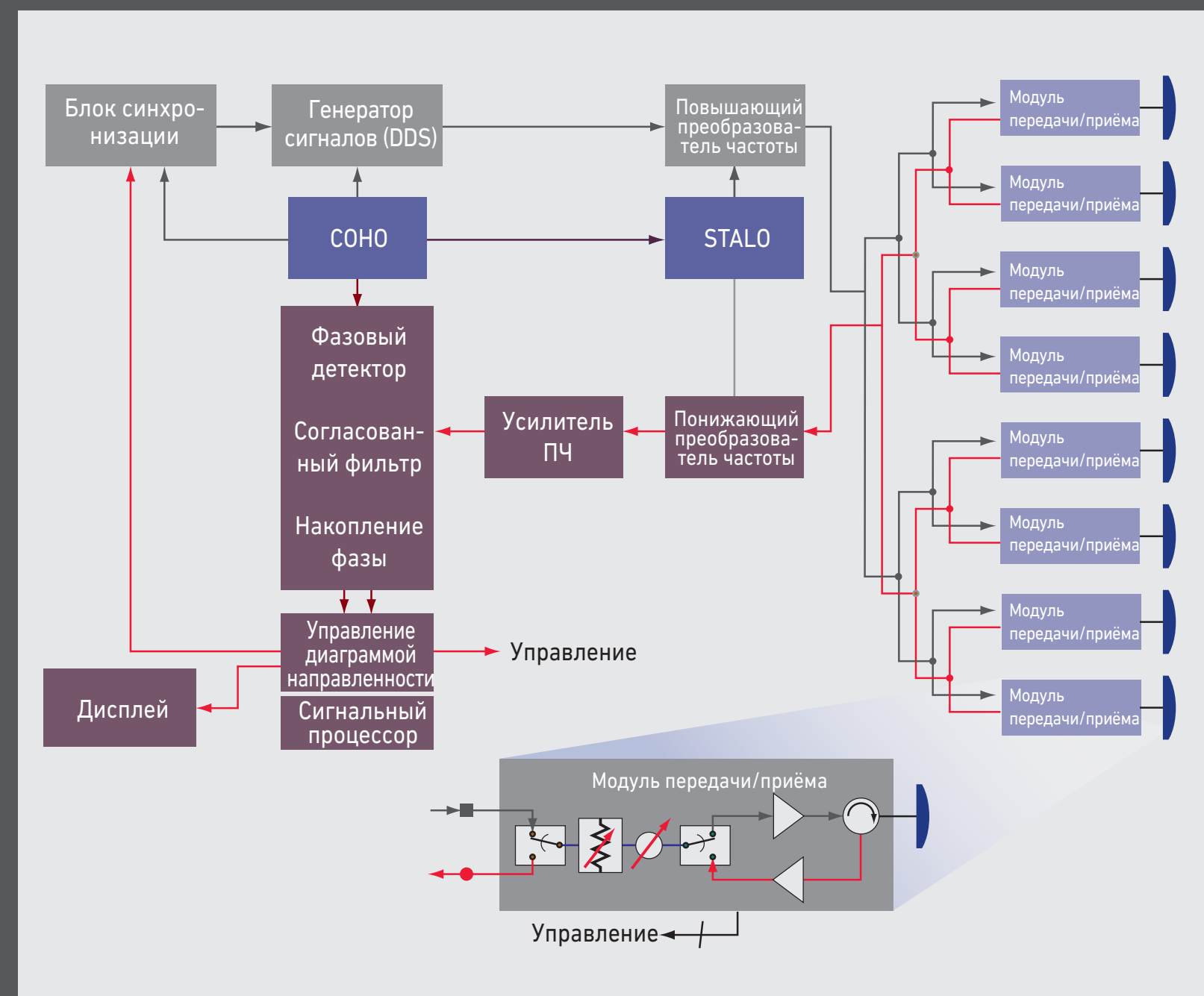


# Основы радиолокации

## Блок-схема РЛС



На этой блок-схеме показана типовая конструкция радиолокационной системы. Передатчик формирует модулированный сигнал, повышает частоту и передаёт его с помощью нескольких приёмно-передающих модулей и антенных элементов, конструкция которых обеспечивает электронное управление диаграммой направленности. Отражённый сигнал принимается теми же антеннами. Система обработки в приёмнике использует согласованный фильтр для импульсного сжатия модулированного сигнала РЛС, что увеличивает разрешение и дальность. Накопитель фазы обнаруживает доплеровское смещение, по которому определяется скорость цели. Для достижения наилучших характеристик работа РЛС синхронизируется с использованием высокостабильных когерентных задающих генераторов (СОНО) и стабилизированного гетеродина (СТАЛО).

