

И. В. Сочнев

АО «Научно-производственное предприятие «Радар ммс»», Санкт-Петербург, Россия

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕКЛЮЧАЕМОГО СИНТЕЗАТОРА ЧАСТОТ С УСТРОЙСТВОМ ФАЗОВОЙ ПАМЯТИ

Цифровые вычислительные синтезаторы (ЦВС) с помощью устройства фазовой памяти позволяют разрабатывать быстро переключаемые синтезаторы частот для применения в когерентных системах. В зависимости от типа используемого устройства фазовой памяти будут варьироваться требования к цифровому устройству управления, с помощью которого происходит загрузка данных в ЦВС.

Ключевые слова: цифровой вычислительный синтезатор, устройство фазовой памяти, переключение частот.

Для цитирования: Сочнев И. В. Моделирование переключаемого синтезатора частот с устройством фазовой памяти // Радиопромышленность. 2017. № 2. С. 50–56.

I. V. Sochnev

Joint-stock Company «Research and Production Enterprise «Radar mms»», Saint-Petersburg, Russia

MODELING OF THE SWITCHED FREQUENCY SYNTHESIZER SUPPLIED WITH A PHASE MEMORY DEVICE

Direct Digital Synthesizers with a phase memory device make it possible to design quickly switchable frequency synthesizers for use in coherent systems. Depending on a particular type of a phase memory device used, requirements to digital control device used for data download to the Direct Digital Synthesizers will vary.

Keywords: digital computing synthesizer, phase memory device, frequency switching.

For citation: Sochnev I. V. Modeling of the switched frequency synthesizer supplied with a phase memory device. Radiopromyshlennost, 2017, no. 2, pp. 50–56 (In Russian).

DOI 10.21778/2413-9599-2017-2-50-56

Анализ принципов работы ЦВС показывает, что данные синтезаторы являются наиболее перспективными компонентами для построения быстро переключаемых синтезаторов. При этом фазовая автоматическая подстройка частоты (ФАПЧ) уже является только источником фиксированной частоты, а ЦВС служит в качестве переключаемого синтезатора.

Но из-за особенностей работы ЦВС сигнал одной и той же частоты, синтезируемый ЦВС, после переключения теряет информацию о начальной фазе. Тем не менее современные ЦВС обладают возможностью задавать не только частоту, но и такие

основные параметры выходного сигнала, как начальная фаза и максимальный размах амплитуды.

По приведенным в [1] моделям, для разработки переключаемого синтезатора синусоидальных сигналов достаточно вне ЦВС создать механизм, идентичный нескольким фазовым аккумуляторам ЦВС, либо идентичный счетчику, значение которого перемножается с выбранным значением фазового инкремента. Значение фазового инкремента можно вычислить по формуле

$$POW_i = \text{mod} \left(\frac{f_{clk}}{f_{sync}} FTW_i, 2^n \right), \quad (1)$$

где f_{clk} – тактовая частота ЦВС; f_{sync} – системная частота ЦВС; POW_i – значение фазового инкремента; FTW_i – значение регистра частоты; n – разрядность регистров; mod – остаток от деления. Нарращивание фазового инкремента производится по формуле

$$POW_i^k = \text{mod}\left(\sum_k POW_i, 2^n\right), \quad (2)$$

где POW_i^k – накопленная отстройка по фазе к моменту переключения; n – разрядность регистров; i – номер частоты; k – номер такта.

