Руководство

СИНХРОННОЕ ВЕЩАНИЕ FM SFN

(Isofrequency – Isomodulation - SFN)

March 2018

waveArt
HUMAN BROADCASTING

Преимущества синхронного FM вещания

Осуществление синхронной модуляции выходных сигналов FM передатчиков, вещающих на одной и той же частоте (Isofrequency, SFN), позволяет построить одночастотную сеть радиовещания или расширить зону покрытия основного передатчика.
Преимущества, предлагаемые этой технологией, значительны:

- существенное снижение требований к защитным отношениям уровня основного принимаемого сигнала к уровню сигнала от соседнего передатчика своей сети ,
- более эффективное использование частотного спектра,
- возможность вещания в зонах тени и/или на границах зоны обслуживания основного передатчика без использования дополнительной частоты.

Рекомендации ITU

При построении FM сетей синхронного вещания необходимо учитывать следующие Рекомендации, разработанные Международным Союзом Электросвязи (ITU).

- Рекомендации ITU-R BS.562-3 определяющие 5-ти уровневую шкалу для субъективной оценки качества или ухудшения качества звука в радиовещании.
- Рекомендации ITU-R BS.412-9 определяющие допустимые уровни мешающих сигналов по отношению к полезному сигналу (защитные отношения).

Уровни качества аудиосигналов

В Рекомендациях ITU-RBS.562-3 деградация (ухудшение) качества оценивается по 5-ти уровневой шкале: от лучшего 5 до худшего 1.
Обычно, в дополнение к уровню качества 5, допускается уровень 4 и, в крайнем случае, уровень 3. Например, для приема в автомобилях.
.

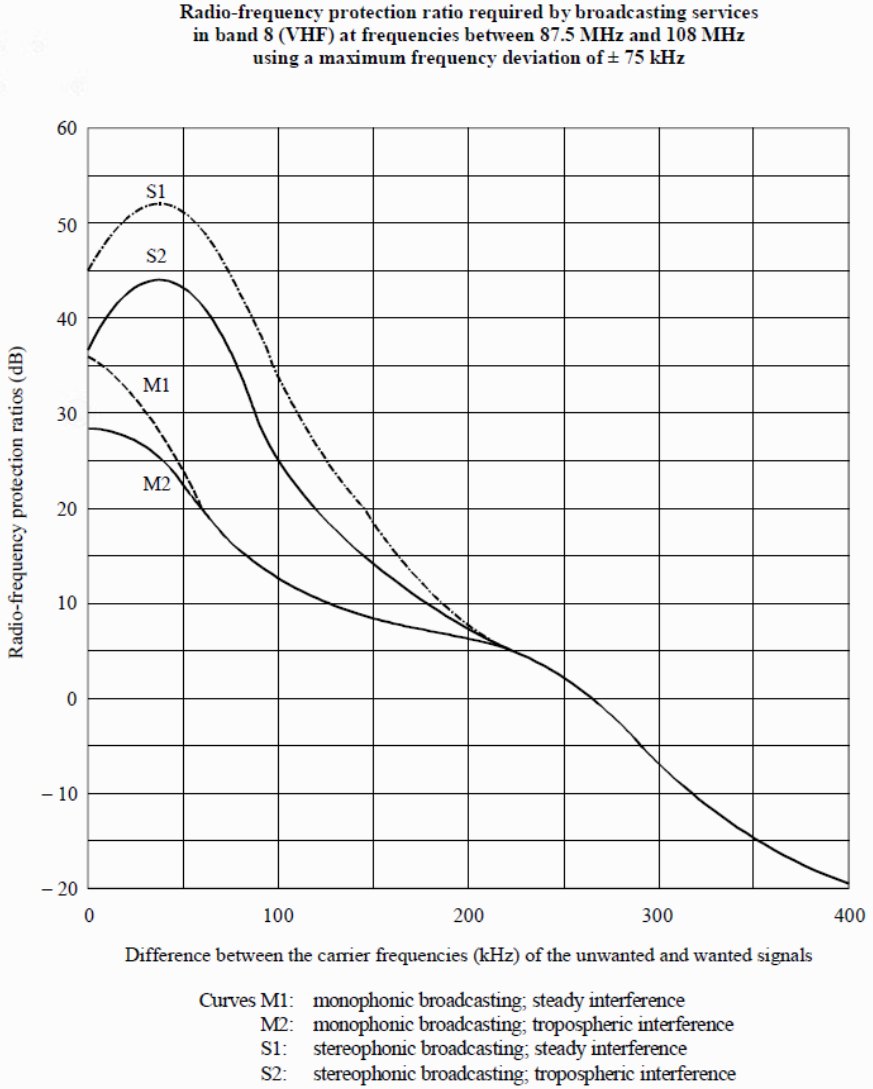
Качество сигнала	Ухудшение звука
5 Отличный 4 Хороший 3 Достаточный 2 Недостаточный 1 Плохой	5 Неразличимое 4 Различимое, но не раздражающее 3 Слегка раздражающее 2 Раздражающее 1 Очень раздражающее

Защитные отношения для двух разных сигналов

Рекомендации ITU-RBS.412-9 определяют необходимые защитные отношения между двумя различными или несинхронизированными друг с другом сигналами в соответствии с:

- разносом частот,
- режимом передачи моно или стерео,
- непрерывностью помехи .

В случае постоянных помех с одинаковой частотой минимальное требуемое защитное отношение составляет 45 дБ для стереофонического вещания



Защитные отношения для одночастотных сигналов

Защитные отношения между двумя одночастотными сигналами зависят от:

- времени задержки между ними,
- режима моно или стерео,
- выбранного уровня качества.

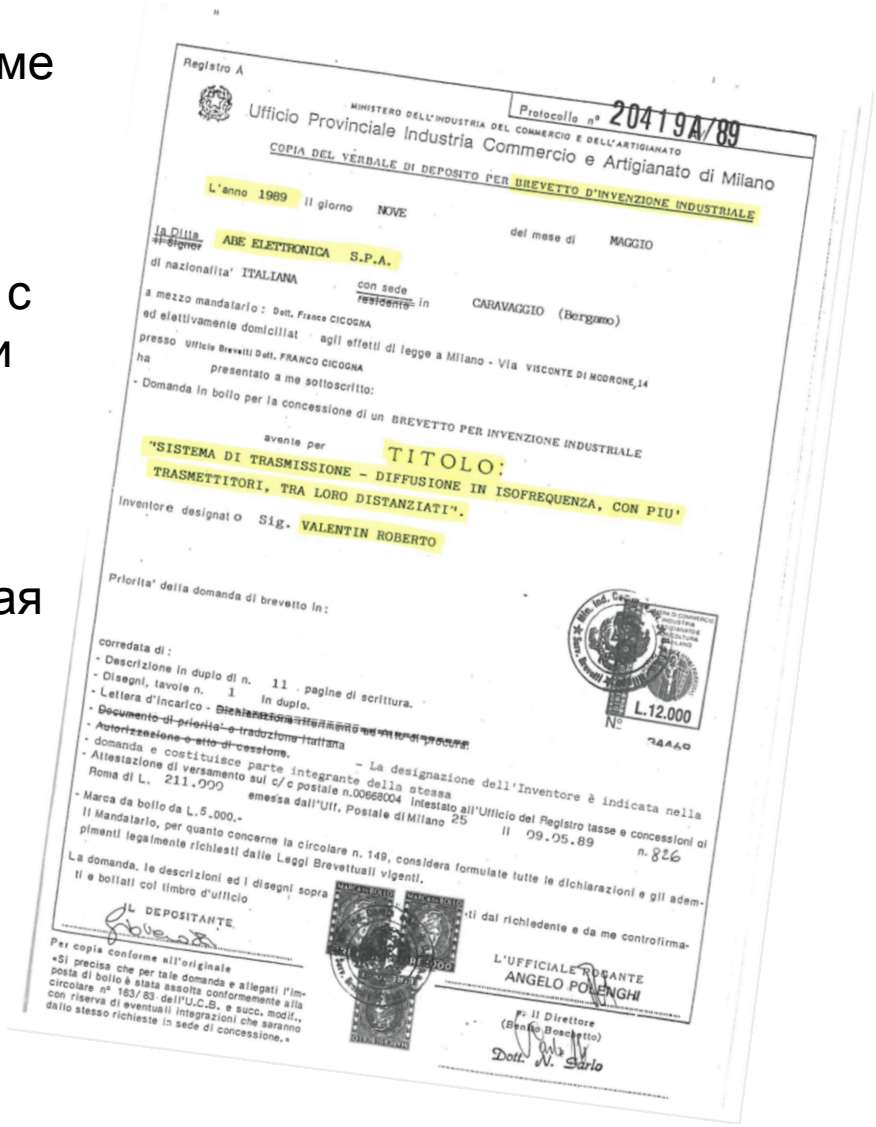
Например, для двух одночастотных сигналов стерео с разностью пути 4 км (задержка 13,2 мкс) требуется защитное отношение около 25 дБ, в то время, как для двух несинхронизированных сигналов - 45 дБ.

