

ИНСТИТУТ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ КИБЕРНЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ
КАФЕДРА «КОМПЬЮТЕРНЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ» (№12)

КУРСОВАЯ РАБОТА

по дисциплине

СХЕМОТЕХНИКА ЦИФРОВЫХ УСТРОЙСТВ

Тема: Модуль синтеза периодических сигналов

Студент	Зинченко Александр Павлович, Климонов Кирилл	Группа	С20-501
	Юрьевич		
	ФИО		

Руководитель	Решетько Валерий Михайлович
	ФИО

Москва, 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. СПЕЦИФИКАЦИЯ	3
2. ОТЧЁТ О ВЕРИФИКАЦИИ	6
2.1. Верификация модуля.....	6
2.2. Проверка согласования с соседними модулями	8
3. СИНТЕЗ СХЕМЫ И ВРЕМЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ.....	10
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	12
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	13

ВВЕДЕНИЕ

Генераторы сигналов (функциональные генераторы) играют важную роль при проведении измерений электрических параметров и испытаний. Они служат источниками тестовых сигналов, которые подаются на такие испытываемые компоненты, как фильтры, усилители или готовые модули с целью проверить их работу и изучить их поведение и характеристики. Помимо формирования простых сигналов (импульсы, периодические сигналы), генераторы сигналов могут формировать сигналы с аналоговой и цифровой модуляцией (векторные генераторы).

Генерация цифрового сигнала производится с помощью отладочной платы сус1000 [1] с установленной на ней ПЛИС Cyclone 10LP 10CL025 [2] фирмы Intel. Далее цифровой сигнал преобразуется в аналоговый с помощью платы ЦАП, на которой установлен цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП) AD9761 [3] фирмы Analog Devices. Полученный аналоговый сигнал можно вывести на экран осциллографа.

Модуль синтеза периодических сигналов представляет собой схему прямого цифрового синтеза и предназначен для генерирования меандра, пилообразного и синусоидального сигналов.

На вход схеме прямого цифрового синтеза должны поступить значения амплитуды, фазы и частоты для того, чтобы схема начала работать. На выход данного устройства поступают сигналы I и Q составляющих, которые по сути являются гармоническими сигналами, отстающими по фазе на 90° друг от друга. Путём изменения амплитуды и начальной фазы I/Q-составляющих и их дальнейшим суммированием можно получить сигнал любого вида модуляции.

1. СПЕЦИФИКАЦИЯ

Модуль синтеза периодических сигналов предназначен для формирования гармонических сигналов:

1. синусоидальных сигналов;
2. пилообразных сигналов;
3. меандра.

Условное графическое представление внутреннего модуля синтеза периодических сигналов представлены на рисунке 1.1.

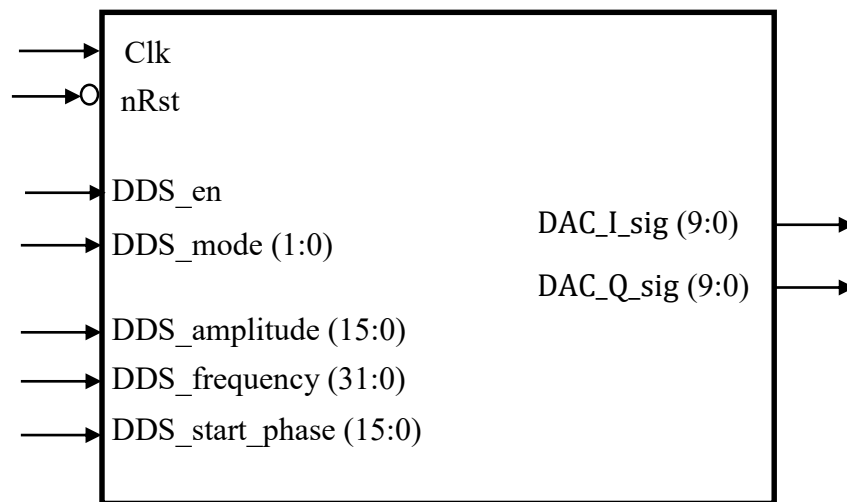


Рис. 1.1. УГО модуля синтеза периодических сигналов.

Описание сигналов представлено в таблице 1.1.

