние 1-й контур анализатора спектра. На экране осциллографа должна появиться 1-я гармоника исследуемого сигнала.

2.4 Выключить переключатель S1, и поочередно включая переключатели S2 - S5, то есть поочередно включая: второй, третий, четвертый и пятый контуры, просмотреть остальные гармоники в спектре сигнала. Зарисовать изображения гармоник на одном графике и записать их параметры в таблицу 1 (при необходимости подстроить 2-й, 4-й, 5-й контуры по методике пункта 2.3).

2.5 По измеренным значениям амплитуд гармоник рассчитать их нормированные значения: где $n = 1, 2, 3, 4, 5$.

2.6 Построить графики нормированных АЧС, полученных экспериментально вместе с расчетными графиками АЧС.

3. Исследование процесса синтеза видеосигналов.

Цель исследования заключается в том, чтобы убедиться, что суммируя гармонические составляющие спектра, можно получить исходный сигнал. Для этого необходимо:

3.1 Включить переключатель S6.

3.2 Подать на вход анализатора спектра сигнал с параметрами: $F = 20 \text{ кГц}$; $q = 3$; $U_m = 20 \text{ В}$ и зарисовать его.

3.3 Выключить переключатель S6 и, последовательно включая переключатели S1, затем S2, затем S3 и так далее, наблюдать и зарисовать, как изменяется сигнал при увеличении количества гармоник.

Содержание отчета

1. Название и цель лабораторной работы
2. Наименование каждого пункта исследования и полученные результаты
3. Ответы на вопросы в соответствии с номером варианта (соответствие номеров вопросов и номеров вариантов указано в таблице).

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Вопросы	1, 3, 7	2, 4, 8	5, 6, 7	1, 2, 4	3, 5, 6	1, 2, 3	3, 4, 5	1, 6, 7	2, 4, 5	3, 6, 7

4. Выводы

Контрольные вопросы

1. Что понимается под спектром сигнала?
2. Что называется амплитудно-частотным спектром сигнала?
3. Что называется фазочастотным спектром сигнала?
4. Что называется шириной спектра?
5. Как ширина спектра периодической последовательности видеосигналов зависит от длительности импульсов?
6. Как изменяется АЧС периодической последовательности видеосигналов при изменении периода повторения импульсов?
7. Для решения каких практических задач используется спектральное представление сигналов?