	Защитные отношения (дБ)			
Время задержки (мкс)	Монофонический режим		Стереофонический режим	
	Уровень качества		Уровень качества	
	3	4	3	4
2	<1	1	4	6
5	1	2	10	12
10	1	3	14	16
20	Не оценено	11	Не оценено	Не оценено
40	Не оценено	20	Не оценено	Не оценено

"Аналоговые" FM одночастотные сигналы

Реализация может быть осуществлена в "аналоговом" режиме (см. Патент ABE Elettronica, поданный в 1989 г.) с использованием РРЛ, передающей FM модулированную поднесущую, которая преобразуется в частоту излучения 87,5–108 МГц с помощью генератора, синхронизированного с другим сигналом, передаваемым по той же РРЛ. Основными недостатками этой системы являются широкая полоса занимаемых частот (более 10 МГц) и высокая стоимость аналоговых линий задержки.

Еще одна более дорогая "аналоговая" реализация, созданная RAI (итальянская общественная телерадиокомпания), основана на использовании оптического волокна для передачи модулированной FM несущей.



Registro A

MINISTERO DELL'INDUSTRIA DEL COMMERCIO E DELL'ARTIGIANATO

Ufficio Provinciale Industria Commercio e Artigianato di Milano

Protocollo n° 204194/89

COPIA DEL VERBALE DI DEPOSITO PER BREVETTO D'INVENZIONE INDUSTRIALE

L'anno 1989 il giorno NOVE del mese di MAGGIO

la Ditta ABE ELETTRONICA S.P.A.

di nazionalita' ITALIANA con sede in CARAVAGGIO (Bergamo)

a mezzo mandatario: Dott. Franco CICOGNA

ed elettivamente domiciliat agli effetti di legge a Milano - Via VISCONTE DI MODRONE,14

presso Ufficio Brevetti Dott. FRANCO CICOGNA

ha presentato a me sottoscritto:

- Domanda in bollo per la concessione di un BREVETTO PER INVENZIONE INDUSTRIALE

avente per TITOLO:

"SISTEMA DI TRASMISSIONE - DIFFUSIONE IN ISOFREQUENZA, CON PIU' TRASMETTITORI, TRA LORO DISTANZIATI".

Inventore designato Sig. VALENTIN ROBERTO

Priorita' della domanda di brevetto in:

corredata di:

- Descrizione in duplo di n. 11 pagine di scrittura.
- Disegni, tavole n. 1 in duplo.
- Lettera d'incarico - ~~Dichiarazione attestante~~
- ~~Documento di priorita'~~ e traduzione italiana
- ~~Autorizzazione o atto di cessione~~
- domanda e costituisce parte integrante della stessa - La designazione dell'Inventore è indicata nella
- Attestazione di versamento sul c/c postale n.00668004 intestato all'Ufficio del Registro tasse e concessioni di Roma di L. 211.000 emessa dall'Uff. Postale di Milano 25 il 09.05.89 n. 826
- Marca da bollo da L. 5.000.-

Il Mandatario, per quanto concerne la circolare n. 149, considera formulate tutte le dichiarazioni e gli adempimenti legalmente richiesti dalle Leggi Brevettuali vigenti.

La domanda, le descrizioni ed i disegni sopra ...ti dal richiedente e da me controfirmati e bollati col timbro d'ufficio

IL DEPOSITANTE

L'UFFICIALE ROGANTE
ANGELO POLENGHI

Per copia conforme all'originale

«Si precisa che per tale domanda e allegati l'imposta di bollo è stata assolta conformemente alla circolare n° 163/83 dell'U.C.B. e succ. modif., con riserva di eventuali integrazioni che saranno dallo stesso richieste in sede di concessione.»

P. Il Direttore
(Benito Boschetto)
Dott. N. Sarlo

L.12.000

Испытания защитных отношений WaveArt-ABE

Рекомендации ITU-RBS.412-9 были приняты в 1998 году на основе "аналоговой" реализации одночастотной сети и с использованием FM приемников того времени.

Аналогичные испытания новой реализации WaveArt-ABE с "цифровыми" передатчиками и современными приемниками показали значительно лучшие результаты.
Испытания проводились с разностью частот передатчиков 0,13 Гц, чтобы учесть искажения, возникающие при медленно меняющейся разнице фаз несущих.

* Рассмотрение защитного отношения 0 дБ допустимо, так как, даже при минимальной разнице в уровнях, полного подавления сигнала практически не происходит. В реальных условиях этому будет также препятствовать наличие сигналов, отраженных от земли, домов и других объектов.

Разница во времени / расстоянии до точки приема между 2-мя изочастотными FM излучениями	Необходимое защитное отношение (дБ) **[Digital – WaveArt-ABE]**			
	Монофонический режим		Стереофонический режим	
	Уровень качества		Уровень качества	
	3	4	3	4
2 мкс (0,6 км)	N.C.	N.C.	N.C.	0*
5 мкс (1,5 км)	N.C.	0*	0*	<1 дБ
10 мкс (3 км)	0*	1 дБ	<1 дБ	1 дБ
20 мкс (6 км)	1 дБ	3 дБ	1 дБ	3 дБ
40 мкс (12 км)	3 дБ	6 дБ	3 дБ	6 дБ
80 мкс (24 км)	6 дБ	10 дБ	6 дБ	10 дБ
160 мкс (48 км)	7 дБ	11 дБ	10 дБ	13 дБ

N.C. = не учитывается (not Considered)

Сравнение испытаний ITU и WaveArt-ABE

Испытания новой реализации WaveArt-ABE показали значительно лучшие результаты

Разница во времени / расстоянии до точки приема между 2-мя изочастотными FM излучениями	Требуемое защитное отношение [dB] **[Аналог - ITU-R BS.412-9]**			
	Моно сигнал Уровень качества		Стерео сигнал Уровень качества	
	3	4	3	4
2 мкс (0,6км)	<1 дБ	1 дБ	4 дБ	6 дБ
5 мкс (1,5 км)	1 дБ	2 дБ	10 дБ	12 дБ
10 мкс (3 км)	1 дБ	3 дБ	14 дБ	16 дБ
20 мкс (6 км)	N.A.	11 дБ	N.A.	N.A.
40 мкс (12 км)	N.A.	20 дБ	N.A.	N.A.
80 мкс (24 км)	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
160 мкс (48 км)	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.

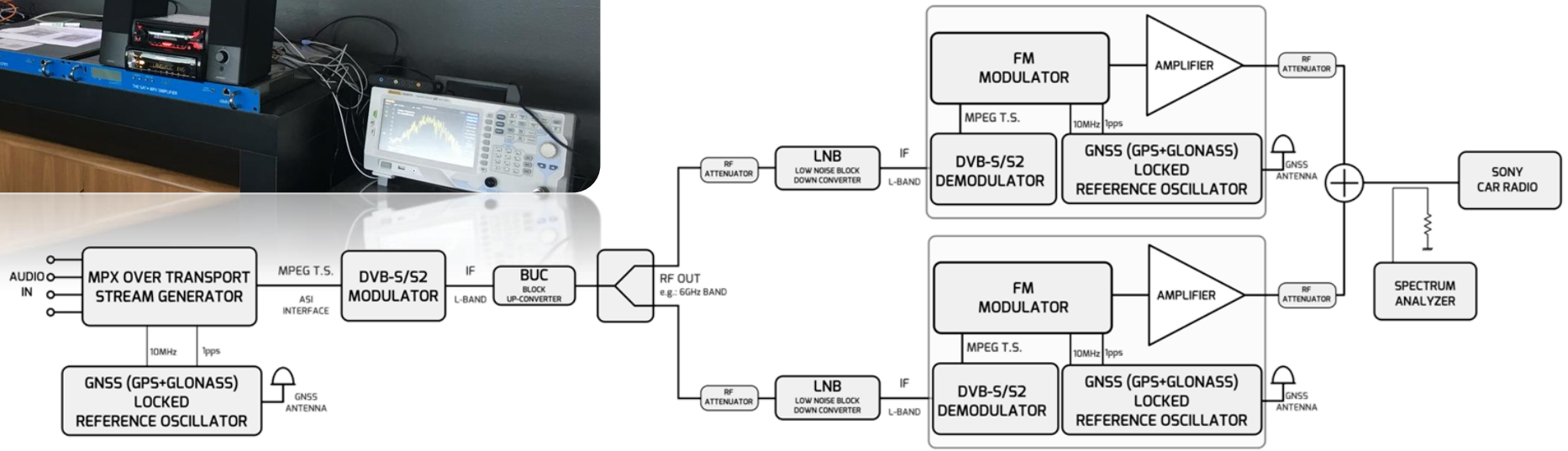
N.A. = недоступно (Not Available)