Таблица 1.1 — Описание сигналов

№ п.п.	Сигнал	Напр.	Описание
Системные сигналы			
1	Clk	in	Тактовый сигнал
2	nRst	in	Сигнал сброса
Сигналы схемы прямого цифрового синтеза			
3	DDS_en	in	Сигнал разрешения работы для модуля синтеза периодических сигналов
4	DDS_mode (1:0)	in	Сигнал задания типа генерируемого сигнала: – 00 — синусоидальный сигнал; – 01 — пилообразный сигнал; – 10 — меандр; – 11 — модулированный сигнал.
5	DDS_amplitude (15:0)	in	Амплитуда периодического сигнала
6	DDS_frequency (31:0)	in	Частотное слово
7	DDS_start_phase (15:0)	in	Начальная фаза
Сигналы модуля управления ЦАП			
8	DAC_I_sig (9:0)	out	Синфазная составляющая модулированного гармонического сигнала. Этот сигнал также может использоваться для передачи немодулированного гармонического сигнала (синусоидального, пилообразного или меандра)
9	DAC_Q_sig (9:0)	out	Квадратурная составляющая модулированного гармонического сигнала (разница фаз гармонической и квадратурной составляющих равна 90°). Данный сигнал при передаче немодулированного гармонического сигнала заполняется нулями.

Для удобства разработки модуля синтеза периодических сигналов командой было принято решение разделить проект на следующие блоки (см. рис. 1.2):

1. sin_generator — занимается генерацией синуса.
2. sin_lut — хранит $\frac{1}{4}$ периода синуса.

3. `generator_generator` — занимается общим управлением модуля генерации частот и генерацией меандра и пилы, также в данном блоке расположен аккумулятор.

Схему их подключения можно видеть на рис. 1.2.

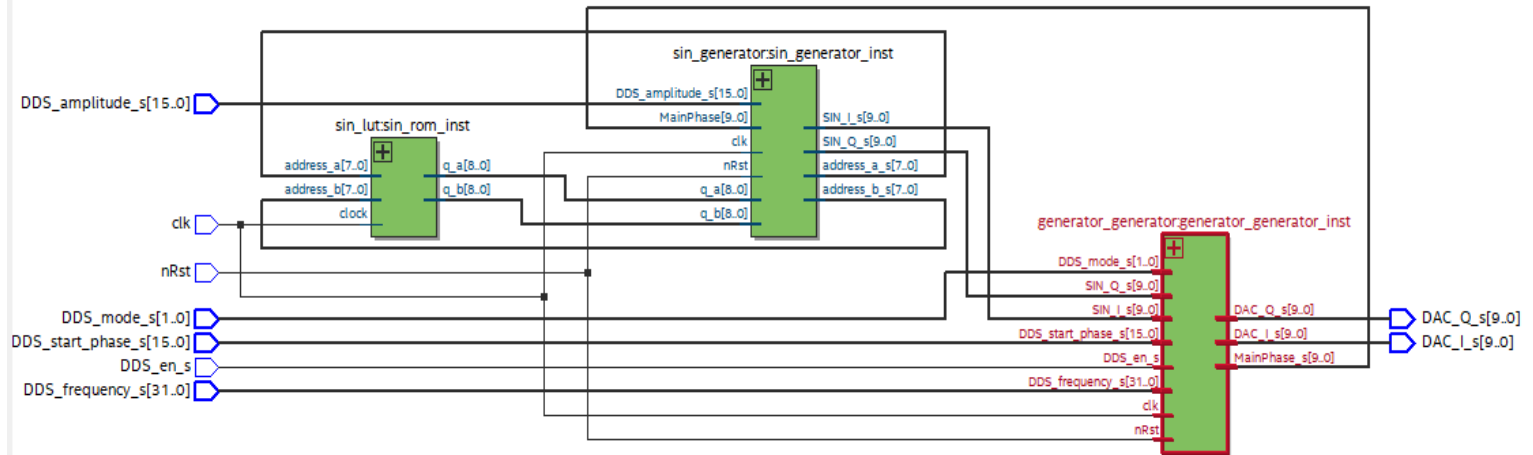


Рис. 1.2. Схема подключения подмодулей проекта синтеза периодических сигналов.

Генератор синуса (`sin_generator`) выполняет формирование адреса на основе текущей фазы входного сигнала. Затем адрес передается на таблицу поиска четверти периода синуса.

Таблица поиска четверти периода синуса (`sin_lut`) производит хранение и выборку значений синуса, рассчитанных заранее и помещенных в таблицу. Область памяти, в которой хранится четверть периода синуса является недоступной извне.

Модуль генерации (`generator_generator`) задает форму сигнала на основе входных значений амплитуды, частоты, типа сигнала и начальной фазы. Также он содержит в себе аккумулятор АСС, который каждый раз прибавляет к данному значению частотного слова предыдущее значение. Схема синтеза представлена на рис. 1.3.