Устройство фазовой памяти, работающее со счетчиком, описывается формулой

$$POW_i^k = \text{mod}(POW_{ik}, 2^n). \quad (3)$$

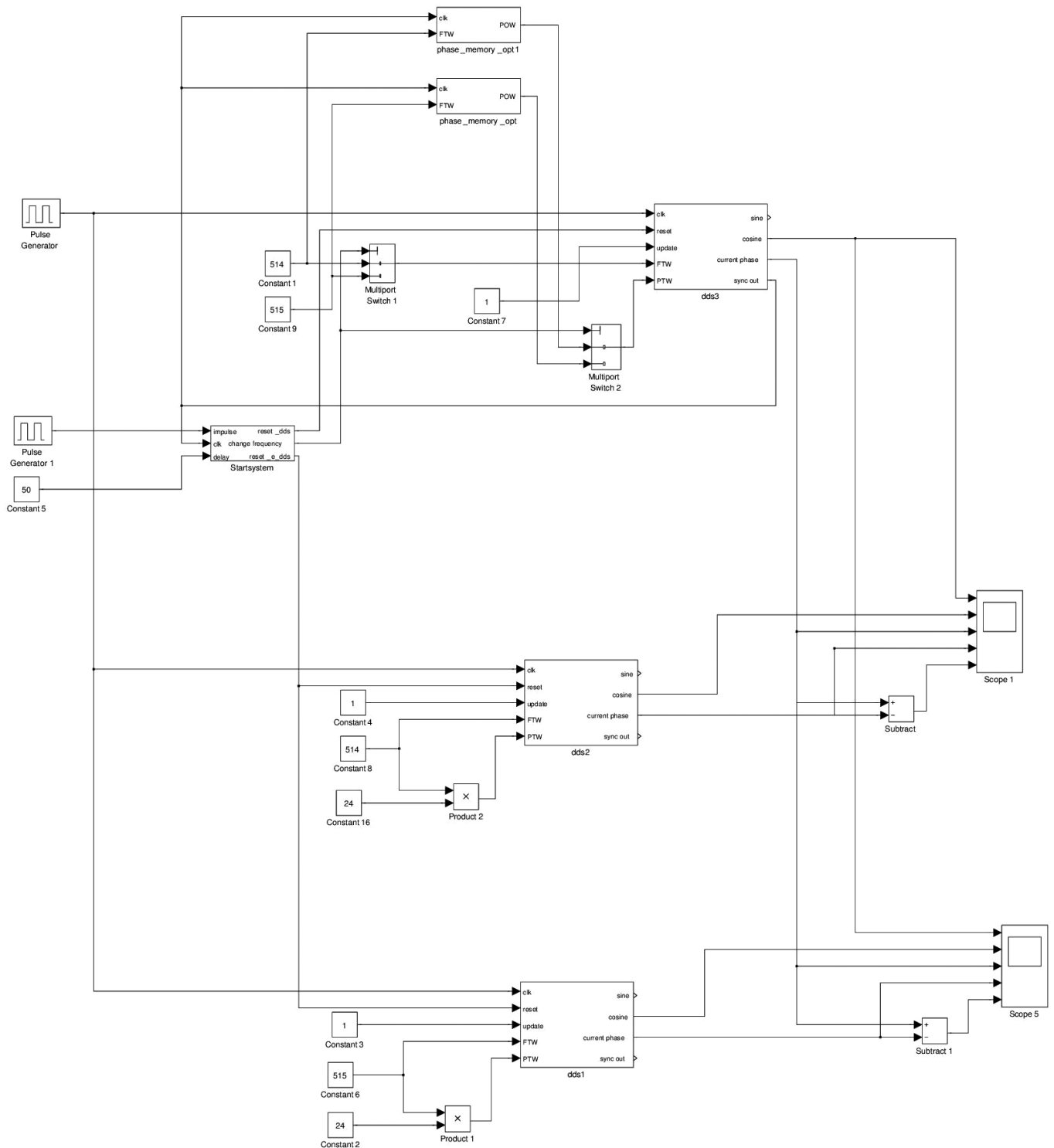


Рисунок 1. Модель синтезатора с устройством фазовой памяти

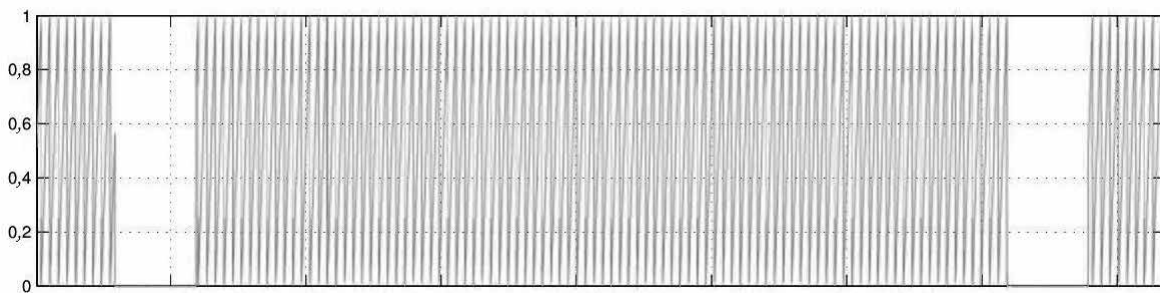
Если учесть тот факт, что системная частота реальных ЦВС меньше тактовой частоты в кратное число раз, то можно утверждать, исходя из (1), что значения младших разрядов в регистре фазового инкремента – нули. То есть значение регистра фазового инкремента – это значение регистра частоты ЦВС, сдвинутого на соответствующее число разрядов влево. Соответственно, вместо шестнадцатиразрядного регистра счетчика можно использовать счетчик с уменьшенной разрядностью, равной разрядности регистра фазового инкремента.

Устройство фазовой памяти реализуется двумя способами: с наращиванием фазового инкремента [2] и с умножением фазового инкремента на значение счетчика [3]. При этом обе реализации устройства обладают одинаковым набором входных параметров. Общей чертой обеих реализаций