Разница во времени / расстоянии до точке приема между 2-мя изочастотными FM излучениями	Требуемое защитное отношение [dB] **[Цифра - WaveArt-ABE]**			
	Моно сигнал Уровень качества		Стерео сигнал Уровень качества	
	3	4	3	4
2 мкс (0,6км)	N.C.	N.C.	N.C.	0 дБ*
5 мкс (1,5 км)	N.C.	0 дБ*	0 дБ*	<1 дБ
10 мкс (3 км)	0 дБ*	1 дБ	<1 дБ	1 дБ
20 мкс (6 км)	1 дБ	3 дБ	1 дБ	3 дБ
40 мкс (12 км)	3 дБ	6 дБ	3 дБ	6 дБ
80 мкс (24 км)	6 дБ	10 дБ	6 дБ	10 дБ
160 мкс (48 км)	7 дБ	11 дБ	10 дБ	13 дБ

N.C. = не учитывается (not Considered)

Тестирование реализации WaveArt-ABE

Тестовые измерения были сделаны в соответствии с приведенной схемой как с использованием недорогого автомобильного радиоприемника Sony CDXG1200U, так и более дорогого автомобильного приемника Pioneer и показали полностью аналогичные результаты.



Тестирование новой цифровой реализации

Поскольку оценка качества звука является субъективной, вы можете сами прослушать аудиофайлы, записанные на выходе автомобильного приемника при разных задержках и разностях уровней сигналов FM.

В формате .pdf аудио приложение не работает.
Скачать эту страницу в формате .pptx можно по ссылке
http://lega.ru/wp-content/uploads/2021/04/Stranitsa-audio-FM-SFN.pptx

Reference – Quality 5

10μs – 1dB – Quality 4

20μs – 3dB – Quality 4

40μs – 3dB – Quality 3

160μs – 13dB – Quality 4

160μs – 0dB – Quality 1

Записан отрывок продолжительностью около 25 секунд, чтобы иметь как минимум три полных поворота разности фаз.

Разница во времени / расстоянии до точки приема между 2-мя изочастотными FM излучениями	Необходимое защитное отношение (дБ) **[Digital – WaveArt-ABE]**			
	Монофонический режим		Стереофонический режим	
	Уровень качества		Уровень качества	
	3	4	3	4
2 мкс (0,6 км)	N.C.	N.C.	N.C.	0*
5 мкс (1,5 км)	N.C.	0*	0*	<1 дБ
10 мкс (3 км)	0*	1 дБ	<1 дБ	1 дБ
20 мкс (6 км)	1 дБ	3 дБ	1 дБ	3 дБ
40 мкс (12 км)	3 дБ	6 дБ	3 дБ	6 дБ
80 мкс (24 км)	6 дБ	10 дБ	6 дБ	10 дБ
160 мкс (48 км)	7 дБ	11 дБ	10 дБ	13 дБ

N.C. = не учитывается (not Considered)

"Цифровая" одночастотная передача сигналов FM, реализованная WaveArt-ABE

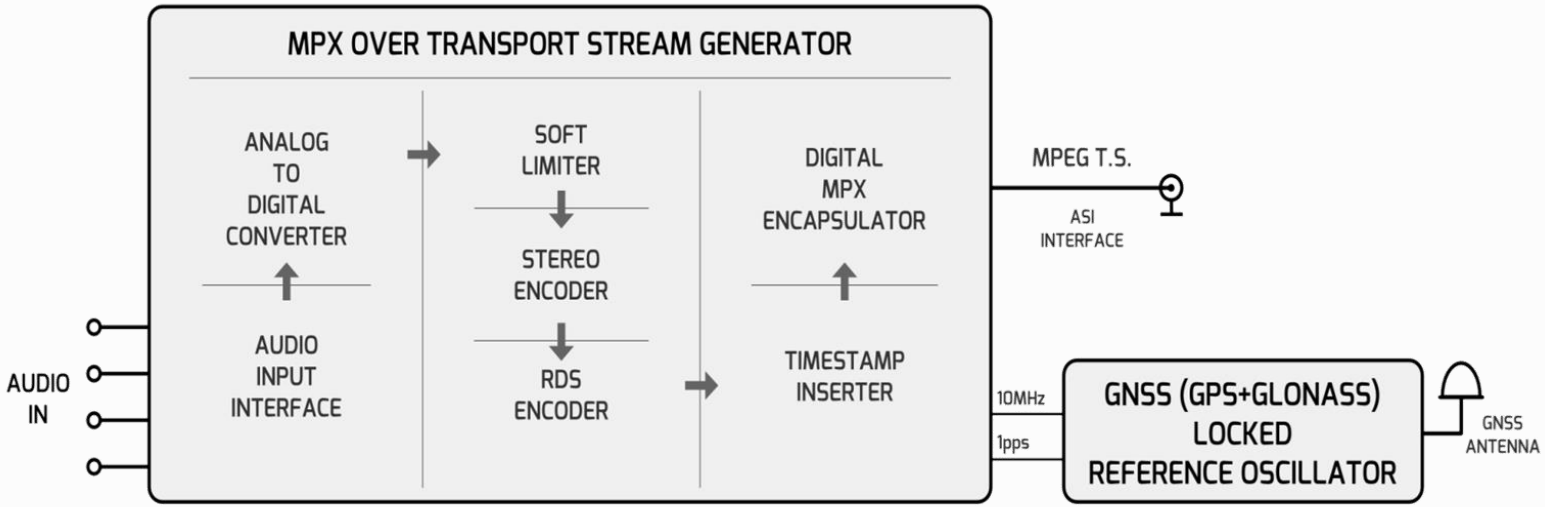
В настоящее время использование "цифровых" методов позволяет реализовать синхронную передачу FM сигналов, которая намного эффективнее, чем те, что были созданы в прошлом с "аналоговыми" технологиями:

Реализация, разработанная WaveArt с ABE Elettronica, основана на следующих технологиях:

• Формирование цифрового КСС (MPX) + RDS потока данных (примерно 2 Мбит/сек), и инкапсулирование его в транспортный поток TS

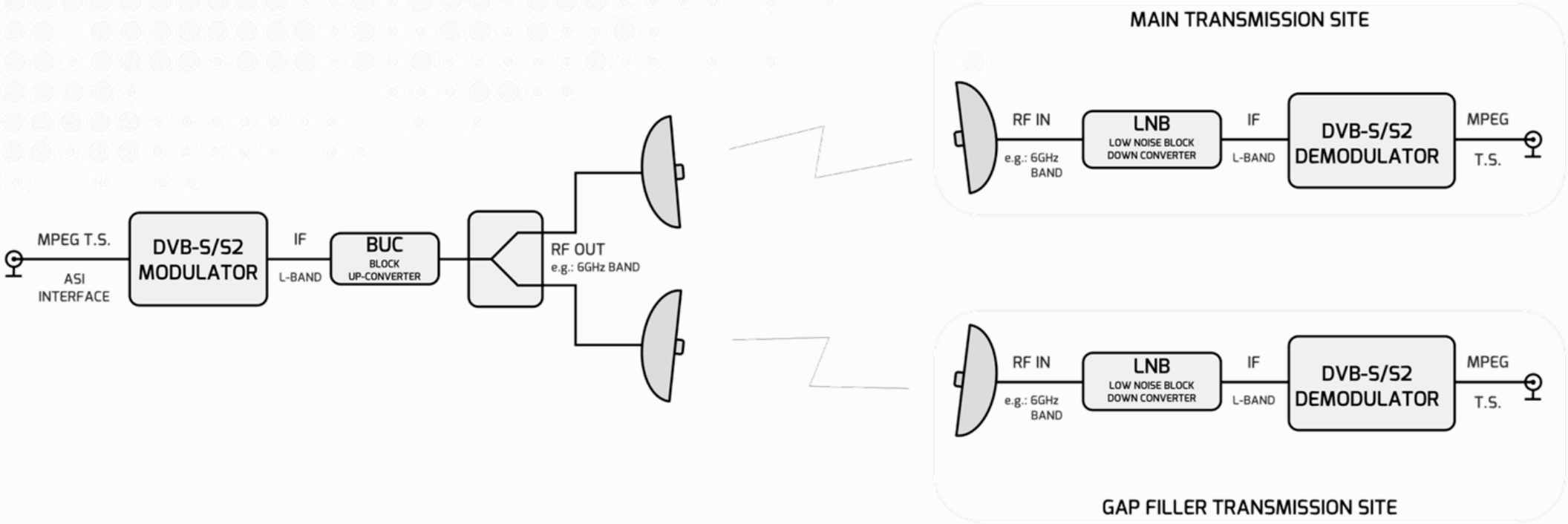
• врезка в TS временных меток для синхронизации сигналов