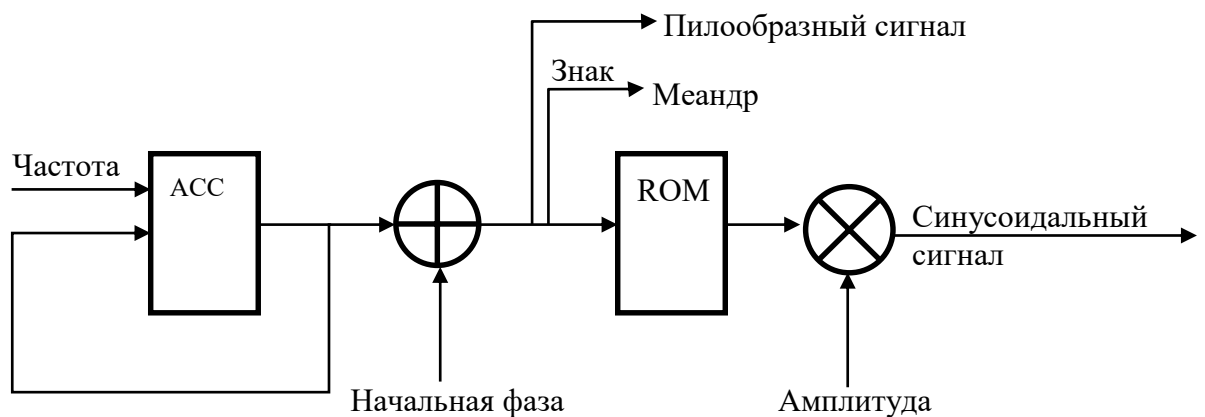


Рисунок 1.3— Схема синтеза синусоидального сигнала [5].

Формула получающейся частоты:

$$f_{out} = \frac{M * f_c}{2^N},$$

где f_{out} — выходная частота DDS; M — размер шага инкремента счетчика; f_c — тактовая частота, 60 МГц; N — разрядность аккумулятора, 32 бита.

2. ОТЧЁТ О ВЕРИФИКАЦИИ

2.1. Верификация модуля

На рисунках 2.1 — 2.3 представлены временные диаграммы работы модуля при разных режимах гармонического модулированного сигнала: синусоидальный, пилообразный и меандр. При генерации гармонических сигналов квадратурная составляющая не используется и всегда равна нулю. Также рамками обозначены процессы изменения формы сигнала: красная (1) — изменение фазы, зелёная (2) — изменение частоты, синяя (3) — изменение амплитуды.

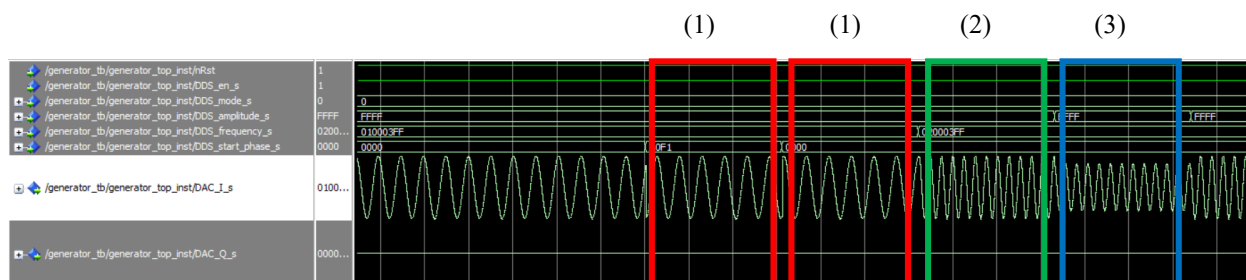


Рис. 2.1. Временная диаграмма синусоидального гармонического сигнала.

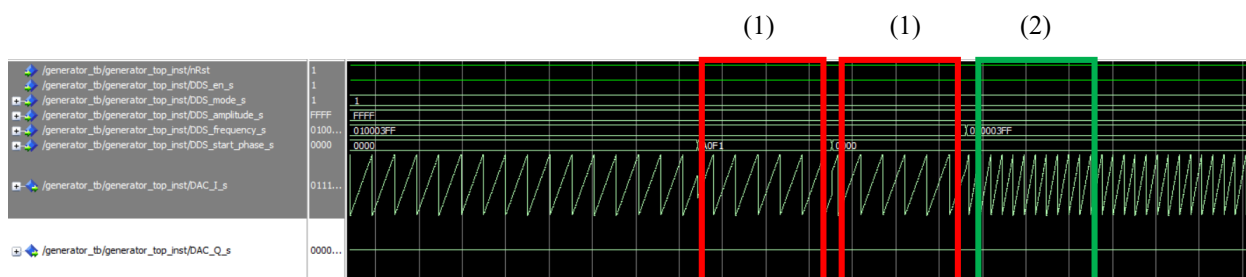


Рис. 2.2. Временная диаграмма пилообразного гармонического сигнала.

