

# Пересказ\_занятия\_08

## Продолжение про Фазовые и частотно-фазовые дискриминаторы

Несмотря на достижения современных технологий, позволяющих создавать высокоскоростные цифровые устройства без распараллеливания, снижение рабочей тактовой частоты может привести к увеличению диапазона рабочих температур и улучшению быстродействия микросхем. При выборе структуры функционального преобразователя, которая обеспечивает минимальный объем памяти, важно учитывать общие требования к цифровым устройствам.

Чтобы определить частоты паразитных составляющих, возникающих из-за нелинейности передаточной характеристики цифро-аналогового преобразователя (ЦАП), следует провести соответствующий анализ.

Спектр дискретизированного сигнала — это представление частотного содержания сигнала, который был подвергнут процессу дискретизации. Дискретизация — это преобразование непрерывного сигнала в последовательность состояний (дискретных значений) в определенные моменты времени.

Когда непрерывный сигнал (например, звуковой сигнал) дискретизируется, он берется с определенной частотой, называемой частотой дискретизации. После дискретизации сигнал можно анализировать в частотной области с помощью преобразования Фурье или других методов.

Спектр дискретизированного сигнала показывает, какие частоты присутствуют в сигнале и с какой амплитудой. Обычно спектр визуализируется в виде графика, где по оси X откладываются частоты, а по оси Y — амплитуды (или мощность) этих частот.

Важно отметить, что при дискретизации сигнал может подвергаться эффектам, таким как алиасинг (наложение спектров), если частота дискретизации недостаточно велика (ниже чем в два раза больше максимальной частоты в исходном сигнале). Поэтому для получения корректного спектра необходимо следовать теореме Найквиста, которая гласит, что частота дискретизации должна быть как минимум в два раза больше максимальной частоты сигнала.

Очевидно, что точное восстановление сигнала возможно, если сдвинутые копии спектра не перекрываются. Из рисунка видно, что для этого необходимо, чтобы частота дискретизации как минимум в два раза превышала верхнюю граничную частоту в спектре сигнала:  $\omega > 2\omega_d$ .

