

Способы синхронизации многопозиционной микроволновой системы

В.В. Мещеряков^{1,2}, А.Д. Григорьев¹, П.Д. Юрманов²

¹Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»

²ООО «Апстек Лабс»

Аннотация: в данной работе описаны способы синхронизации многопозиционной микроволновой досмотровой системы. Приведены схемы синхронизации. Определена современная элементная база, позволяющая реализовать предложенную схему. Основываясь на опыте эксплуатации и разработки цифровых антенных решеток, сделаны выводы о применимости распределенной схемы синхронизации.

Ключевые слова: микроволновая многопозиционная система, синхронизация, радар с пошаговым переключением частоты

1. Введение

Террористические атаки с применением взрывчатых веществ и огнестрельного оружия являются вызовом для безопасности объектов инфраструктуры, социальных и государственных учреждений, а также мест массового скопления людей. Научные коллективы всего мира представляют свои решения для предупреждения таких угроз. Одним из вариантов такого решения является многопозиционная микроволновая досмотровая система (ММДС) [1]. ММДС состоит из множества передающих и принимающих антенн, распределенных в пространстве и формирующих апертуру цифровой антенной решетки (ЦАР). Разработкой таких систем занимаются компании Apstec, Evolv, Rohde&Shwartz [2,3,4].



Рисунок 1. Многопозиционная микроволновая досмотровая система компании Apstec Labs

2. Описание способов синхронизации

Рассмотрим некоторые способы построения ЦАР на примере ММДС компании Apstec Labs. В выбранной ММДС используется способ построения радиоизображения, при котором для сканирования окружающего пространства волнами сверхвысокой

частоты используется радар с пошаговым переключением частоты (stepped frequency radar) [5]. На рис. 2 изображена базовая схема построения такого радара.

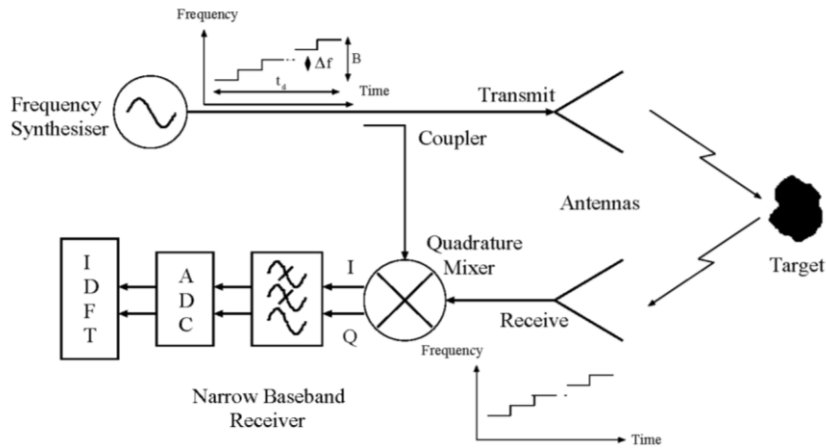


Рисунок 2. Базовая схема радара с пошаговым переключением частоты

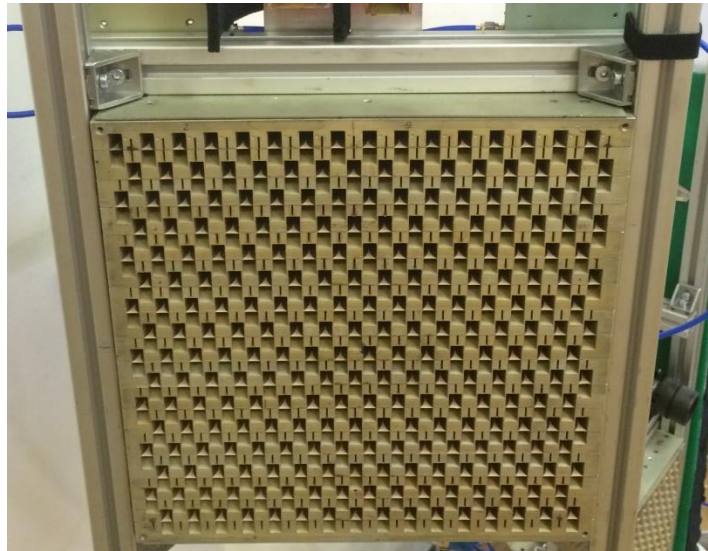


Рисунок 3. Решётка передатчиков ММДС

Часто в англоязычной литературе можно встретить определение stepped frequency continuous wave radar (SFCW)[6] – оно также справедливо для рассматриваемой ММДС, но в этом случае необходимо учитывать, что система содержит более 1000 передающих элементов (Рис. 3) и определение SFCW справедливо не для конкретного приёмно-передающего канала, а для всей системы в целом. Как видно из схемы на рис. 2 синхронизация приёмного и передающего канала осуществляется за счёт подачи части опорного СВЧ сигнала на приёмник, а последующее гетеродинирование с сохранением относительной амплитуды и фазы позволяет произвести дальнейшее восстановление радио изображения методами радиовидения [7].