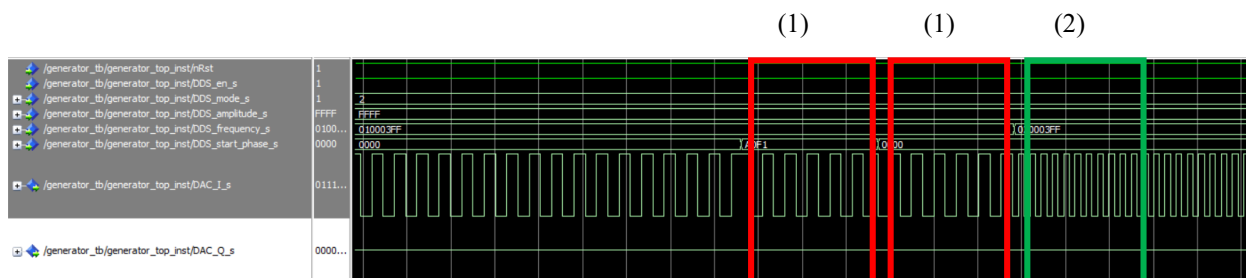


Рис. 2.3. Временная диаграмма гармонического сигнала меандра.

На рис. 2.4 изображена диаграмма модулированного сигнала. При генерации этого вида сигнала квадратурная составляющая отличается от синфазной на 90° . Также рамками обозначены процессы изменения формы сигнала: красная (1) — изменение фазы, зелёная (2) — изменение частоты, синяя (3) — изменение амплитуды.

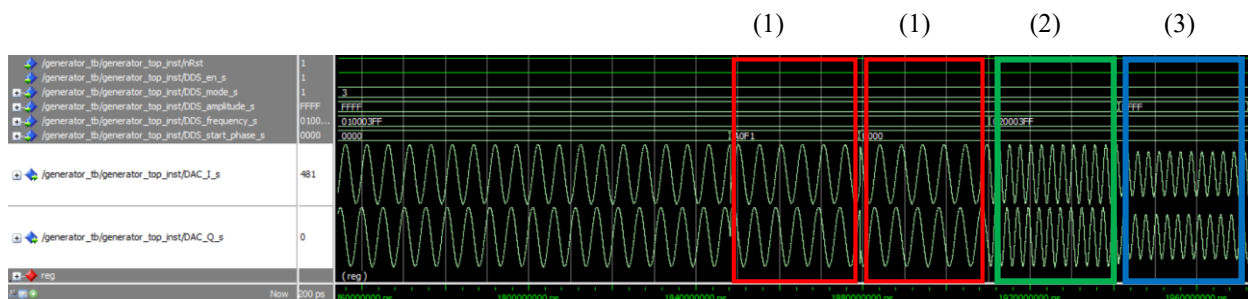


Рис. 2.4. Временная диаграмма модулированного сигнала.

На рис. 2.5 изображена временная диаграмма реакции модуля на сигнал сброса. При установке nRst в логический 0, все регистры модуля сбрасываются.