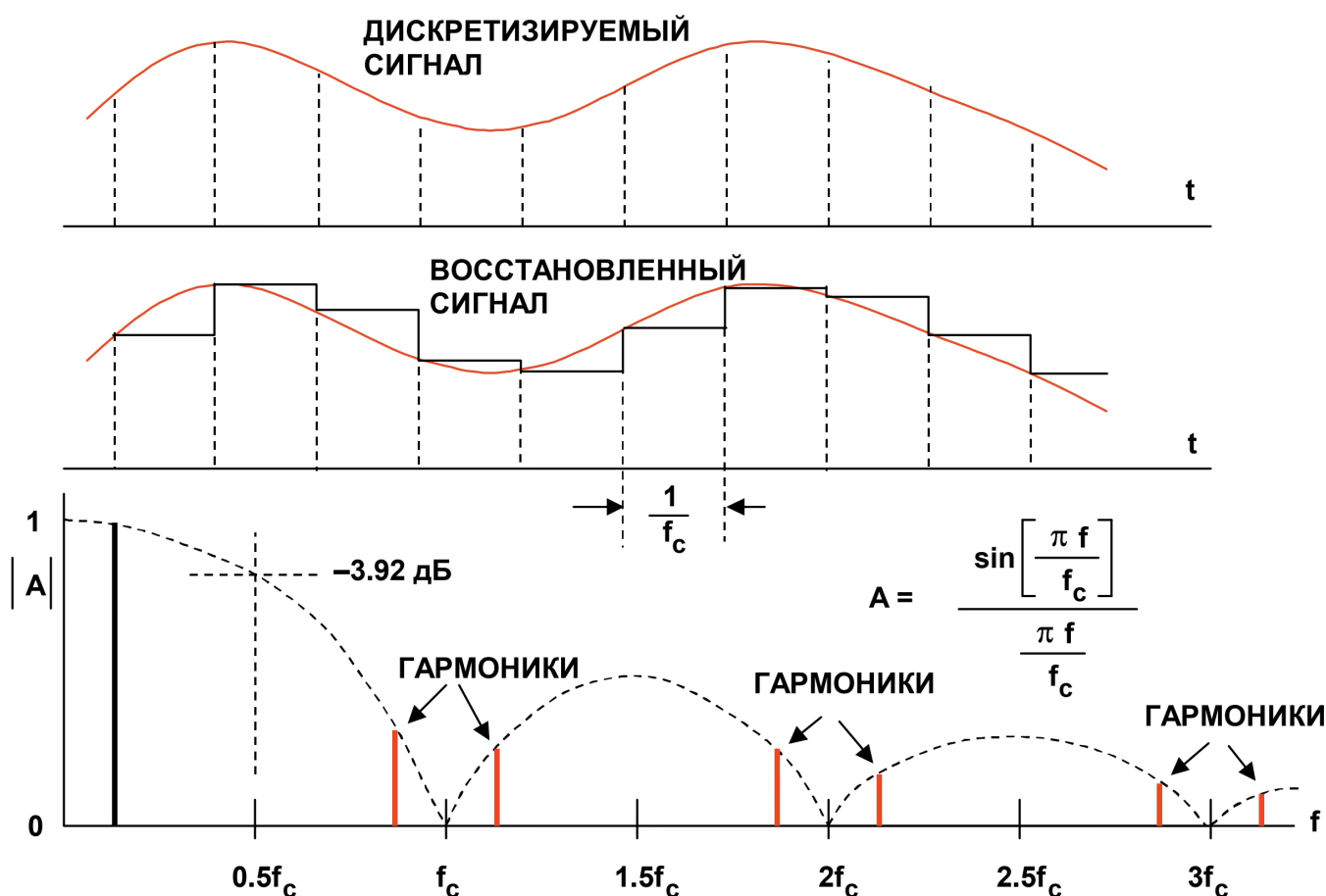
Если сигнал не удовлетворяет условию  $\omega > 2\omega_d$ , то его спектр будет накладываться на себя, что приведет к искажениям при восстановлении непрерывного сигнала. Это происходит из-за того, что спектральные компоненты сигнала с частотами выше частоты Найквиста (которая равна  $2\omega_d/2$ ) не могут быть правильно восстановлены. Их влияние вызывает наложение различных сдвинутых копий спектра и появление ложных частот. Чтобы избежать таких искажений, рекомендуется перед дискретизацией пропускать сигнал через фильтр нижних частот (ФНЧ) с частотой среза, равной частоте Найквиста.

Форма дискретизирующих импульсов существенно влияет на качество восстановления сигнала после дискретизации. Вот основные моменты:

1. **Импульсный отклик:** Форма импульсов определяет, как сигнал будет восстанавливаться из его дискретных значений. Например, прямоугольные импульсы создают резкие переходы, что может привести к искажениям и усилению высокочастотного шума.
2. **Фильтрация:** Использование импульсов, подобных sinc-функции, позволяет избежать наложения спектров и обеспечивает более высокое качество восстановления, так как такие импульсы имеют идеальные свойства фильтра низких частот.
3. **Недостатки прямоугольных импульсов:** При использовании прямоугольных импульсов происходят так называемые "модуляции" и "обертоны" из-за эффекта Айвенса, что может приводить к потере информации.
4. **Устойчивость к шуму:** Плавные (гладкие) импульсы более устойчивы к шуму и позволяют лучше сохранить форму сигнала.

Для достижения наилучшего результата рекомендуется использовать гладкие и раскосые формы импульсов, которые минимизируют искажения и улучшают качество восстановленного сигнала.