## Базовые уравнения для активной моностатической РЛС

$$\text{Дальность}_{(\text{макс})} = 4 \sqrt{\frac{P_t G_a \sigma}{(4\pi)^2 S_{\text{мин}}}}$$
$$\text{Мощность}_{(\text{приёмника})} = \frac{P_t G_a \sigma}{(4\pi)^2 R^4}$$
$$\text{Расстояние до цели} = \frac{c T_r}{2} \approx 150 \text{ м/мкс}$$
$$\text{Макс. диапазон одночастотного измерения дальности} = \frac{c T_r}{2} = \frac{c}{2 F_r}$$
$$\text{Средняя мощность} = \frac{P_r}{T_r} = P_r T_r$$
$$\text{Доплеровская частота} = \frac{2 F_r v_r}{c}$$
$$\text{Радиальная скорость цели} = \frac{F_d c}{2 F_r}$$
$$\text{Кэф. заполнения импульсов} = \frac{\tau}{T_r}$$
$$\text{Частота следования импульсов} = \frac{1}{T_r}$$

Где:  
 $A_e$  = эффективная площадь антенны,  $\text{м}^2$   
 $c$  = скорость света ( $\approx 3 \times 10^8 \text{ м/с}$ )  
 $F_r$  = доплеровская частота  
 $F_d$  = частота следования импульсов  
 $F_t$  = частота передатчика  
 $G$  = коэффициент усиления антенны  
 $P_t$  = пиковая мощность  
 $P_r$  = средняя пиковая мощность  
 $R$  = дальность, м  
 $S_{\text{мин}}$  = минимальный обнаруживаемый сигнал, Вт  
 $T_r$  = период следования импульсов  
 $T_t$  = время прохождения до цели и от цели  
 $v_r$  = радиальная скорость цели  
 $\sigma$  = эффективная поверхность рассеяния цели,  $\text{м}^2$   
 $\tau$  = длительность импульса

### Взаимная корреляция: $G_{xy}(f) = S_x(f) S_y^*(f)$

Где:  
 $S_x(f)$  = преобразование Фурье взвешенного принятого импульса  
 $S_y^*(f)$  = преобразование Фурье переданного импульса

### Кэф. шума = $\frac{S/N_i}{S/N_o} = \frac{N_a + G N_i}{G N_i}$

Кэф. шума (системы) =  $F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1} + \frac{F_3 - 1}{G_1 G_2} + \frac{F_n - 1}{G_1 G_2 \dots G_{n-1}}$

### Шум-фактор = $10 \text{ LOG}_{10}(\text{коэф. шума})$

Где:  
 $G$  = усиление тестируемого устройства  
 $G_1, G_2, \dots, G_n$  = усиление каскадов 1, 2, 3...n  
 $F_1, F_2, F_3, \dots, F_n$  = коэффициент шума каскадов 1, 2, 3...n  
 $N_a$  = шум, добавленный тестируемым устройством  
 $N_i$  = входной шум при  $290^\circ \text{ K}$   
 $N_o$  = выходной шум при  $290^\circ \text{ K}$   
 $S_i$  = сигнал на входе  
 $S_o$  = сигнал на выходе

### Константы

КТВ =  $-174,1 \text{ дБм} = -204,1 \text{ дБВт}$

Где:  
 $k$  = постоянная Больцмана  
 $T = 290^\circ \text{ K}$   
 $B$  = полоса 1 Гц

