



# Высокостабильные ПАВ резонаторы

## для сверхмалошумящих генераторов

Генераторы на кварцевых резонаторах давно применяются в качестве опорного источника стабильных колебаний в коммерческих и военных электронных системах, в том числе в наземном и бортовом радиолокационном оборудовании. Резонаторы на объемных акустических волнах характеризуются высокой добротностью, температурной и долговременной стабильностью. Однако, поскольку частота кварцевого резонатора обратно пропорциональна толщине кристалла, максимальное ее значение ограничено. При необходимости в опорном источнике с частотой более 150 МГц обычно приходится прибегать к умножению частоты. При этом уровень фазовых шумов (в единицах dBc/Hz) ухудшается как минимум в  $20 \cdot \log(N)$  раз, где  $N$  – коэффициент умножения частоты. Решением этой проблемы может быть выбор резонатора с более высокой фундаментальной частотой, на базе какой либо альтернативной технологии. ПАВ резонатор с частотой 500-1500 МГц – один из возможных вариантов.

### ***ПАВ резонатор***

Современный ПАВ резонатор представляет собой планарную структуру на кварцевой подложке, образованную тонкопленочными встречно штыревыми преобразователями (ВШП) и отражающими решетками (Рис. 1). Частота резонанса здесь определяется не толщиной подложки, а шириной линий топологического рисунка. Современный уровень фотолитографии позволяет достичь частот 1- 3 ГГц при уровнях добротности близких к физическим ограничениям материала подложки.

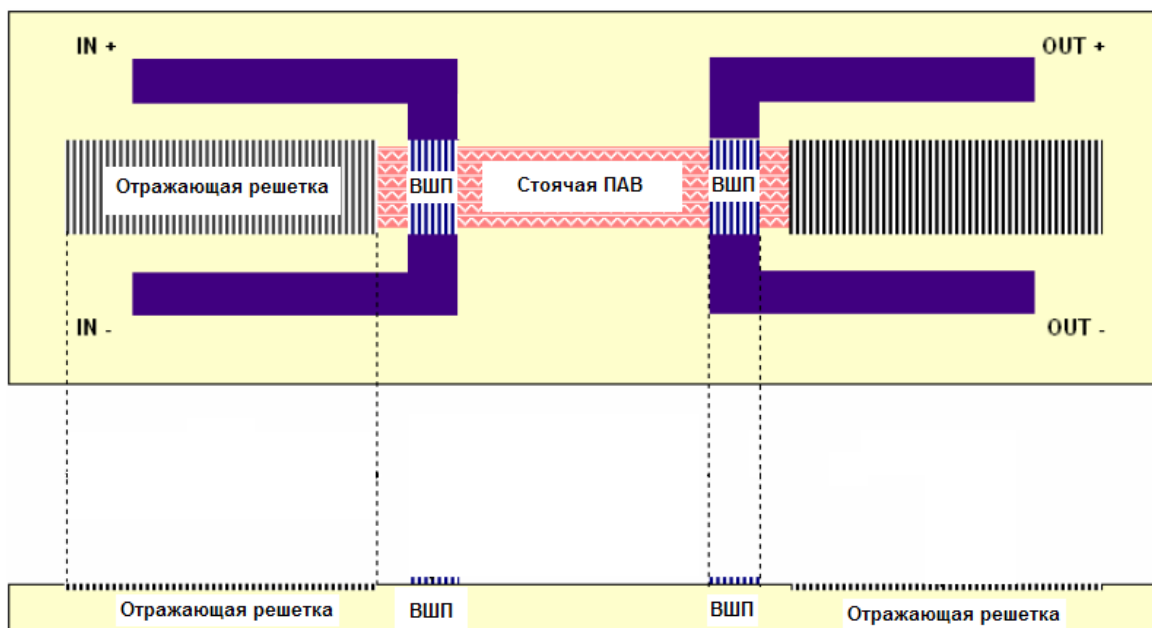


Рис 1. ПАВ резонатор

Для достижения высокой долговременной стабильности резонатор герметизируется приваренной к нему при помощи стеклоцемента крышкой. Такое конструктивное исполнение называется полностью кварцевым корпусом (английская аббревиатура “AQR” - All Quartz Package)

Примером практической реализации AQR конструкции является серийно выпускаемый НПО “Акустоэлектронные компоненты” ПАВ резонатор А174-1000М1 на частоту 1 ГГц (Рис.2).



Рис 2. 1 ГГц ПАВ резонатор в полностью кварцевом корпусе А174-1000М1

Тонкопленочная структура ПАВ резонатора обычно имеет большую площадь, что позволяет повысить мощность, подаваемую к резонатору и, тем самым, снизить уровень фазовых шумов генератора. В таблице 1 приведены основные характеристики ПАВ резонаторов.