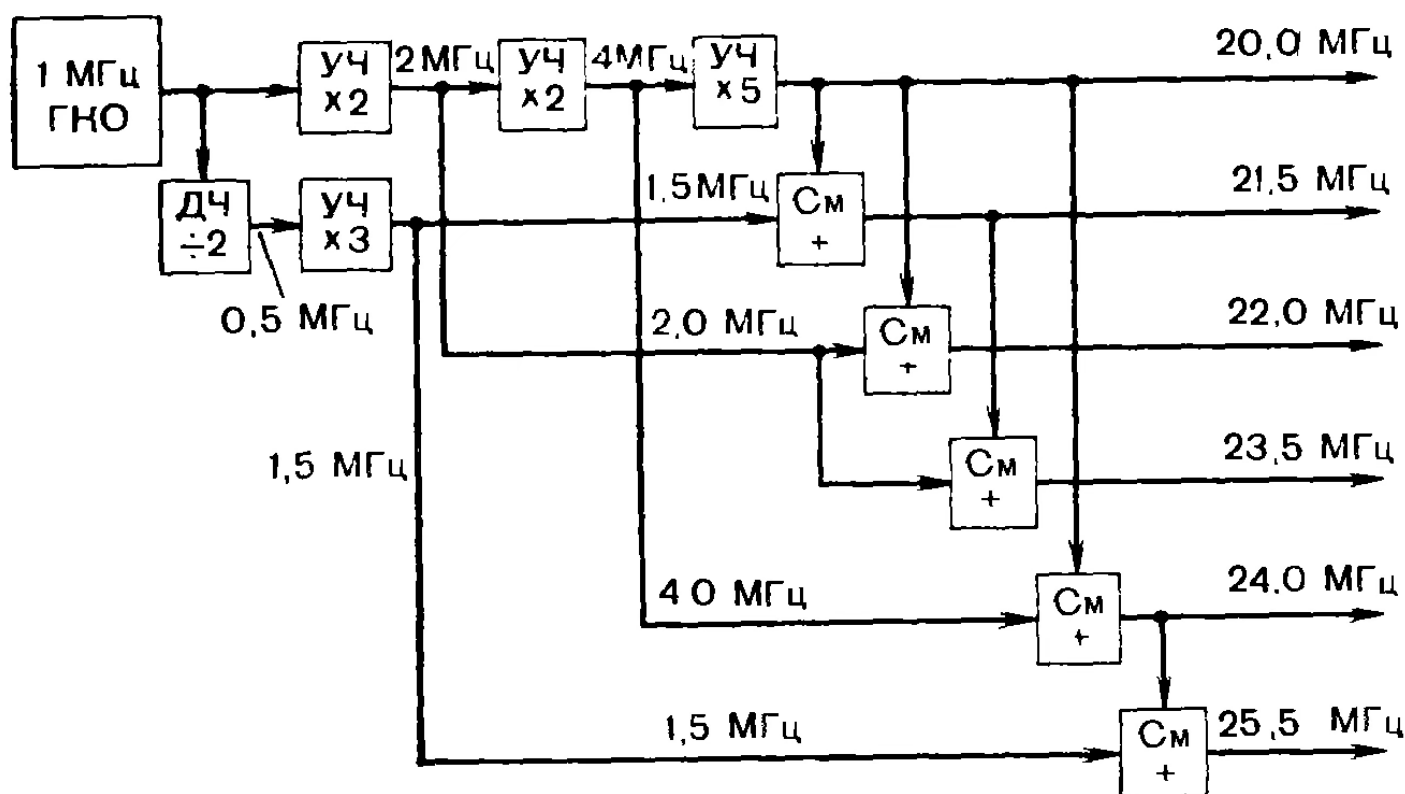
## СПЕКТР ВЫХОДНОГО СИГНАЛА ЦАП С ОГИБАЮЩЕЙ ВИДА $\sin x/x$ (АМПЛИТУДА НОРМАЛИЗОВАННАЯ)