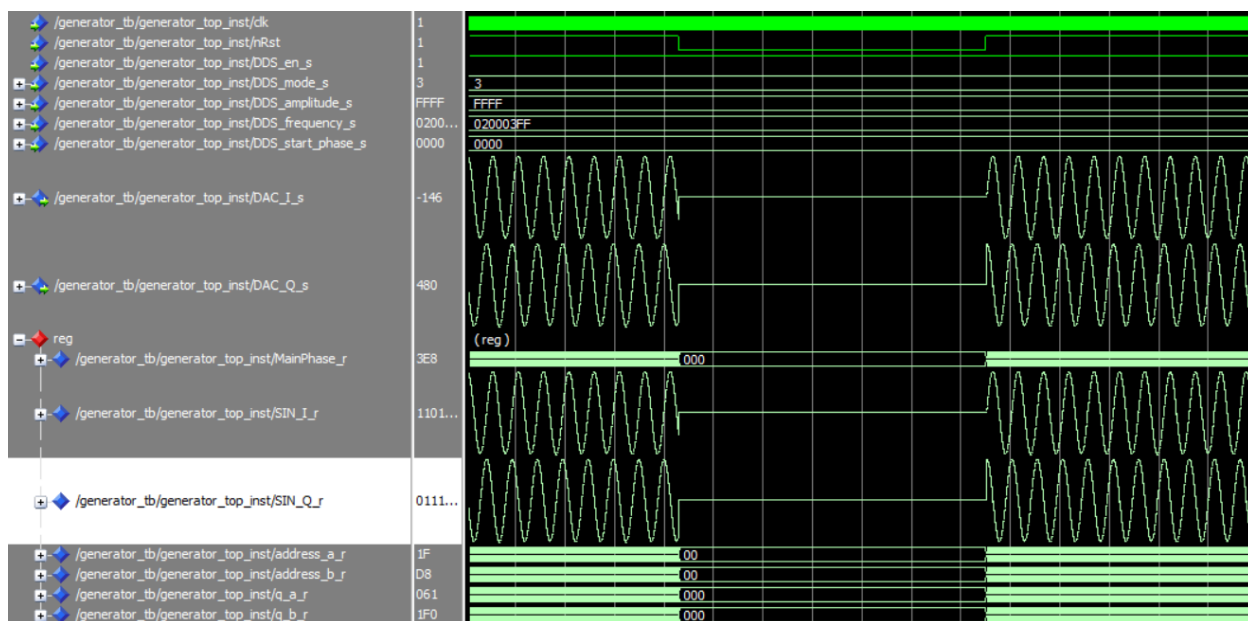


Рис. 2.5. Временная диаграмма сброса модуля.

На рис. 2.6 изображена временная диаграмма реакции модуля на сигнал разрешения работы. При установке DDS_en_s в логический 0, модуль приостанавливает свою работу, аккумулятор не работает. При установке DDS_en_s в логическую 1, модуль возобновляет работу с той фазы, на которой был модуль в момент остановки.

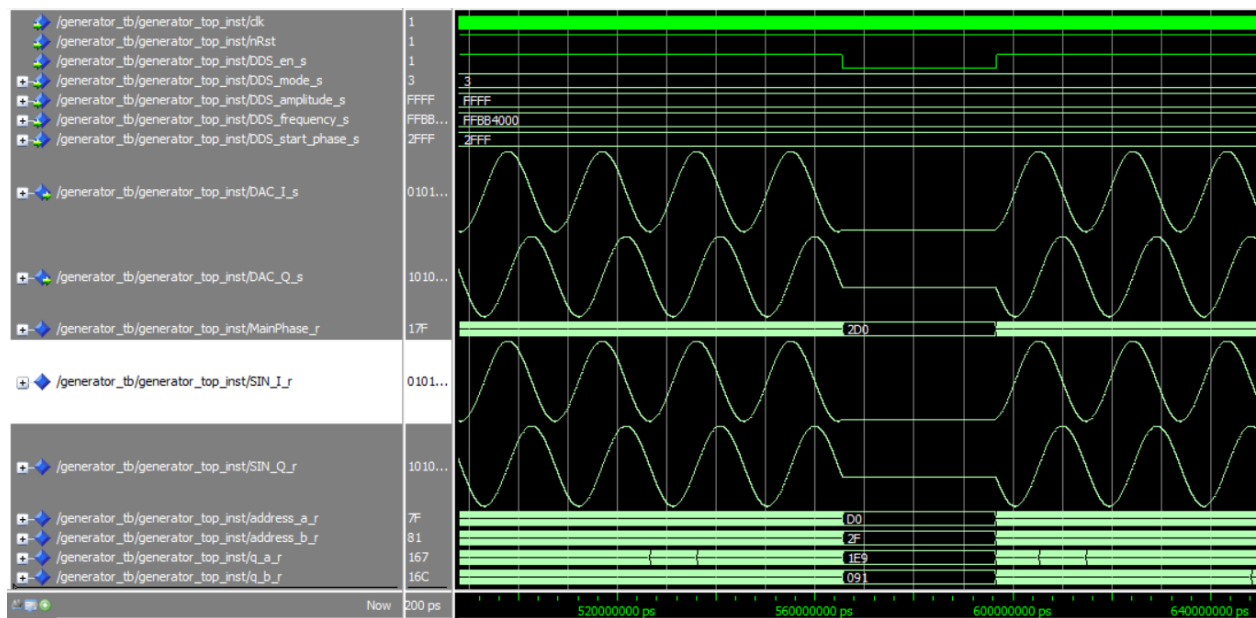


Рис. 2.6. Временная диаграмма реакции на сигнал разрешения работы модуля.

2.2. Проверка согласования с соседними модулями

Для проверки согласования и возможности интеграции в проект был собран специальный тестбенч, содержащий три модуля: анализатор протокола генератора сигналов, модуль синтеза периодических сигналов генератора сигналов и модуль управления ЦАП.

Структурная схема межсоединений показана на рисунке 2.7.