• врезка в TS данных о необходимой задержки сети (Network delay),



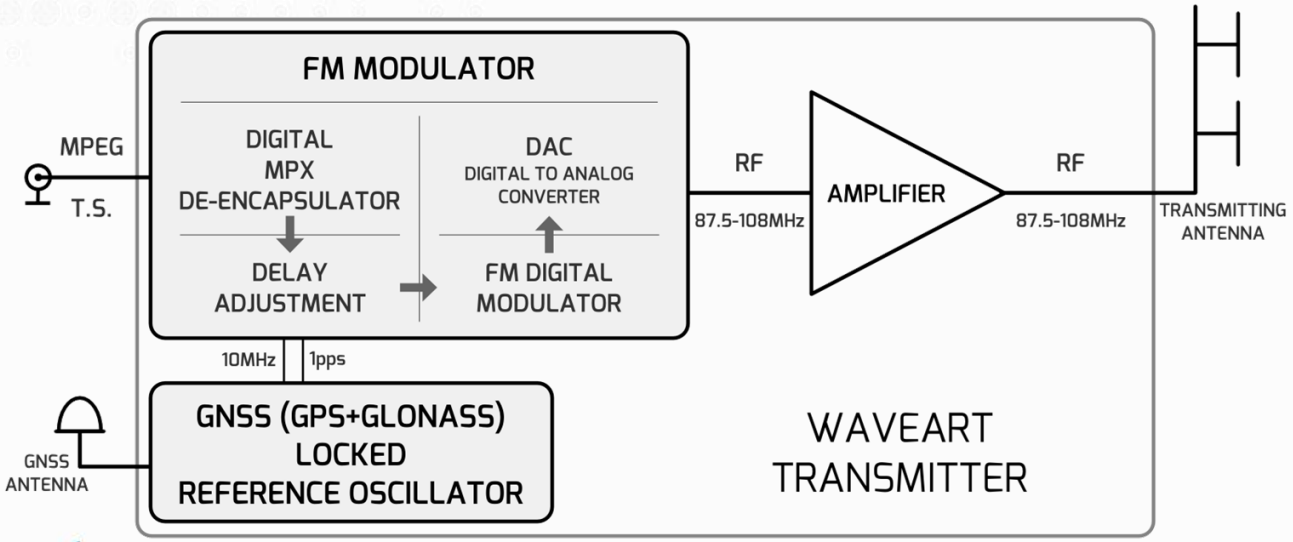
"Цифровая" одночастотная передача сигналов FM, реализованная WaveArt-ABE

- Передача потока данных MPX по наземным или спутниковым цифровым линиям связи на FM передатчики в одночастотной сети



"Цифровая" одночастотная передача сигналов FM, реализованная WaveArt-ABE

- использование в передатчиках регулируемой задержки цифрового сигнала MPX (FIFO) для синхронизации сигналов в зоне интерференций с учетом временных меток в транспортном потоке и задержки Network delay
- цифровая модуляция несущей частоты 87,5 – 108 МГц
- Синхронизация всех систем (поток данных MPX, временные метки, рабочая частота передатчиков) от приемников GPS/GLONASS с использованием проприетарных алгоритмов

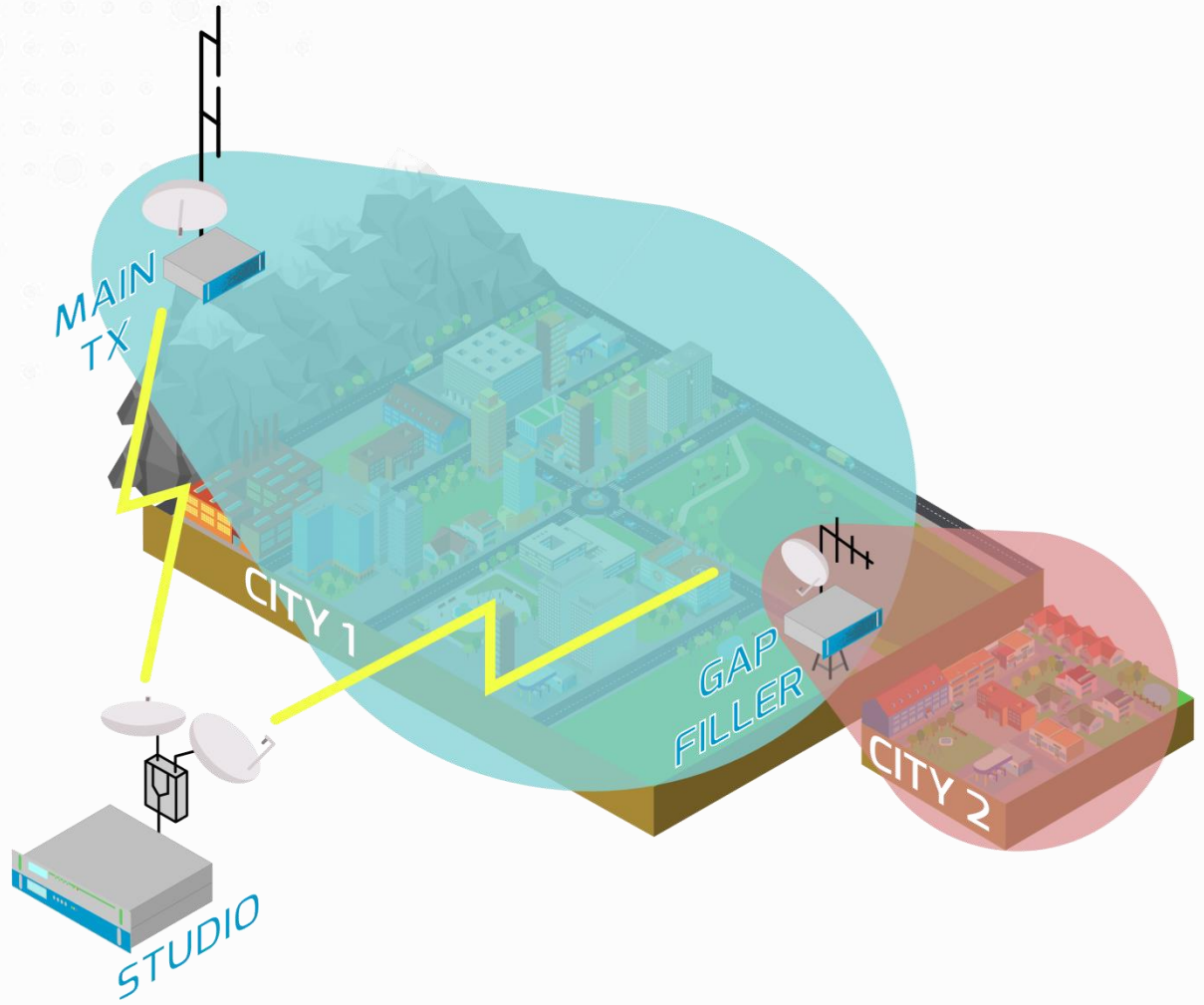


ABE Elettronica подала заявку на международный патент для системы Isofrequency / Isomodulation, описанной в этой презентации

Лучшая реализация одночастотной зоны

В этом примере реализации синхронизированный GAP FILLER, обеспечивающий прием в City 2 на краю зоны покрытия основного передатчика, имеет направленную антенну, излучающую сигнал в том же направлении, что и исходящий от основного передатчика.