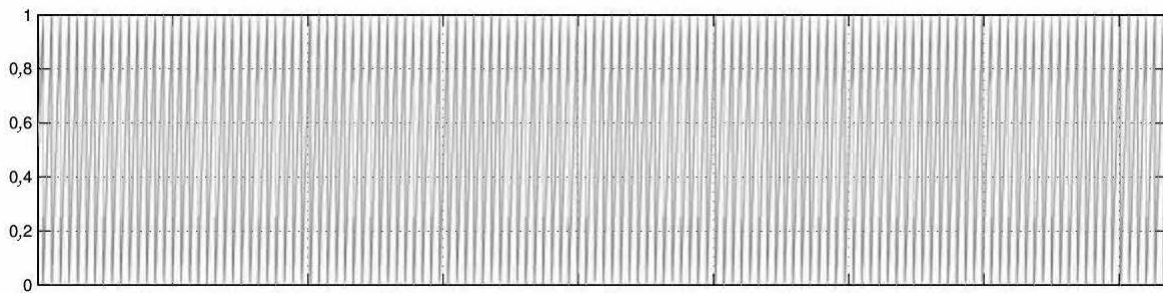
является расчет фазового инкремента из значения частотного регистра [1].

Для проверки устройства фазовой памяти и проработки реализации переключаемого синтезатора строится модель, в которой реализуются два эталонных ЦВС и устройства фазовой памяти для двух частот. Переключение частот осуществляется по очереди.

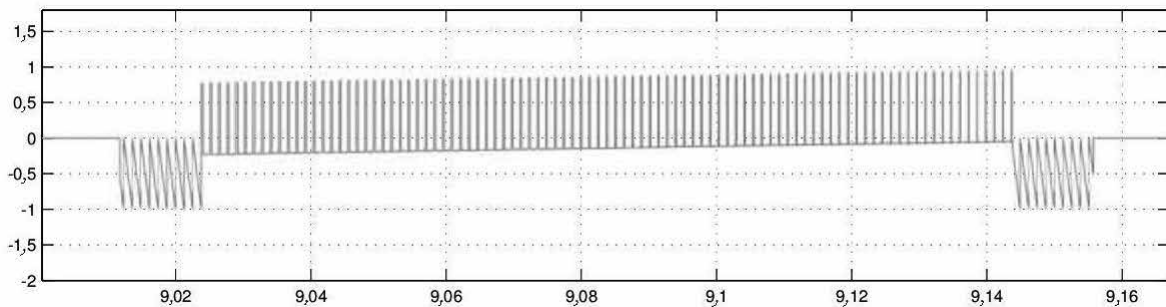
На рис. 1 представлена модель синтезатора, который поочередно синтезирует две частоты с сохранением начальной фазы сигнала каждой из частот. Модель состоит из двух эталонных ЦВС, синтезирующих, соответственно, первую и вторую частоты. Для компенсации ошибки начальной фазы, возникающей из-за задержки старта, в соответствии со значением регистров частоты каждого ЦВС, в ЦВС записывается фиксированное