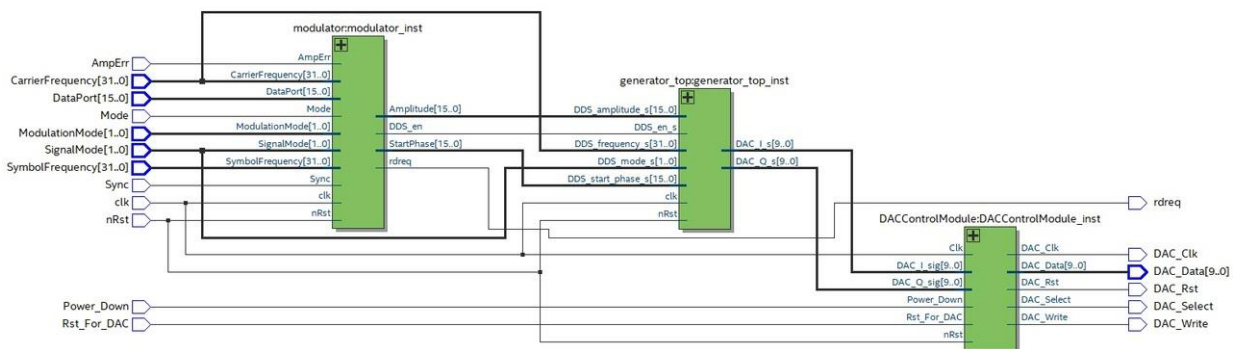


Рис. 2.7. Соединение соседних модулей в проекте.

На рисунках 2.8 — 2.10 представлены временные диаграммы работы модуля при разных режимах гармонического модулированного сигнала: синусоидальный, пилообразный и меандр. При генерации гармонических сигналов квадратурная составляющая не используется и всегда равна нулю. Рамкой обозначено изменение частоты сигнала.

(1)

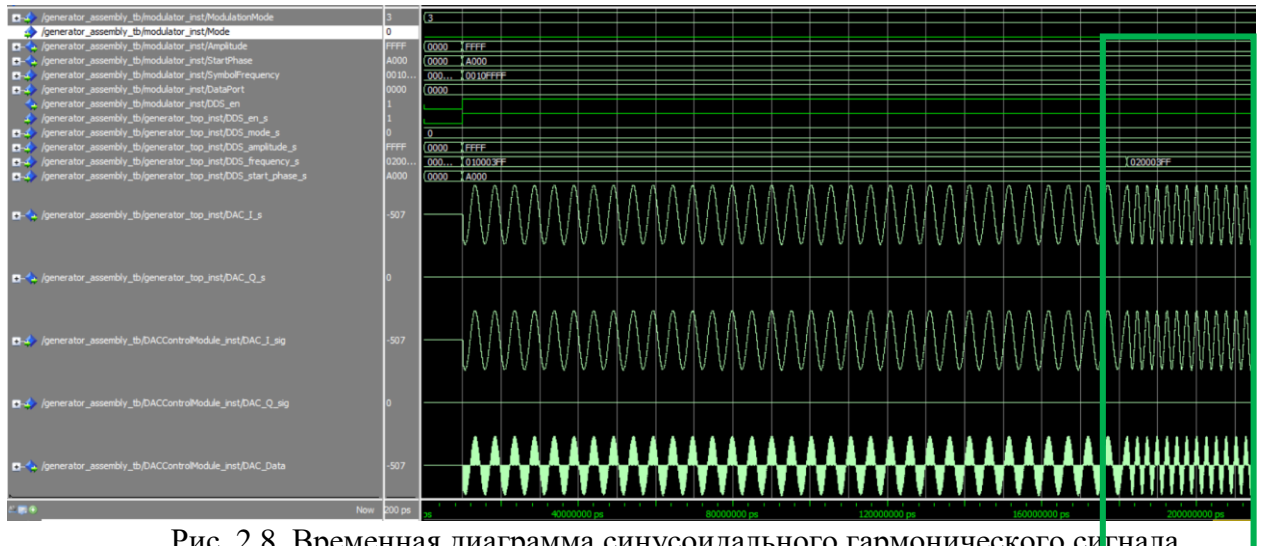


Рис. 2.8. Временная диаграмма синусоидального гармонического сигнала.

(1)