В этом базовом случае точность измерения амплитуды-фазы достигается, в том числе за счёт прямого соединения кабелем микроволнового диапазона модулей приёмных и передающих каналов. Для систем, содержащих по одному приёмному и передающему каналу в большинстве случаев это не является проблемой, но на рисунке 1 показано, что ММДС имеет два разнесённых модуля расположенных на расстоянии 2,5 метра, каждый модуль имеет в своём составе приёмно-передающую СВЧ часть. С учётом рабочих частот ММДС 8-18 ГГц широкополосное микроволновое оборудование (кабели, делители, направленные ответвители, усилители) является крайне дорогостоящим.

Прогресс в области радиоэлектроники позволяет использовать иные способы решения задачи синхронизации. Так предлагается использовать системы удаленной синхронизации: устройства сетевой синхронизации с низким джиттером (Low-jitter Network Synchronizer Clock device) в терминологии Texas Instrument [8] или адаптивный синхронизатор по стандарту IEEE 1588 и по 1 импульсу в секунду (IEEE1588 Version 2 and 1 pps Synchronizer and Adaptive Clock Translator) производимые компанией Analog Device [9]. Рассмотрим их устройство на примере чипа AD9545.

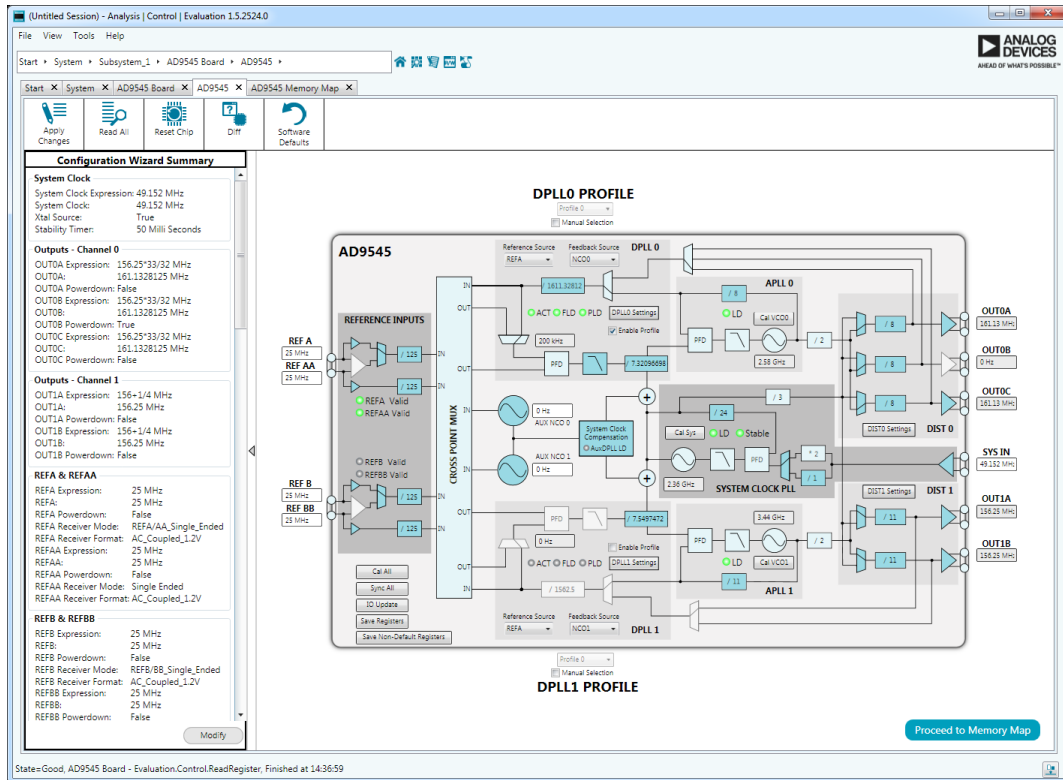


Рисунок 4. Окно программы ACE Analog Device с интерфейсом подключенного модуля AD9545 evaluation module.

Как видно на рисунке 4 данный чип содержит цифровую и аналоговую схемы фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ), которые могут быть синхронизированы, используя протокол IEEE 1588 (по сети Ethernet) с джиттером 220 фс в области рабочих частот опорного генератора. При заявленной точности схему из рисунка 2 можно изменить на схему, показанную на рисунке 5