Постоянная Больцмана:  $1.3806505 \times 10^{-23} \text{ Дж/К}$

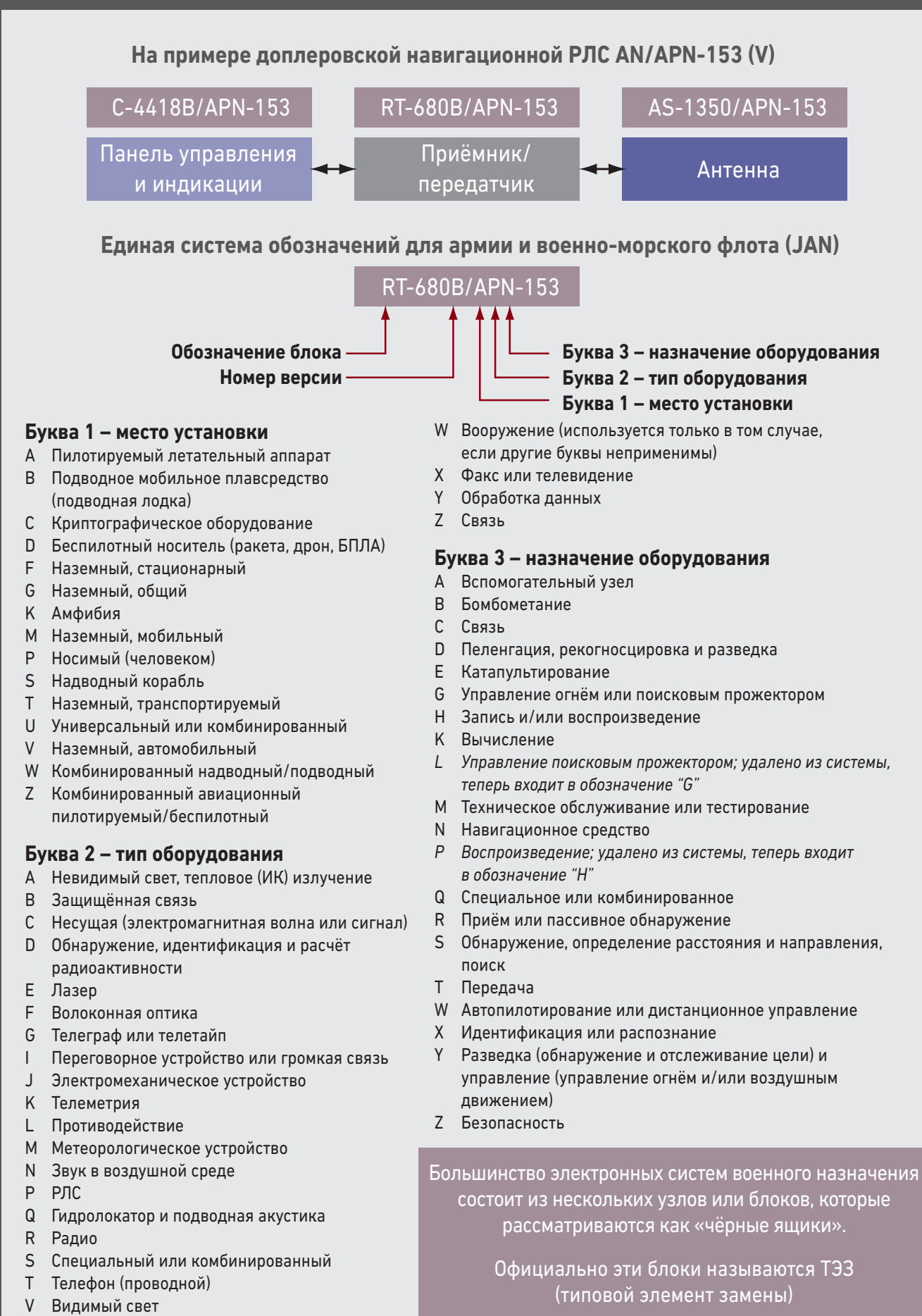
Скорость света в вакууме:  $299,792,458 \text{ м/с}$

( $\approx 3 \times 10^8 \text{ м/с}$ )

Скорость света в воздухе:  $299,705,543,39 \text{ м/с}$

| Время распространения радиосигнала, мкс | 1 км    | 1 миля   | 1 морская миля |
|-----------------------------------------|---------|----------|----------------|
| В вакууме                               | 6,67128 | 10,73639 | 12,35521       |
| В воздухе                               | 6,67322 | 10,7395  | 12,35879       |

## Система обозначений РЛС НАТО



## Анализ сигналов

Анализаторы сигналов UXA серии X

Анализ модулированных импульсов, уровней боковых лепестков и многие другие измерения в диапазоне от 3 ГГц до 26,5 ГГц с возможностью расширения до 1,1 ТГц и полосы анализа до 510 МГц.