а)



б)



в)

Рисунок 2. Значения текущих фаз: а – переключаемого ЦВС; б – эталонного ЦВС; в – значение разности между фазами для первой частоты

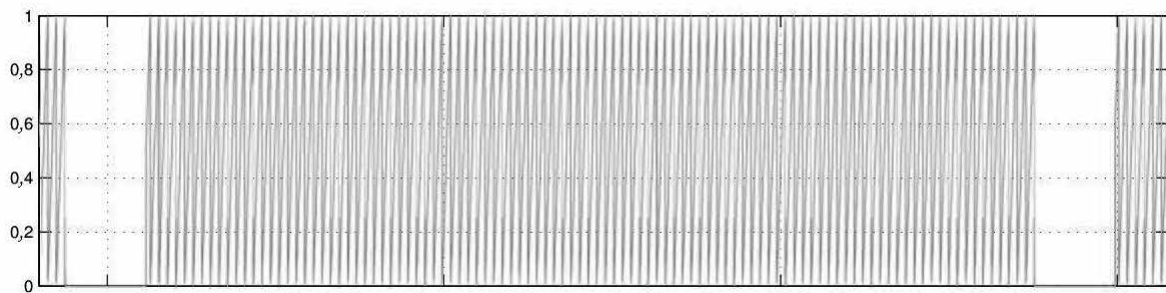
значение регистра фазовой отстройки. К переключаемому ЦВС через мультиплексоры подаются значения для регистров частоты и фазовой отстройки. Значение фазовой отстройки для каждой частоты вычисляется в отдельных устройствах фазовой памяти. Устройства фазовой памяти коммутируются сигналом переключения частоты. Сигналы переключения и сброса ЦВС формируются в устройстве, состоящем из триггеров и счетчиков. На вход устройства подается сигнал переключения от независимого генератора с частотой, некратной тактовой частоте ЦВС. Тактируется данное устройство системной частотой ЦВС для формирования сигналов сброса и команд выбора частоты по фронту системной частоты ЦВС.

На рис. 2, 3 представлены зависимости текущих фаз и их разностей от времени для двух частот.

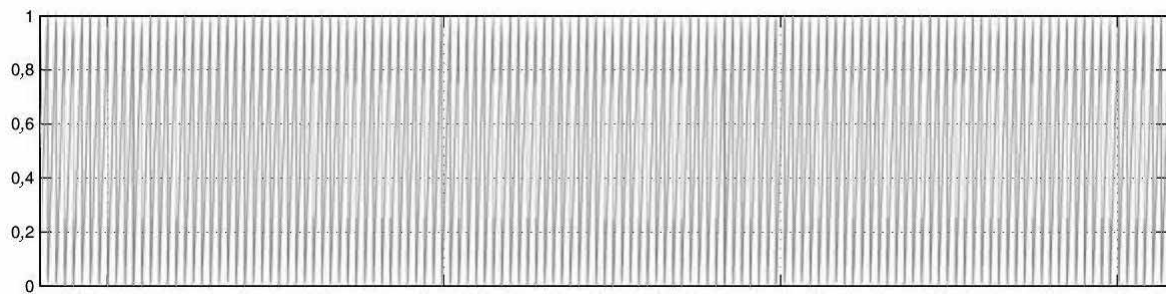
На них показаны промежутки времени, следующие друг за другом. Из этих рисунков следует, что устройство точно рассчитывает значения фазовой отстройки для каждой частоты. Из зависимостей разности фаз следует, что для каждой частоты после каждого переключения начальная фаза сигнала остается прежней после переключения на ту же самую частоту.

Следовательно, для разработки синтезаторов с устройством фазовой памяти с заданным количеством частот потребуется такое же количество устройств фазовой памяти для каждой частоты.