Таким образом, в зоне с перекрывающимися сигналами обеспечивается достаточное постоянство задержки между сигналами от двух передатчиков, что позволяет использовать преимущества одночастотного вещания FM (значительно более низкие защитные отношения).

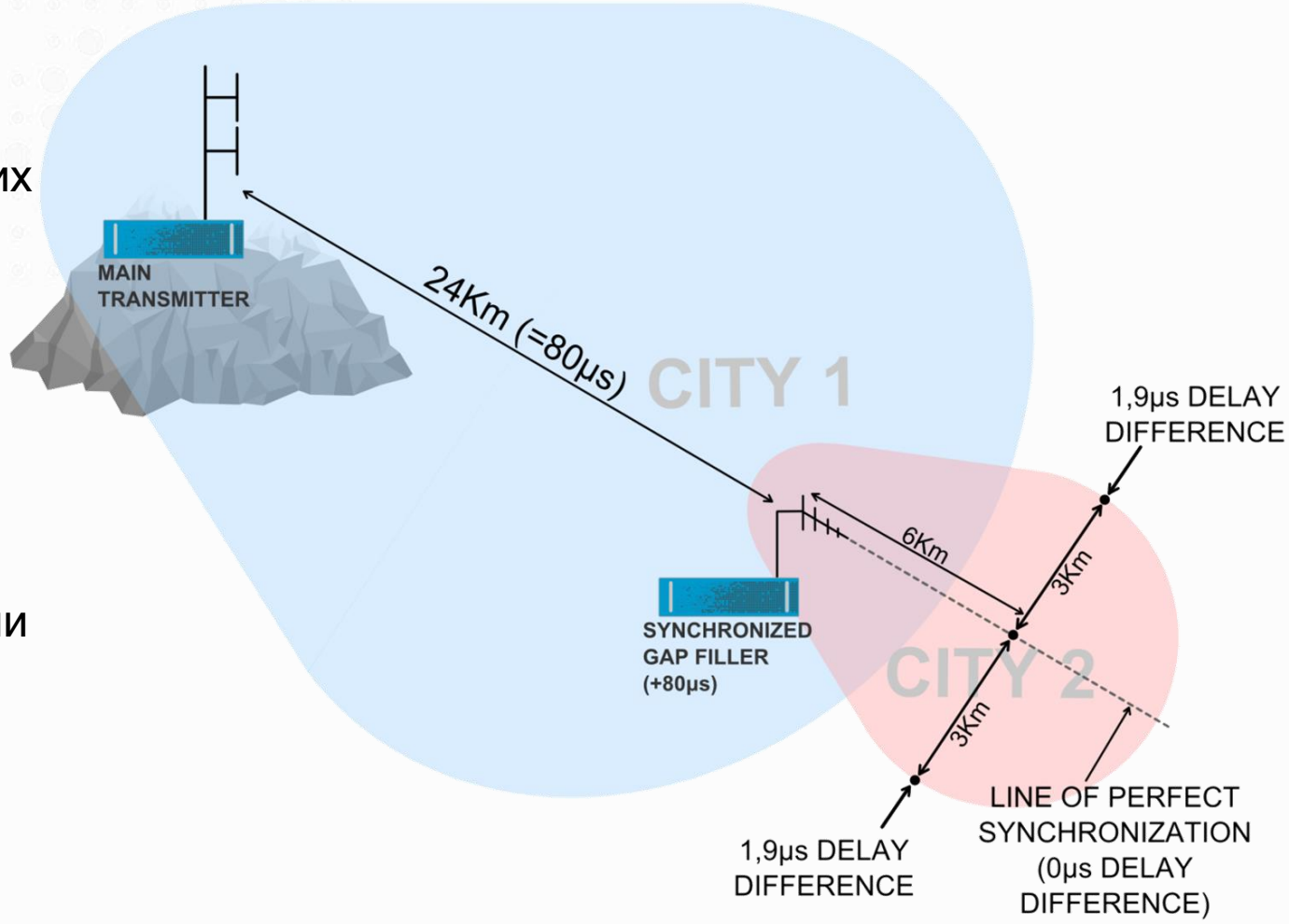


Лучшая реализация одночастотной зоны

Как видно из рисунка, разница в задержках сигналов от основного передатчика и от Gap Filler, поступающих в City 2 (в частности, на его краях, где разница задержек больше), находятся между 0 и 1,9 мкс.

В соответствии с результатами тестов WaveArt-ABE, можно считать, что при таких задержках качество сигнала уровня 4 обеспечивается при любых защитных отношениях между сигналами от двух передатчиков.

Этот вариант - лучшая реализация одночастотной сети.

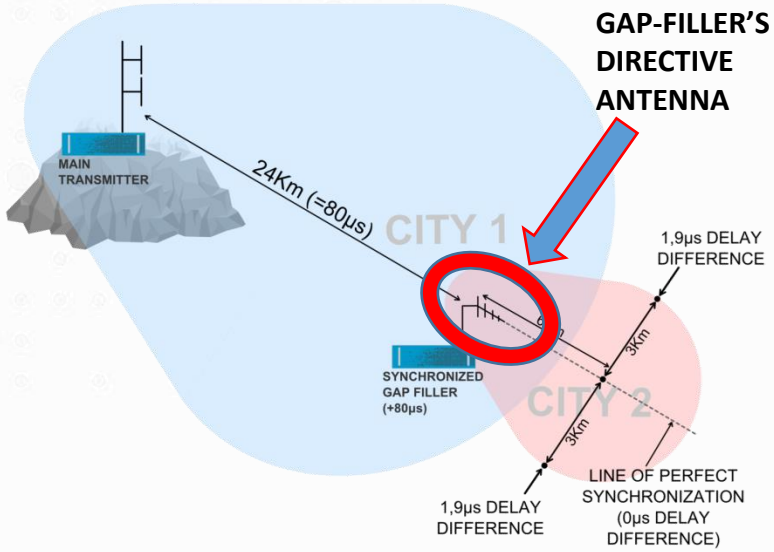


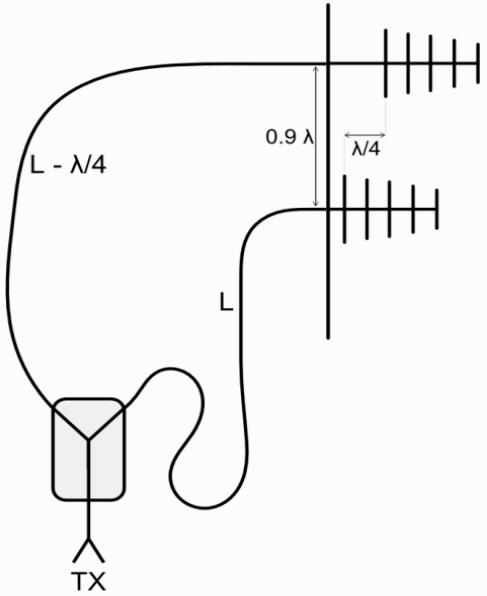
Лучшая реализация одночастотной зоны

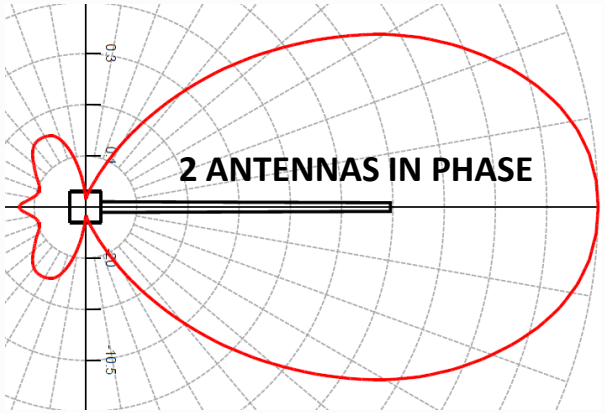
Для уменьшения помехи основному передатчику необходимо, чтобы у антенны Gap Filler обеспечивалось большое соотношением излучения вперед/назад.