Анализ спектра в режиме реального времени

Портативный анализатор FieldFox представляет собой универсальный комбинированный анализатор с верхней границей диапазона частот от 4 до 26,5 ГГц – все, что нужно для тестирования компонентов РЛС.

Программное обеспечение N7620B Signal Studio

Создание сложных широкополосных импульсных последовательностей с настраиваемой формой импульсов и интервалов, импульсная модуляция и формирование диаграмм направленности антенн, управление векторными генераторами сигналов и генераторами сигналов произвольной формы.

Анализ цепей

Анализаторы СВЧ цепей PNA и PNA-X

Быстрые и точные измерения 5-параметров синусоидальных и импульсных сигналов, коэффициента шума, компрессионных характеристик, интермодуляционных искажений, гармоник и X-параметров с помощью приборов с диапазоном частот до 110 ГГц и возможностью расширения до 1,05 ТГц.

Приёмник для тестирования антенн N5264A

Одновременный захват по пяти каналам со скоростью 400 000 измерений в секунду существенно ускоряет тестирование антенн. Обратная совместимость с E810/E8300 упрощает обновление измерительных систем.

Генерация сигналов

Генераторы сигналов произвольной формы (AWG)

Создание длинных, реалистичных, высокочастотных радиолокационных сигналов и сигнальных сценариев, сохраняющих дорогостоящие тестирования РЛС в реальных условиях. Генератор M8190A предлагает до 2 каналов с частотой дискретизации 12 ГГц/с, полосу 5 ГГц на канал и динамический диапазон до 90 дБ. Генератор M8195A предлагает до 4 каналов с частотой дискретизации 65 ГГц/с и полосу 20 ГГц на канал.

Векторный анализатор сигналов M9392A PXI

Анализ модуляции импульсов с полосой 250 МГц в диапазоне до 26,5 ГГц в гибком модульном формате PXIe. Имеются конфигурации для непрерывного захвата данных в память большого объема (RAID-массив) и конфигурации, поддерживающие двухканальный режим VSA.