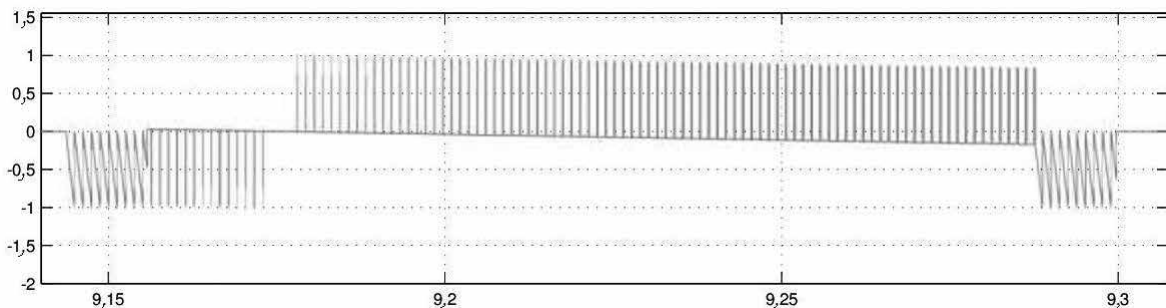
Структура модели синтезатора с устройством фазовой памяти с умножением фазового инкремента на значение счетчика (рис. 4) отличается от структуры модели, описанной выше. Данная модель также имеет в своем составе по два эталонных



а)



б)



в)

Рисунок 3. Значения текущих фаз: а – переключаемого ЦВС; б – эталонного ЦВС; в – значение разности между фазами для второй частоты