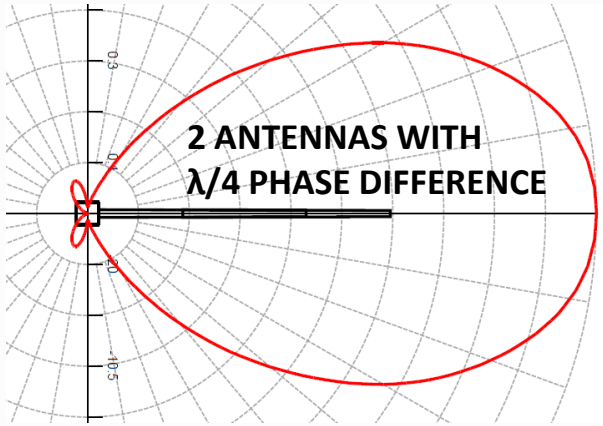
Для этого используются две направленные антенны, расположенные одна под другой с выносом верхней антенны вперед на λ/4 относительно нижней. При этом два фидера должны запитывать два этажа со сдвигом фазы 90 °.

Соотношение излучения вперед/назад такой антенной системы улучшается примерно на 20 дБ.







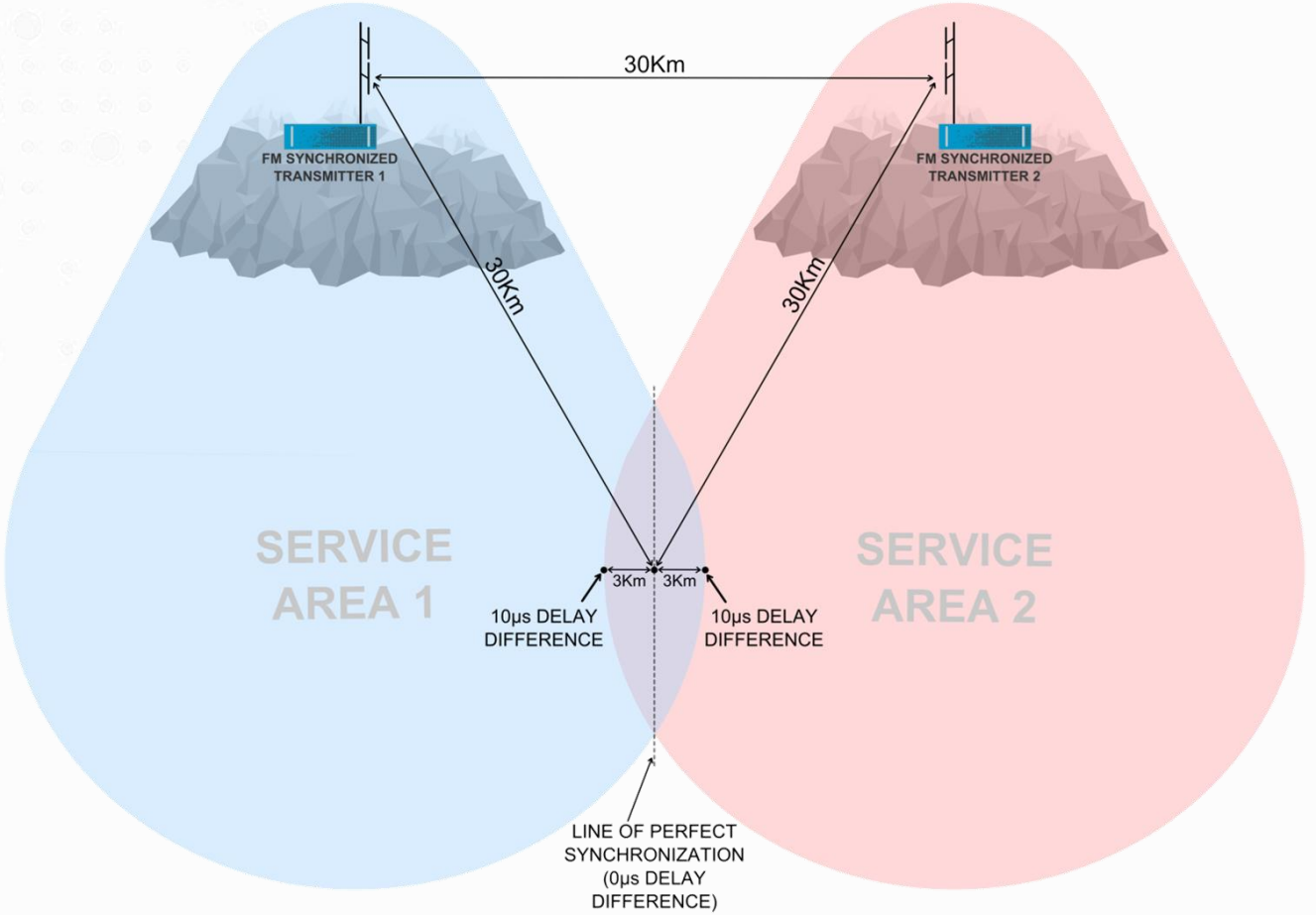


Возможная реализация одночастотной зоны

В этом примере реализации сигналы двух передатчиков поступают в область потенциальных помех с задержкой между 0 и 10 мкс.

В соответствии с результатами тестов WaveArt-ABE, можно считать, что при таких задержках качество сигнала 4 обеспечивается при соотношениях уровней сигналов от двух передатчиков, различающихся всего на 1 дБ.

Этот результат достижим только с правильно спроектированными антеннами.



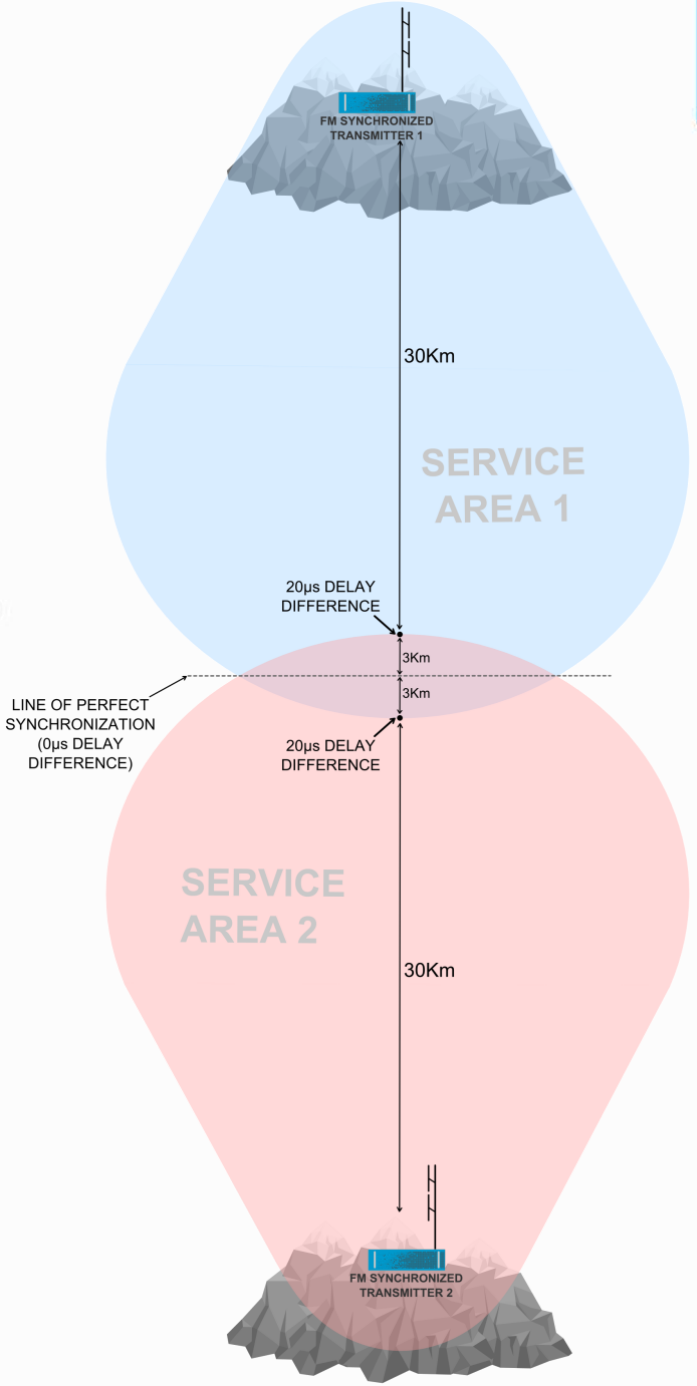
Более сложная реализация одночастотной зоны

В случае, когда антенны передатчиков направлены навстречу друг другу, сигналы поступают в область потенциальных помех с задержкой между 0 и 20 мкс.