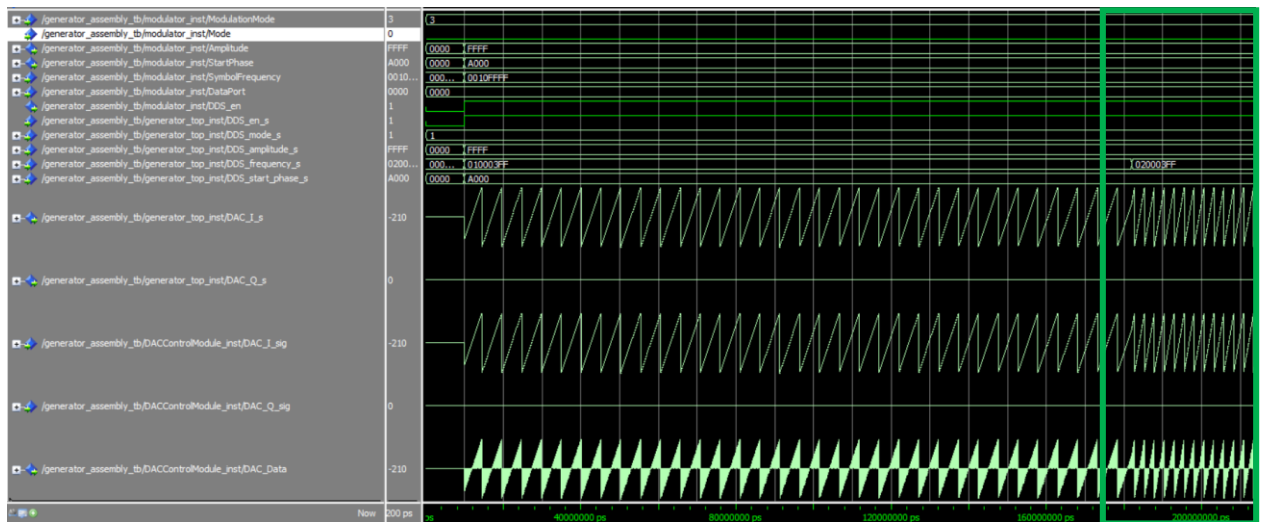


Рис. 2.9. Временная диаграмма пилообразного гармонического сигнала.

(1)

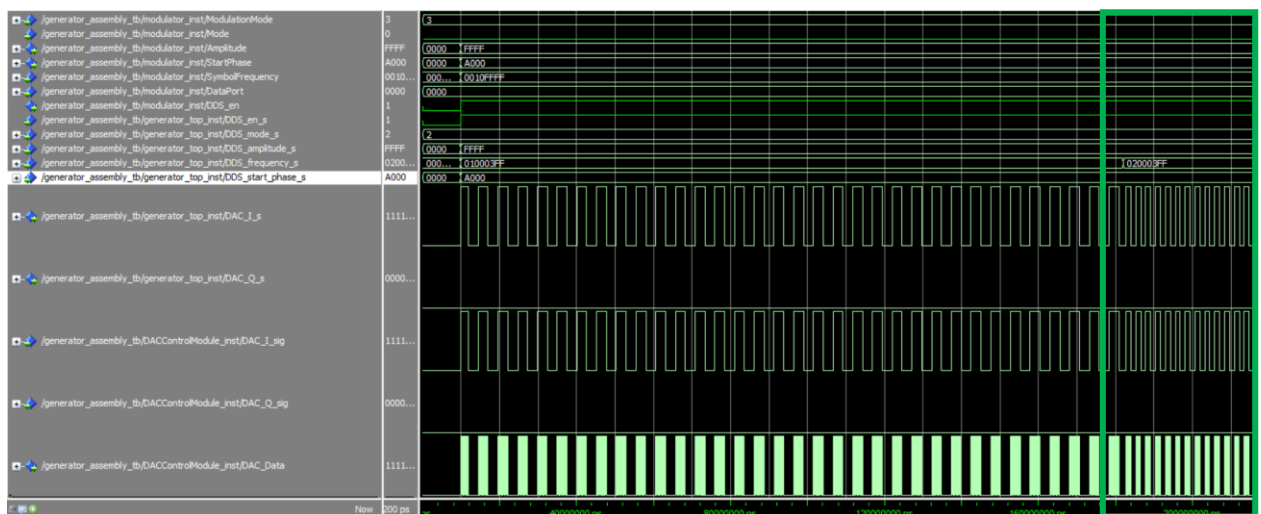


Рис. 2.10. Временная диаграмма гармонического сигнала типа меандр.

На рис. 2.11 изображена диаграмма модулированного сигнала. При генерации этого вида сигнала квадратурная составляющая отличается от синфазной на 90° . Также рамками обозначены процессы изменения формы сигнала: красная (1) — изменение фазы, зелёная (2) — изменение частоты, синяя (3) — изменение амплитуды.