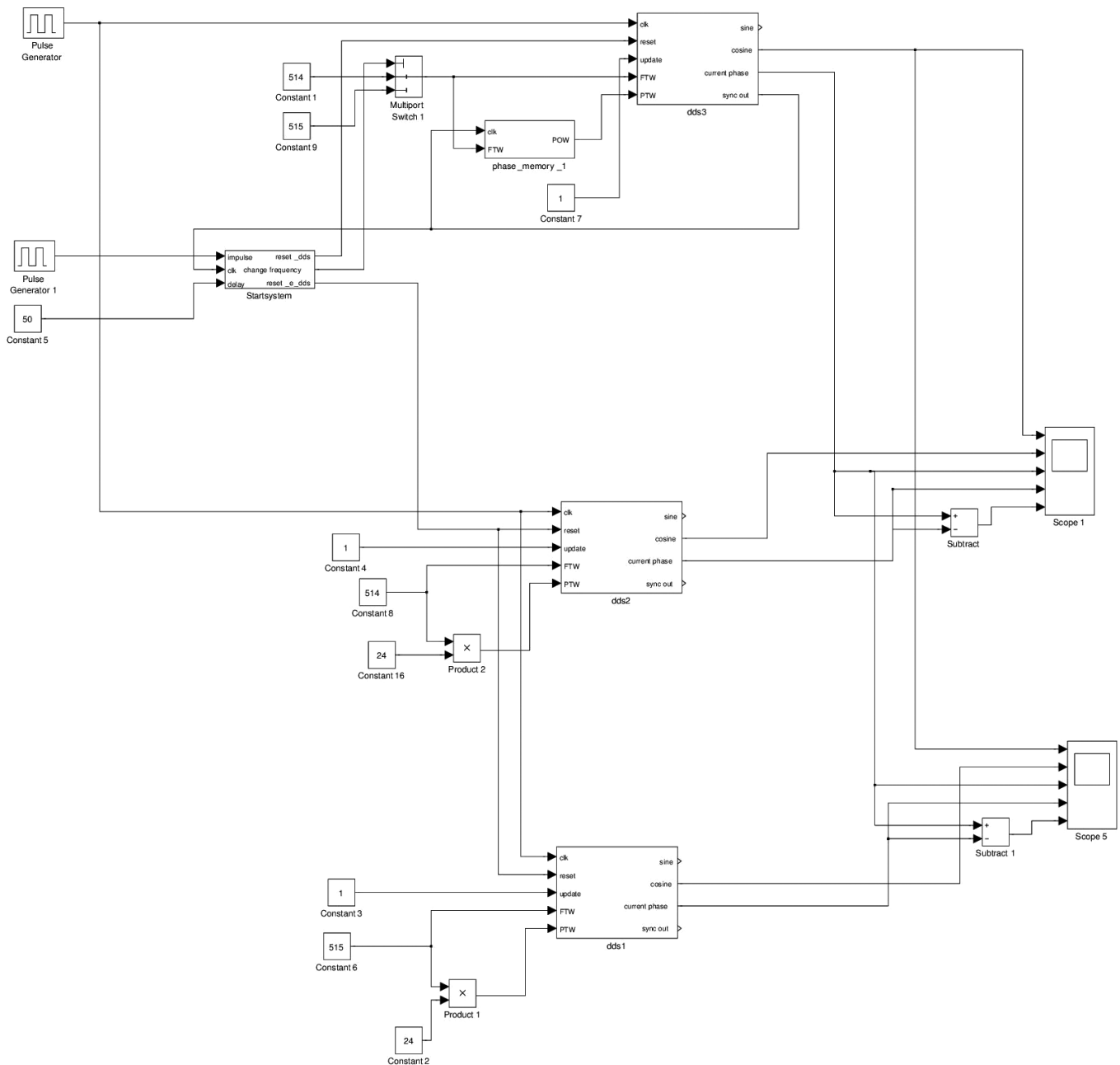


Рисунок 4. Модель синтезатора с устройством фазовой памяти

ЦВС для каждой из частот, ЦВС, переключаемый между этими частотами, устройство переключения, один мультиплексор и одно устройство фазовой памяти, описываемое формулой (3).

По сигналу переключения от независимого генератора с частотой, некратной тактовой частоте ЦВС, мультиплексор коммутует значение частотного регистра с соответствующей частотой, одновременно с чем происходит сброс данных ЦВС. Значение частотного регистра поступает одновременно на вход ЦВС и на вход устройства фазовой памяти. С выхода устройства фазовой памяти данные о фазовой отстройке подаются на вход ЦВС. Устройство формирования сигналов сброса и переключения частот

имеет аналогичную архитектуру, как и для предыдущей модели, т.е. состоит из триггеров и счетчиков. Данное устройство синхронно с системной частотой вырабатывает сигналы сброса и переключения частоты. Результаты работы модели синтезатора для двух частот представлены на рис. 5, 6.

Из рис. 5, 6 видно, что значения текущих фаз сигналов обеих частот совпадают со значениями текущих фаз сигналов, поступающих с эталонных ЦВС. Следовательно, начальная фаза сигнала остается прежней после переключения на искомым частоту. В некоторых случаях наличие двух операций умножения может привести к появлению трудностей в учете задержек, вызванных