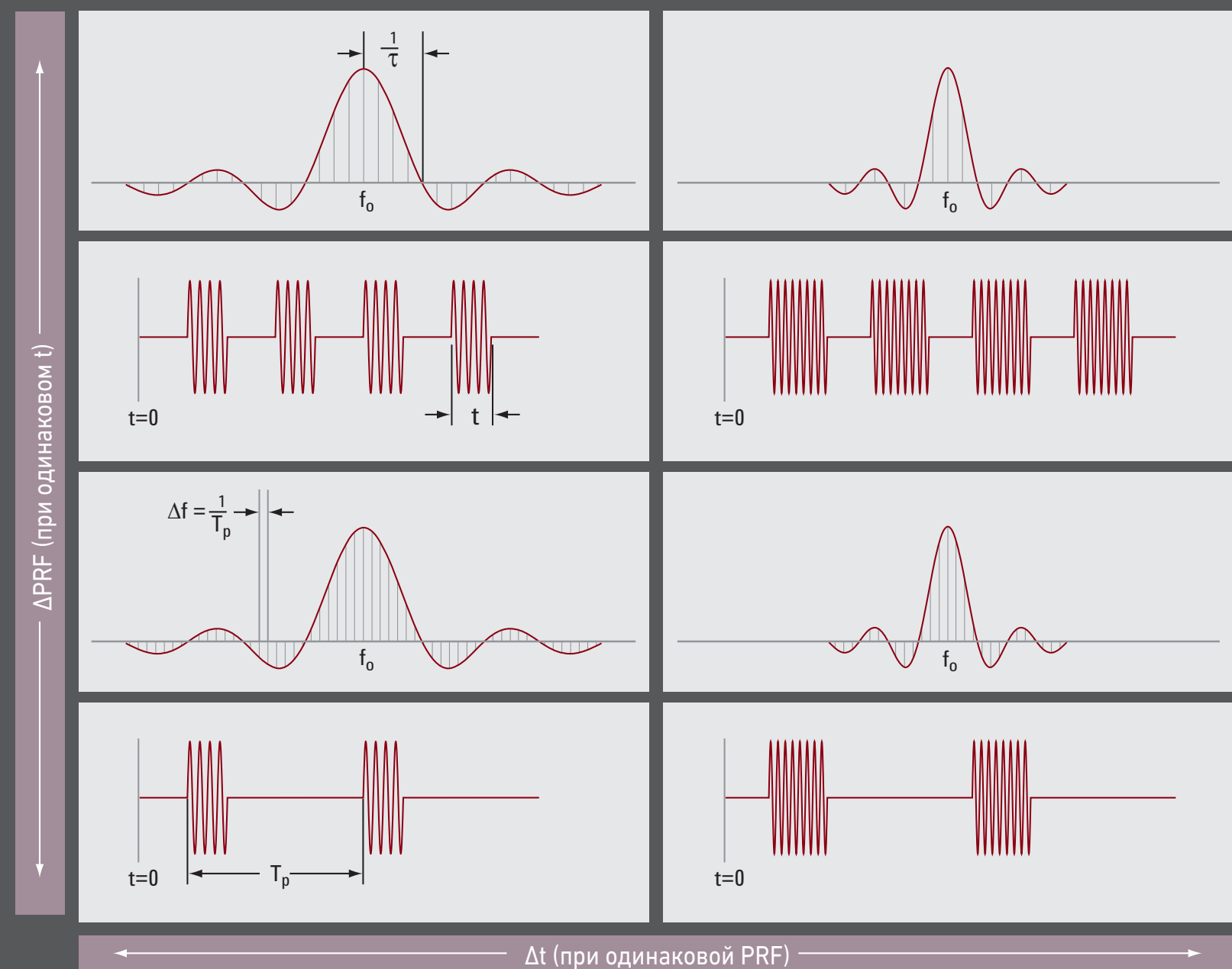
Калибровка многоканальных антенн, типовое решение

Ускорьте калибровку больших антенных решеток за счёт точных измерений фазы и амплитуды антенных элементов. Подготовьтесь к решению будущих задач за счёт расширенной полосы измерений и гибкости системы. Система допускает расширение числа каналов (до 40 параллельно работающих каналов). Цифровое понижающее преобразование частоты в режиме реального времени повышает чувствительность по фазе и амплитуде.