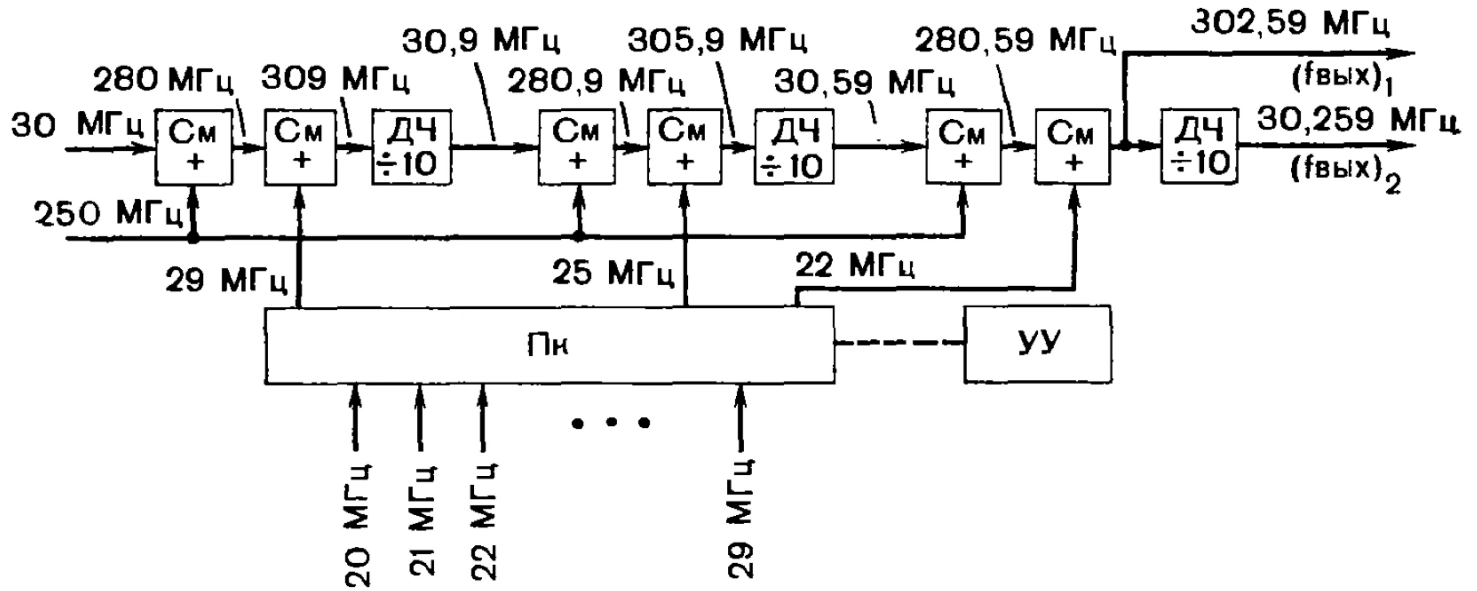


Прямой когерентный синтез отличается от некогерентного синтеза количеством используемых источников опорной частоты. В некогерентном синтезе применяются несколько генераторов с кварцевой стабилизацией, тогда как в когерентном - используется только один источник. Это означает, что стабильность и точность частоты в системах прямого когерентного синтеза зависят от характеристик опорной частоты.

Создание  $n$  генераторов с кварцевой стабилизацией, каждый из которых оснащён  $10n$  кварцевыми резонаторами, с требованиями стабильности не хуже  $10^{-8}$  в сутки и точности не хуже  $\pm 5 \cdot 10^{-7}$ , является достаточно сложной задачей, которая потребует значительных затрат. В то же время, разработка одного генератора с единственным кварцевым резонатором является гораздо более простой задачей. В настоящее время существуют серийно выпускаемые источники опорной частоты со стабильностью не хуже  $10^{-9}$  и по более доступной цене. Уникальной чертой когерентного синтеза является возможность формирования всех частот из единой опорной, что делает такие системы незаменимыми.