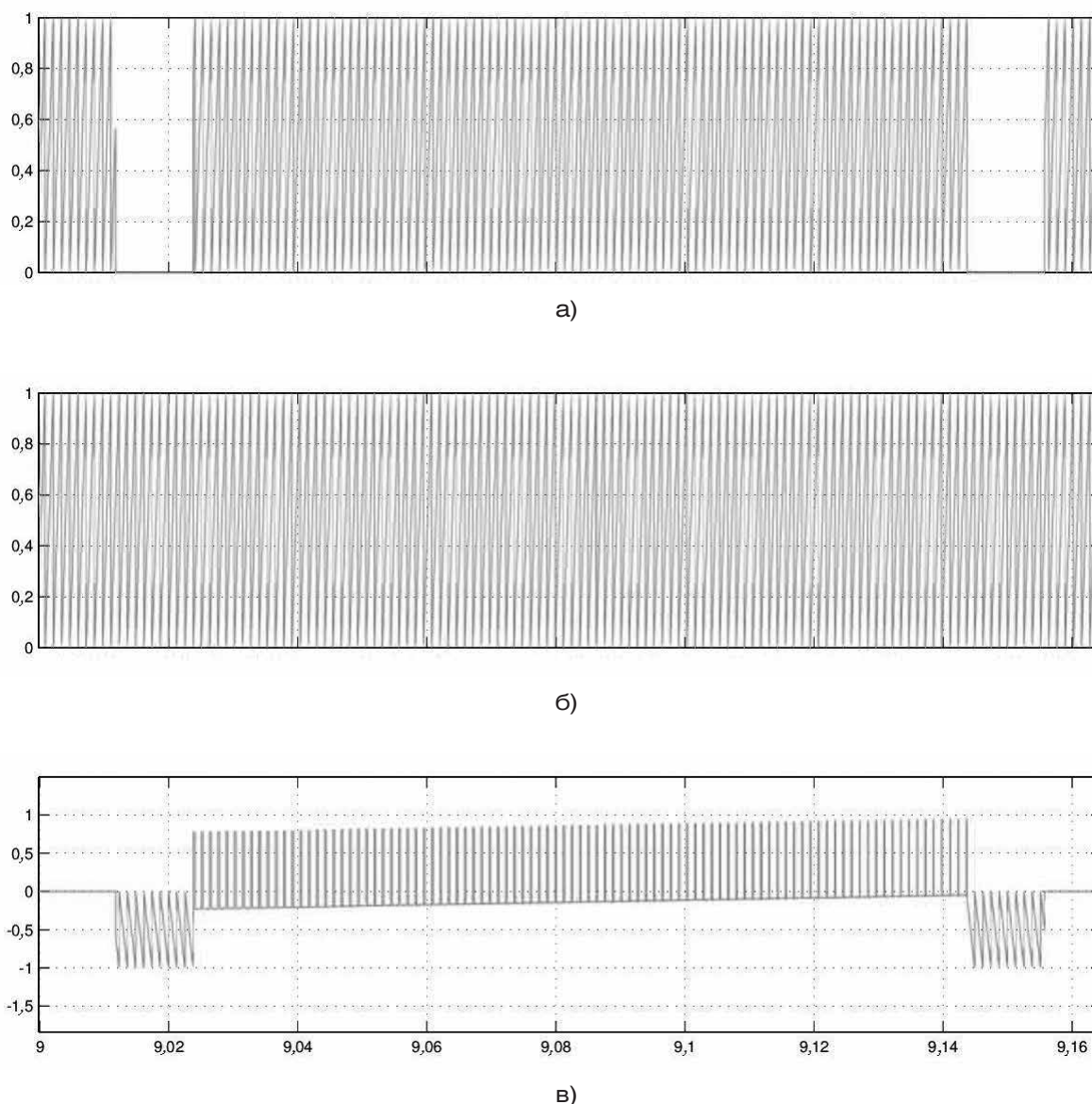


Рисунок 5. Значения текущих фаз: а – переключаемого ЦВС; б – эталонного ЦВС; в – значение разности между фазами для второй частоты

дополнительным вычислением. Однако, исходя из идентичности работы обоих устройств фазовой памяти и сравнения структур синтезаторов на их основе, можно выявить преимущество устройства

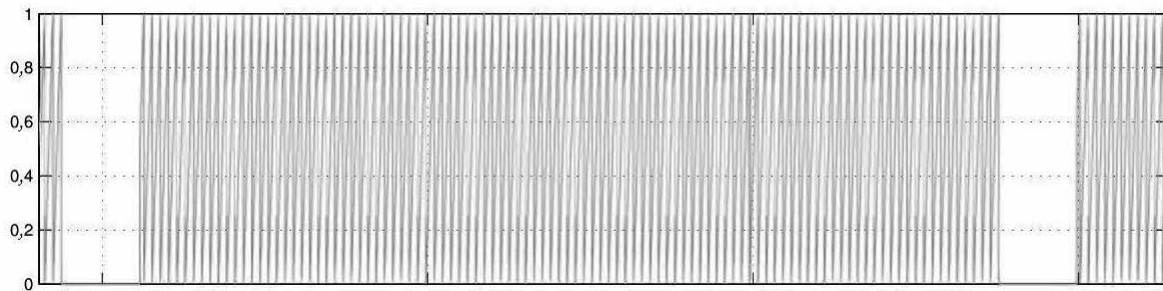
фазовой памяти с умножением фазового инкремента на значение счетчика по количеству устройств фазовой памяти в сравнении с предыдущим вариантом архитектуры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