В соответствии с результатами тестов WaveArt-ABE, для таких задержек качество сигнала 4 обеспечивается при уровнях сигналов от двух передатчиков, различающихся на 3 дБ.

Этого можно добиться, несмотря на некоторые трудности, только при правильно спроектированных антеннах.

Такая конфигурация одночастотной зоны является наиболее трудной для реализации.



Дополнительные преимущества реализации одночастотной зоны WaveArt-ABE

Существенное улучшение качества при цифровой передаче сигнала MPX

Существующие аналоговые системы передачи сигналов от радиостудий к передающим станциям имеют такие проблемы, как нерациональное использование частотного ресурса, ухудшение отношения сигнал/шум и разделения стереозвука, и другие.

Те, кто использует цифровую передачу, сталкиваются с ухудшением качества и пиками модуляции, связанными со сжатием передаваемого сигнала.

Решение для доставки сигналов, разработанное WaveArt-ABE, лишено всех упомянутых проблем. Оно предполагает передачу с высоким разрешением 16 бит несжатого MPX сигнала по наземным или спутниковым каналам связи. При требуемых соотношении сигнал/шум канала в 6-7 дБ и ширине полосы всего в 1,75 МГц обеспечивается отличное качество передаваемого сигнала и возможность его многократной ретрансляции.

Дополнительные преимущества реализации одночастотной зоны WaveArt-ABE

Реализация одночастотной сети при распространении программы через спутник

Так называемые "геостационарные" спутники связи находятся на орбите над экватором примерно в 36000 км от поверхности Земли. Их угловая скорость равна скорости вращения Земли, поэтому они как бы находятся "неподвижно" относительно земной поверхности.

На самом деле спутники не являются неподвижными, из-за солнечного ветра и по другим причинам медленно смещаются и время от времени принудительно возвращаются обратно. Как правило, движение происходит в воображаемом кубе со стороной около 50 километров. Таким образом, общий путь сигнала от Земли к спутнику и обратно может варьироваться до 100 км, что эквивалентно изменению задержки прихода сигнала более, чем на 300 мкс.

По этой причине нельзя считать, что спутниковые линии связи имеют стабильную задержку (в отличие от наземных РРЛ) и могут использоваться без постоянных поправок в системе одночастотной сети FM, которая требует стабильности с точностью до несколько десятых микросекунды.

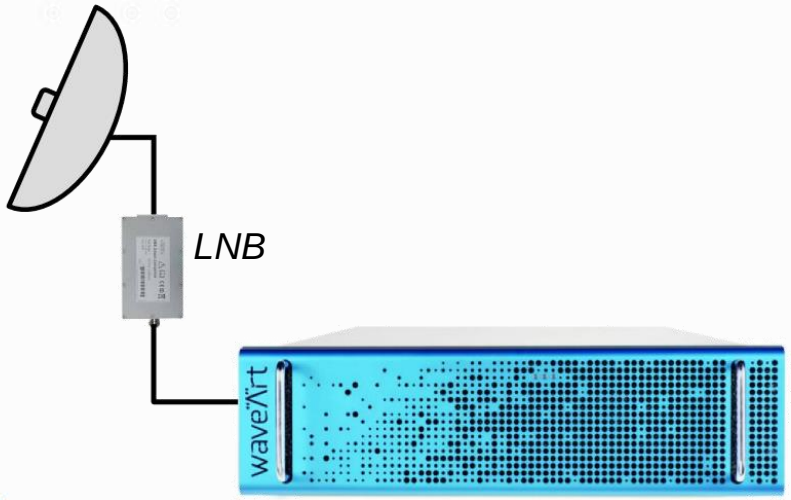
Решение WaveArt-ABE использует специально разработанные проприетарные алгоритмы, которые позволяют компенсировать нестабильность спутников, исправляя ошибки синхронизации, обеспечивая, таким образом, стабильность работы одночастотной сети.

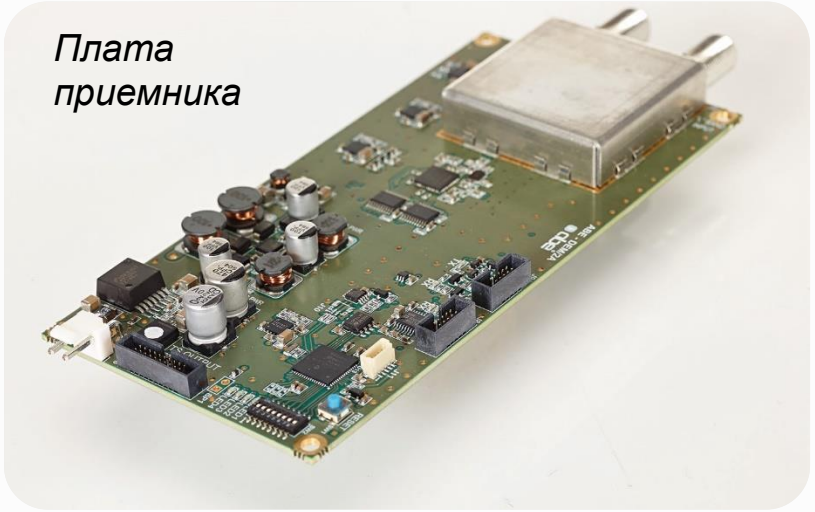
Дополнительные преимущества реализации одночастотной зоны WaveArt-ABE

Спутниковые и радиорелейные приемники на борту передатчиков WaveArt

Решения, разработанные WaveArt в сотрудничестве с ABE Elettronica, предусматривают возможность интеграции спутниковых и радиорелейных приемников в FM передатчики. Это упрощает инсталляцию, понижает стоимость оборудования и. В этом случае приемник контролируется дистанционно через систему телеметрии передатчика.

Для обеспечения приема сигналов достаточно установить антенну и LNB.