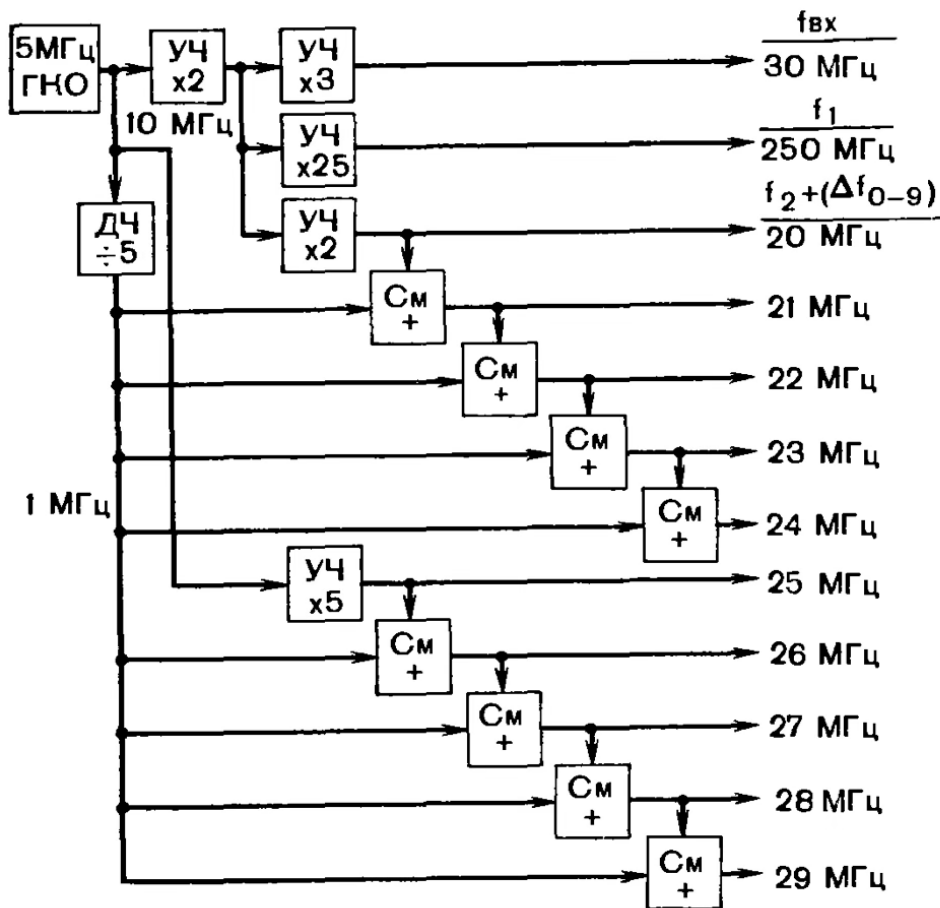
Метод прямого преобразования частоты используется, когда нужно получить ограниченное количество выходных частот. Этот метод предпочтителен, если требуется, чтобы все выходные частоты были доступны одновременно. Основные компоненты устройства, использующего этот метод, включают умножители и делители частоты, смесители и источник опорной частоты.





### Синтез методом пассивных идентичны декад

$$(f_{\text{вых}})_1 = 10f_{\text{вх}} + (\Delta f_{0-9})_1 + (\Delta f_{0-9})_2 / 10 + \dots + (\Delta f_{0-9})_n / 10^{n-1}$$



### Структурная схема формирователя опорных частот

Спектр фазовых шумов не ухудшается при прохождении колебаний от одной декады к другой, что является значительным преимуществом данного метода, особенно когда система должна генерировать миллионы частот, требующих множества каскадов. Сохранение спектра шумов объясняется использованием делителя частоты на выходе каждой декады: при низких уровнях шумов их мощность не уменьшается в процентном отношении, равному коэффициенту деления, а ограничивается собственными шумами делителя частоты. Хотя фазовые шумы все же снижаются, их уровень остается достаточно высоким. Важно, чтобы колебания частот  $f_1$  и  $f_2 + (\Delta f_{0-9})$  были спектрально чистыми.

В дальнейшем будет показано, как делители частоты используются для поддержания спектральной чистоты в современных схемах синтезаторов частот прямого синтеза.

### **Прямой аналоговый синтез:**

- Умножители частоты на ДНЗ;
- Умножители частоты на диодах Шоттки
- Смесители
- Аналоговые делители частоты
- Частотные фильтры
- Усилители
- Генераторы

На их основе можно выполнять гибридные (комбинированные) аналоговые узлы, например, преобразователи частоты, содержащие умножители и делители частоты, смесители, усилители, фильтры