Быстро перестраиваемый генератор сигналов N5193A UGX

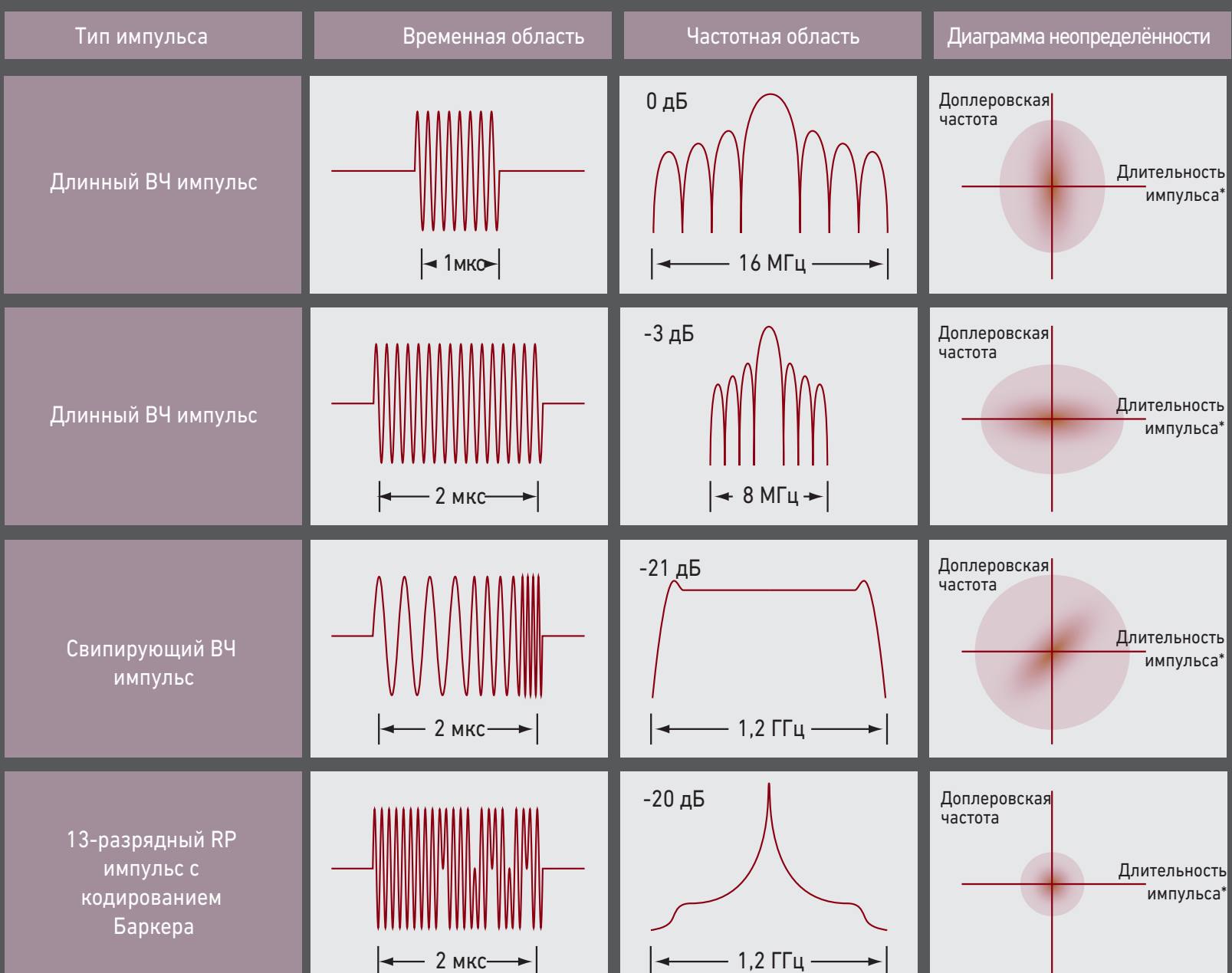
UGX является мощным компонентом измерительной системы, который можно использовать в качестве перестраиваемого гетеродина или масштабируемого имитатора цепей. Он открывает доступ к созданию новых интеллектуальных сигнальных сценариев. Вы можете переключать частоту, амплитуду и фазу за 250 мс, формировать ЛЧМ-импульсы с полосой до 25 % от частоты несущей и использовать коды описания импульсов для генерации длинных импульсных последовательностей и индивидуального управления параметрами импульсов.

## Длительность и частота следования импульсов



Мощность, частота следования (PRF), длительность и модуляция импульса подбираются так, чтобы обеспечить наибольшую дальность обнаружения и наивысшее разрешение. Для простых ВЧ импульсов разрешение по расстоянию обратно пропорционально длительности импульса, но короткие импульсы ужесточают требования к пиковой мощности. Аналогичным образом максимальная дальность обнаружения обратно пропорционально зависит от частоты следования. Причём эти соотношения сильно зависят от модуляции импульсов.

## Методы сжатия импульсов



Методы сжатия (модуляции) импульсов позволяют использовать длинные импульсы с малой пиковой мощностью без потери разрешения по дальности. Система обработки импульсов в приёмнике сжимает принимаемые импульсы, что восстанавливает высокое разрешение по дальности, свойственное более узким импульсам, и максимально расширяет дальность обнаружения. Диаграмма неопределённости показывает точность определения местоположения (по горизонтальной оси) и допустимый доплеровский сдвиг частоты (по вертикальной оси).