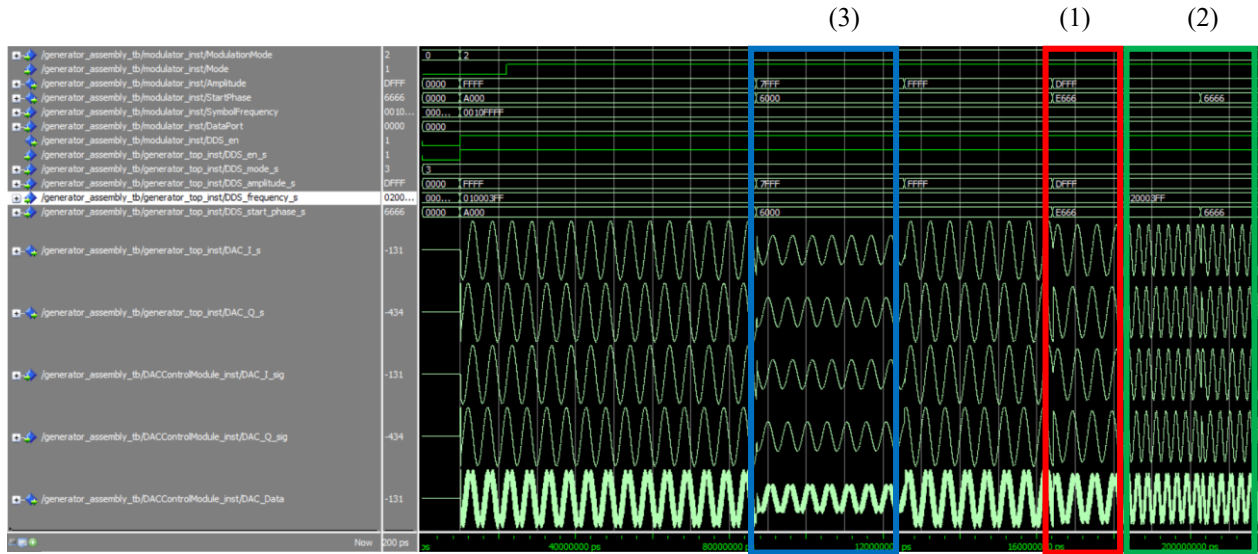


Рис. 2.11. Временная диаграмма модулированного сигнала.

3. СИНТЕЗ СХЕМЫ И ВРЕМЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Для проверки синтезируемости были проведены стадии Analysis & Synthesis, Place & Route, Generate programming files и Timing Analysis спроектированной схемы для ПЛИС семейства Cyclone 10 LP. На рисунках 3.1–3.5 представлены результаты проведенного синтеза. Все этапы синтеза пройдены успешно.

Flow Status	Successful - Wed Jan 25 12:06:25 2023
Quartus Prime Version	18.0.0 Build 614 04/24/2018 SJ Standard Edition
Revision Name	generator_top
Top-level Entity Name	generator_top
Family	Cyclone 10 LP
Device	10CL025YU256C8G
Timing Models	Final
Total logic elements	409 / 24,624 (2 %)
Total registers	68
Total pins	89 / 151 (59 %)
Total virtual pins	0
Total memory bits	0 / 608,256 (0 %)
Embedded Multiplier 9-bit elements	4 / 132 (3 %)
Total PLLs	0 / 4 (0 %)

Рис. 3.1. Отчёт о занимаемых ресурсах.

Clocks						
<<Filter>>						
	Clock Name	Type	Period	Frequency	Rise	Fall
1	clk	Base	25.000	40.0 MHz	0.000	12.500

Рис. 3.2. Используемые тактовые сигналы.

Slow 1200mV 85C Model Fmax Summary			
<<Filter>>			
	Fmax	Restricted Fmax	Clock Name
1	107.83 MHz	107.83 MHz	clk

Рис. 3.3. Отчёт о временных характеристиках модуля при 85 C.

Slow 1200mV 0C Model Fmax Summary			
<<Filter>>			
	Fmax	Restricted Fmax	Clock Name
1	113.31 MHz	113.31 MHz	clk

Рис. 3.4. Отчёт о временных характеристиках модуля при 0 C.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе выполнения курсовой работы был разработан модуль синтеза периодических сигналов, представляющий собой схему прямого цифрового синтеза и предназначенный для генерирования меандра, пилообразного и синусоидального сигналов.

С помощью ModelSim 10.5b проведена симуляция работы устройства с различными входными данными, а также с соседними модулями.

Также с помощью Quartus Prime 18.0 была выполнена проверка проекта на синтезируемость для ПЛИС семейства Cyclone 10 LP.

В рамках выполнения курсовой работы были получены практические навыки в разработке проекта на языке описания оборудования VHDL, его тестирования в среде ModelSim 10.5b и синтеза в Quartus Prime 18.0.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1) TEI0003 TRM Revision: v.18, 04/16/2019, Copyright © 2019 Trenz Electronic GmbH, <http://www.trenz-electronic.de>;
- 2) Intel® Cyclone® 10 LP Core Fabric and General Purpose I/Os Handbook, C10LP51003, 2020.05.21. www.intel.com;
- 3) AD9761: Dual 10-Bit TxDAC+® with Interpolation Filters D/A Converter Data Sheet (Rev. C), <https://www.analog.com>;
- 4) «Основы языка VHDL» П. Н. Бибило, Изд. 3-е, доп. М.: Изд. ЛКИ, 2007. – 328 с., ISBN 978-5-382-00334-4;
- 5) НИЯУ МИФИ. Методический материал для выполнения курсовой работы по предмету «Схемотехника цифровых устройств». Функциональный генератор сигналов.