Таблица 1. Параметры ПАВ резонаторов для маломощных генераторов

| Тип            | Частота<br>МГц | Добротность<br>$Q_u$ | Потери<br>дБ | Полоса<br>@-3дБ<br>КГц | Постоянная<br>мощность,<br>мВт | Корпус | Производитель |
|----------------|----------------|----------------------|--------------|------------------------|--------------------------------|--------|---------------|
| RP1105         | 640            | 8600                 | -9           | 114                    | 5                              | ТО39   | RFM (США)     |
| A374-500M2     | 500            | 25000                | -3.9         | 60                     | 5                              | AQP    | АЭК (Россия)  |
| A174-1000M1    | 1000           | 15000                | -6           | 150                    | 5                              | AQP    | АЭК (Россия)  |
| A174-1532.25M1 | 1532.25        | 10000                | -9           | 200                    | 5                              | ТО39   | АЭК (Россия)  |

### ПАВ генератор

Включение ПАВ резонатора в цепь обратной связи маломощного усилителя при соблюдении баланса фаз и амплитуд обеспечивает автогенерацию в диапазоне частот близком к полосе пропускания резонатора. Настройка частоты такого генератора (Рис 4.) обеспечивается фазовращателем, который может управляться напряжением, превращая опорный генератор в ГУН.

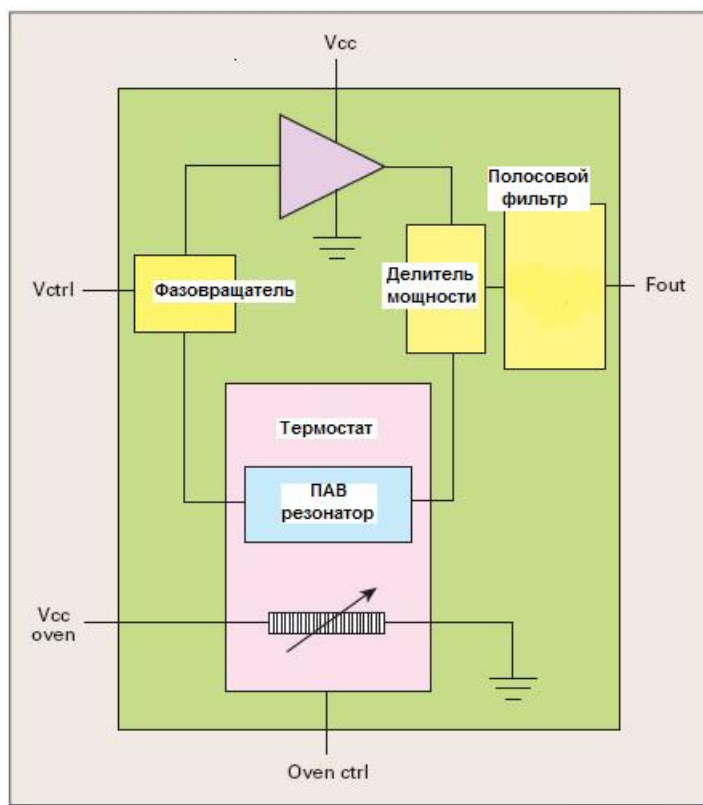


Рис 4. ПАВ генератор

На Рис 5 для сравнения приведены фазовые шумы ПАВ генератора и высококачественного генератора на объемном кварцевом резонаторе. Для получения сопоставимых характеристик фазовые шумы измерялись на одной и той же несущей частоте<sup>1</sup>

<sup>1</sup> [1] М. Chomiki <http://www.mwrf.com/Articles/Print.cfm?ArticleID=22764>



Для этого выходная частота 100 МГц кварцевого генератора умножалась (с ухудшением шумов на 10,1 дБ за счет умножения) для того, чтобы соответствовать выходной частоте ПАВ генератора.

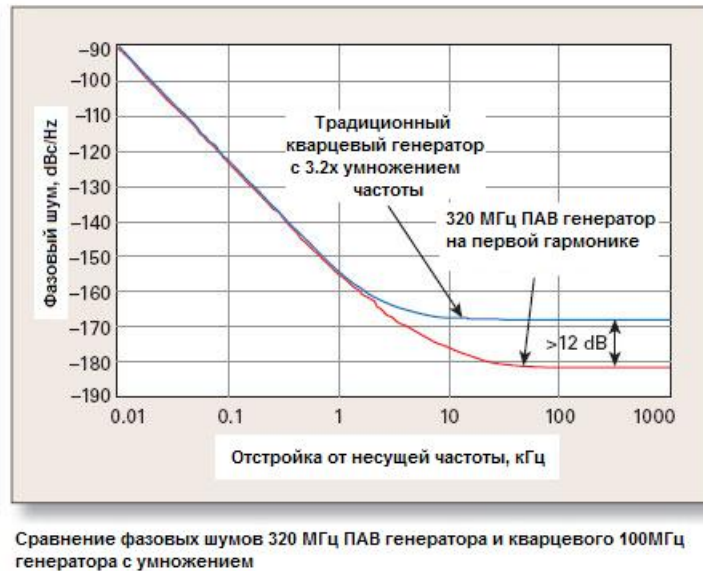


Рис 5. Сравнение фазовых шумов ПАВ и кварцевого генератора [1]