## Стандартные буквенные обозначения частотных диапазонов РЛС

| Международная система обозначений |                              |                                                                                                                                                                                     |                                                                                                         |                                                                          |
|-----------------------------------|------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| Обозначение диапазона             | Номинальный диапазон частот  | Частотные диапазоны РЛС по классификации Международного союза электросвязи (ITU)                                                                                                    |                                                                                                         |                                                                          |
|                                   |                              | Регион 1 (страны ЕС, Ближний Восток кроме Ирана, Россия, Африка и другие страны)                                                                                                    | Регион 2 (Северная и Южная Америка)                                                                     | Регион 3 (большая часть Азии, Австралия, Новая Зеландия и другие страны) |
| HF (ВЧ)                           | от 3 до 30 МГц               | (Официально радиолокационные диапазоны в ВЧ диапазоне отсутствуют. Так называемые ВЧ РЛС могут работать на любой частоте выше вещательного диапазона от 1,605 МГц до 40 МГц и выше) |                                                                                                         |                                                                          |
| VHF (ВВЧ)                         | от 30 до 300 МГц             | Нет                                                                                                                                                                                 | от 138 на 144 МГц (частоты от 216 до 450 МГц иногда называют Р-диапазоном)                              | от 223 до 230 МГц                                                        |
| UHF (УВЧ)                         | от 300 до 1000 МГц (для РЛС) | от 1215 до 1400 МГц                                                                                                                                                                 | от 420 до 450 МГц (216-450 МГц иногда называют Р-диапазоном) (870-942 МГц иногда называют L-диапазоном) | от 223 до 230 МГц                                                        |
| L                                 | от 1 до 2 ГГц                | от 1215 до 1400 МГц                                                                                                                                                                 | от 2300 до 2500 МГц                                                                                     |                                                                          |
| S                                 | от 2 до 4 ГГц                | от 2700 до 3600 МГц                                                                                                                                                                 | от 2700 до 3700 МГц                                                                                     |                                                                          |
| C                                 | от 4 до 8 ГГц                | от 4200 до 4400 МГц (Предназначается для авиационной навигации, эта полоса выделена (с несколькими исключениями) специально для бортовых радиолокационных высотометров)             | от 5250 до 5925 МГц                                                                                     |                                                                          |
| X                                 | от 8 до 12 ГГц               | от 8,5 до 10,68 ГГц                                                                                                                                                                 | от 13,4 до 14 ГГц                                                                                       |                                                                          |
| Ku                                | от 12 до 18 ГГц              | от 13,4 до 14 ГГц                                                                                                                                                                   | от 15,7 до 17,7 ГГц                                                                                     |                                                                          |
| K                                 | от 18 до 27 ГГц              | от 24,05 до 24,25 ГГц (Диапазон от 24,65 до 24,75 ГГц включает спутниковую радиолокацию (только земля-космос))                                                                      | от 24,05 до 24,25 ГГц                                                                                   | от 24,05 до 24,25 ГГц                                                    |
| Ka                                | от 27 до 40 ГГц              | от 33,4 до 36 ГГц                                                                                                                                                                   | от 59 до 64 ГГц                                                                                         |                                                                          |
| V                                 | от 40 до 75 ГГц              | от 76 до 81 ГГц                                                                                                                                                                     | от 92 до 100 ГГц                                                                                        |                                                                          |
| W                                 | от 75 до 110 ГГц             | от 92 до 100 ГГц                                                                                                                                                                    | от 126 до 142 ГГц                                                                                       |                                                                          |
| MM                                | от 110 до 300 ГГц            | от 144 до 149 ГГц                                                                                                                                                                   | от 231 до 235 ГГц                                                                                       |                                                                          |
|                                   |                              | (Классификация ITU не распространяется на частоты выше 275 ГГц)                                                                                                                     |                                                                                                         |                                                                          |

Таблица стандартных буквенных обозначений частотных диапазонов РЛС приведена с разрешения IEEE Std 521-2002. Стандарт IEEE на буквенные обозначения частотных диапазонов РЛС. Copyright 2003 IEEE. IEEE не несет никакой ответственности за последствия от размещения и применения данной информации.