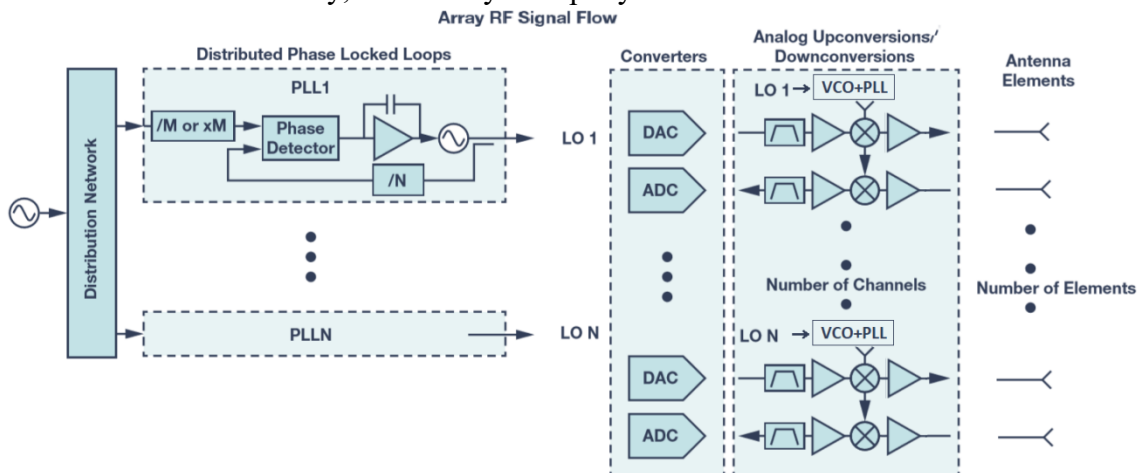


Рисунок 5. Схема ЦАР с использованием распределенной системы синхронизации.

На схеме распределенной синхронизации (рис. 5) в модуле повышающего и понижающего аналогового преобразования для синтеза опорной СВЧ частоты используется чип, совмещающий в себе генератор, управляемый напряжением и ФАПЧ (например, ADF5355 [11] совместно с умножителем HMC561LP3 [12] для достижения необходимых рабочих частот рассматриваемой ММДС). Управление такой схемой усложнится, так как необходимо обеспечить синхронную работу модулей генерации сигнала такой системы, но, несмотря на эти трудности, при массовом производстве за счёт исключения дорогостоящей распределительной СВЧ системы может быть достигнута существенная экономия.

3. Заключение

В работе представлен способ снижения стоимости системы синхронизации ММДС. Практика показывает, что при эксплуатации системы в сложных условиях (перемещения, монтаж-демонтаж) повышается вероятность выхода из строя соединительных элементов имеющих прецизионные параметры. К таким относятся, например, СВЧ кабели. Поэтому предложенный способ не только снижает цену, но и повышает надежность всей ММДС, что крайне важно для обеспечения непрерывного досмотра и безопасности.

Список литературы

1. Воробьев С. И., Многопозиционная система построения микроволнового изображения в режиме реального времени / Воробьев С. И., Аверьянов В. П., Осипов М. Ю., Семенов С. Н. // сборник статей тринадцатой международной научно-практической конференции «Фундаментальные и прикладные исследования, разработка и применение высоких технологий в промышленности и экономике», Санкт-Петербург, Россия, 24-26 мая, 2012. – С. 44-47
2. Сайт компании Астек Лабс с описанием ММДС HSR. – Режим доступа: <http://apsteclabs.com/#product>
3. Сайт компании Evolv с описанием ММДС Edge. – Режим доступа: <https://evolvtechnology.com/products/>
4. Сайт компании Rohde&Schwarz с описанием ММДС QPS. – Режим доступа: https://www.rohde-schwarz.com/ru/product/qps-productstartpage_63493-332676.html
5. Noon D. A. Stepped-Frequency Radar Design and Signal Processing Enhances Ground Penetrating Radar Performance: A thesis submitted for the degree of PhD. - Queensland, 1996 – p.186
6. Cam Nguyen. Stepped-Frequency Radar Sensors: Theory, Analysis and Design (SpringerBriefs in Electrical and Computer Engineering) / Cam Nguyen, Joongsuk Park - Springer; 1st ed. 2016 edition – p. 129
7. Воробьев С. И. Методическое и алгоритмическое обеспечение информационно-измерительных систем построения и анализа СВЧ-изображений динамических объектов : диссертация ... кандидата технических наук - Санкт-Петербург, 2015. - 172 с. : ил.
8. LMK05028 Low-Jitter Dual-Channel Network Synchronizer Clock With EEPROM - Режим доступа: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lmk05028.pdf>
9. Quad Input, 10-Output, Dual DPLL/IEEE 1588, 1 pps Synchronizer and Jitter Cleaner – режим доступа: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ad9545.pdf>
10. TI Network Synchronizer Clock Value Adds in Communications and Industrial Applications – Режим доступа: <http://www.ti.com/lit/an/snaa314/snaa314.pdf>
11. Microwave Wideband Synthesizer with Integrated VCO - Режим доступа: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADF5355.pdf>
12. SMT GaAs MMIC x2 ACTIVE FREQUENCY MULTIPLIER, 8 - 21 GHz OUTPUT – Режим доступа: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/hmc561.pdf>