При сравнении графиков фазовых шумов двух различных генераторов видно, что шумы обоих генераторов эквивалентны при отстройках от несущей частоты менее чем на 1 кГц. При отстройке частоты более чем 1 кГц от несущей, фазовый шум ПАВ генератора более чем на 12 дБ ниже, чем у кварцевого генератора с умножением.

Такое улучшение фазового шума представляет собой прорыв для нескольких различных типов бортовых РЛС систем. Для доплеровской РЛС, это может означать более чем двойное увеличение дальности обнаружения. Для целей с малой ЭПР низкий уровень фазовых шумов приведет к повышению чувствительности при детектировании таких объектов, как стелс самолеты, снаряды, ракеты, живая сила противника и т. п.

Улучшение фазовых шумов за счет применения АQR ПАВ резонаторов возможно в широком диапазоне частот до 10 ГГц и выше. В [1] приведена блок схема 10 ГГц генератора с улучшенными более чем на 15 дБ фазовыми шумами (Рис 6) с применением ГУН на 500 МГц ПАВ резонаторе.

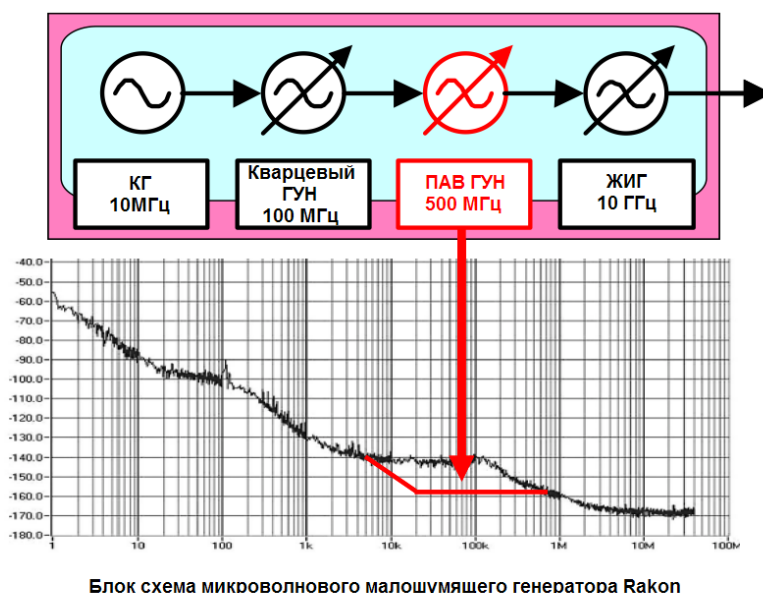


Рис 6. Блок схема 10 ГГц микроволнового малошумящего генератора Rakon Limited.

### **Выводы.**

*ПАВ резонаторы являются ключевыми компонентами для построения сверхмалошумящих генераторов для наземной и бортовой радиолокационной аппаратуры. Они непосредственно определяют такие важнейшие ТТХ как дальность и чувствительность.*

*Имеется мировой опыт, подтверждающий эффективность применения ПАВ генераторов в военной аппаратуре радиолокации (Рис 7).*

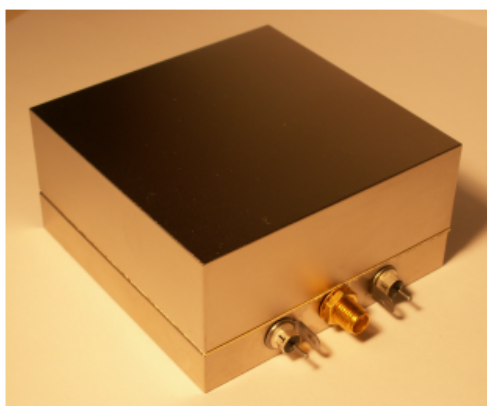


Рис 7. Военный 500 МГц ПАВ генератор  
Rakon SR F06

В распоряжении российских разработчиков военной электроники имеются промышленные АҚР ПАВ резонаторы, пригодные для построения сверхмалошумящих генераторов на частоты по 10 ГГц и выше.