Дополнительные преимущества реализации одночастотной зоны WaveArt-ABE

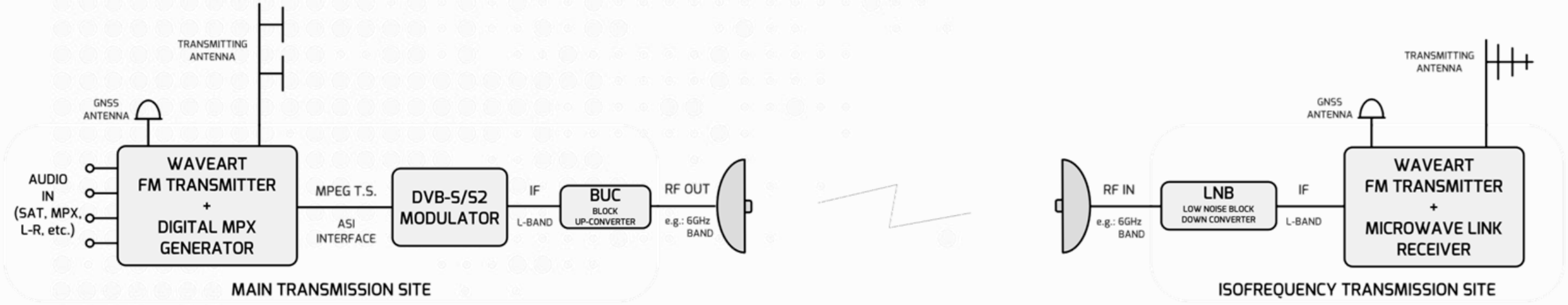
Легкая реализация одночастотной сети

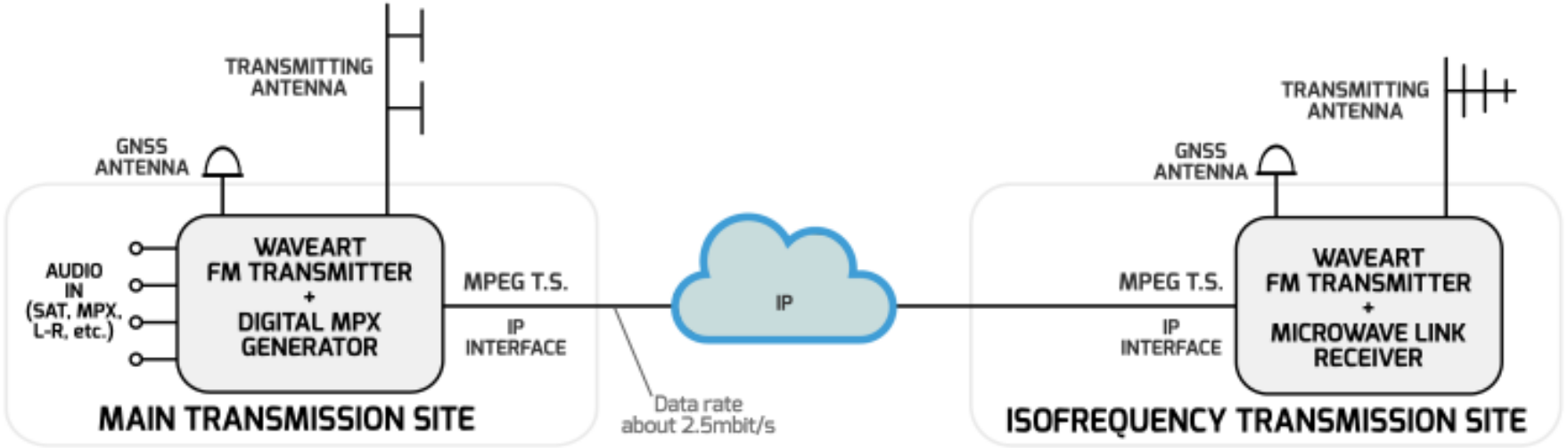
Плата модулятора внутри передатчика WaveArt может использоваться одновременно для формирования сигнала FM и генерирования транспортного потока данных MPX с метками времени и данными о задержке в сети. Такой передатчик передает в эфир сигнал FM и генерирует цифровой поток для других передатчиков одночастотной сети.

Таким образом, можно чрезвычайно просто и с малыми затратами создать небольшую сеть SFN отдельно или встроить ее в существующую FM сеть.

Сигнал для передатчиков одночастотной сети может передаваться по РРЛ или по выделенному интернет-каналу, как это показано на следующем слайде.

Варианты передачи цифрового потока в одночастотной сети WaveArt-ABE





Требования к синхронной FM передаче сигналов

Этот момент должен быть абсолютно ясным, так как существует много частичных реализаций, которые, очевидно, не дают желаемых результатов.

Синхронная передача FM сигналов должна соответствовать ВСЕМ перечисленным требованиям:

• Передатчики работают в точности на одной и той же частоте, синхронизированной, например, по GPS.

•Передается идентичный модулированный контент, что означает не только передачу одной и той же программы, но и одинаковый "отпечаток" модуляции (одни и те же пики модуляции, с одинаковым точным отклонением в Гц, в один и тот же момент и т. д.).

Этот результат практически невозможно получить с двумя аналоговыми модуляторами или даже в случае модуляторов с цифровой обработкой аналоговых сигналов.

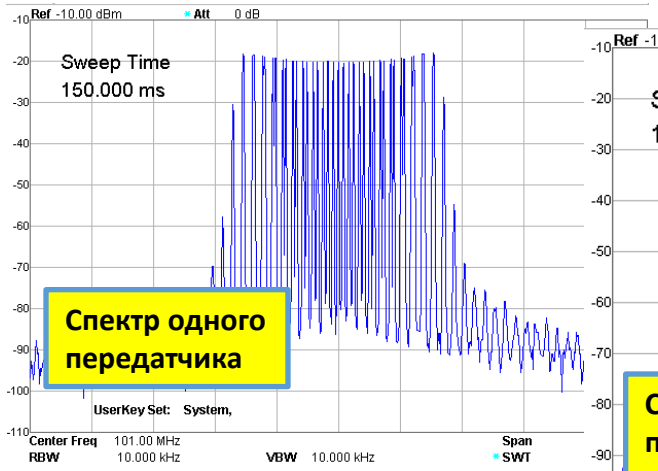
• Производится компенсация задержки для одновременной доставки сигналов в пересекающуюся зону покрытия (область с потенциальными помехами).

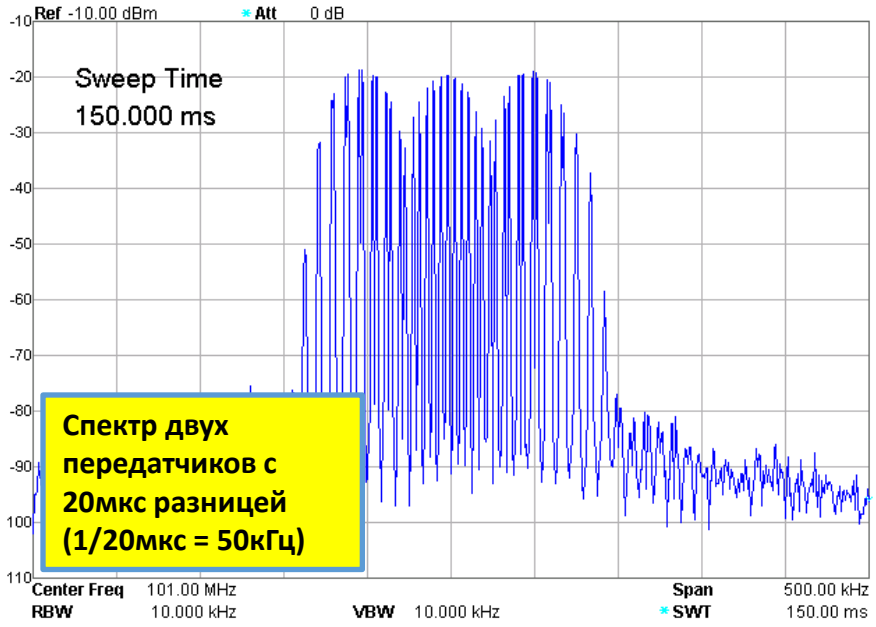
Простой метод проверки одночастотного вещания

Анализируя спектр сложенных ВЧ сигналов двух передатчиков, можно легко проверить, правильно ли были сгенерированы одночастотные сигналы.

Достаточно промодулировать несущие с помощью монофонического звукового тона (например, 500 Гц), и убедиться в том, что в спектре наблюдаются "ямы" (вырезы).

Расстояние и глубина этих вырезов зависит от задержки и разности амплитуд двух сигналов.

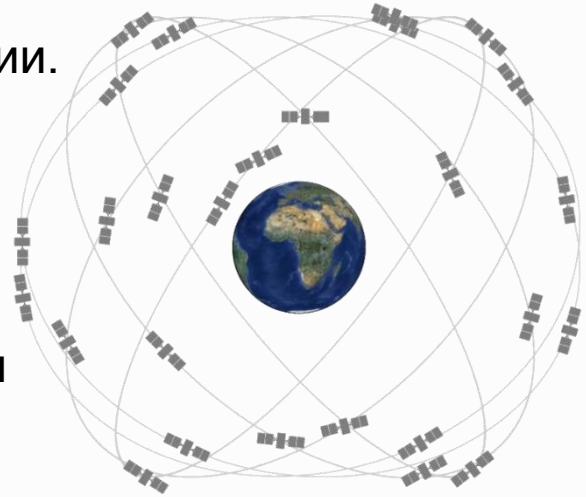




Синхронизация с помощью GNSS1000

Информация о времени UTC доступна при приеме сигналов спутников GPS и ГЛОНАСС

Устройство синхронизации GNSS1000 (1PPS + 10 МГц) использует проприетарные алгоритмы, специально разработанные для поддержания стабильности частоты и синхронизации в любых условиях. Использование стандартных приемников GNSS, предназначенных для определения координат не учитывает специфики требований одночастотных сетей и приводит к периодической потери синхронизации.



Основные возможности GNS 1000 :

- 32-х канальный GNSS (GPS + GLONASS) приемник,
- Быстрый захват и работа при одном видимом спутнике

- Быстрый запуск, координаты расположения запоминаются
- Длительная работа без "накопления" ошибок
- Исправление, постепенная компенсация ошибки синхронизации, накопленной в периода потери спутников, препятствует рассинхронизации сети.
- Высокостабильный термокомпенсированный генератор 10 МГц позволяет долго удерживать синхронизацию при потере сигналов GNSS.

Спасибо за внимание!

WaveArt S.r.l.
Via Leonardo da Vinci, 222 - 24043 Caravaggio (BG) Italy
Tel. +39-0363.19.25.242 - Fax +39-0363.19.20.199
info@waveart.it - waveart.it

© 2018 WaveArt S.r.l. - Author: Roberto Valentin – All rights reserved
The content of this document is subject to change without notice,
WaveArt assumes no responsibility related to its use.