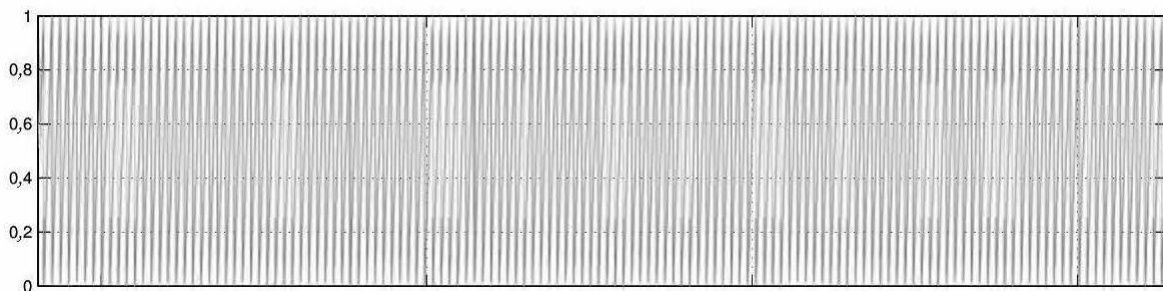
1. Сочнев И. В. Моделирование устройства фазовой памяти // Вопросы радиоэлектроники. 2017. № 1. С. 64–74.
2. Патент № RU2597477. H03L 7/16. Синтезатор частот / Сочнев И. В. Патентообладатель: АО «НПП «Радар ммс»»; опублик. 10.09.2015.
3. Patent application publication № US2014240004A1 H03B21/00. Phase disciplined, direct digital synthesizer based, coherent signal generator, Inventors, Inventors: Fawley R. J., Masoum H., Scarbro A., Williams A. D., applicant: TELEDYNE WIRELESS, LLC, Thousand Oaks, CA (US), Pub. Date Aug. 28, 2014.

REFERENCES

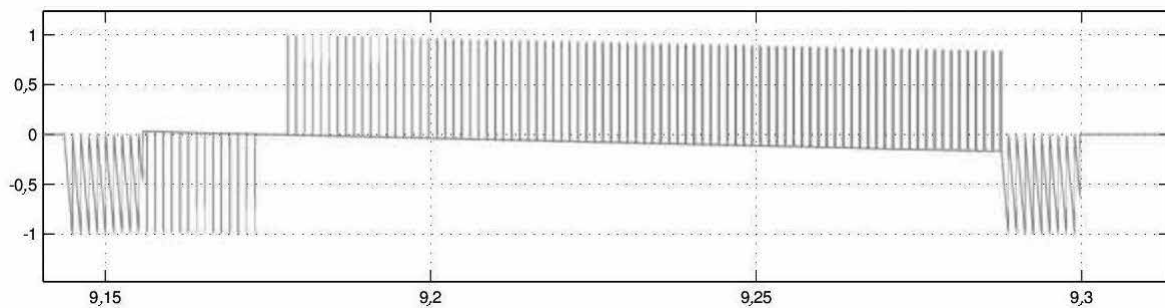
1. Sochnev I. V. Modeling of the phase memory device. *Voprosy radioelektroniki*, 2017, no. 1, pp. 64–74 (In Russian).
2. Patent № RU2597477, H03L 7/16. Cintezator chastot [Patent № RU2597477, H03L 7/16. Frequency synthesizer]. Sochnev I. V. Patentobladatel': AO «NPP «Radar mms»»; publ. 10.09.2015 (In Russian).



а)



б)



в)

Рисунок 6. Значения текущих фаз: а – переключаемого ЦВС; б – эталонного ЦВС; в – значение разности между фазами для второй частоты

3. Patent application publication № US2014240004A1 H03B21/00 Phase disciplined, direct digital synthesizer based, coherent signal generator, Inventors: Fawley R.J., Masoum H., Scarbro A., Williams A.D., applicant: TELEDYNE WIRELESS, LLC, Thousand Oaks, CA (US), Pub. Date Aug. 28, 2014.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Сочнев Игорь Владимирович, инженер, АО «Научно-производственное предприятие «Радар ммс»», 197375, Санкт-Петербург, ул. Новосельковская, д. 37, лит. А, e-mail: sochnev_iv@radar-mms.com.

AUTHOR

Sochnev Igor, engineer, Joint-stock Company «Research and Production Enterprise «Radar mms»» 37, lit. A, Novoselkovskaya st., 197375, Saint-Petersburg, Russian Federation, e-mail: sochnev_iv@radar-mms.com.