

Новые STW резонаторы для прецизионных генераторов.

Вносимые шумы. Перспективы внедрения.

ПАВ резонаторы на волнах Релея многие годы широко применяются в качестве элемента контроля частоты в опорных и управляемых прецизионных генераторах. Вместе с тем, особенности ПАВ технологии ограничивают диапазон ее применения частотами 500 ... 800 МГц. Приборы контроля частоты на сдвиговых объемных волнах (STW) [1-3] открывают дополнительные возможности для разработки малошумящих генераторов и цифровых синтезаторов частоты в диапазоне до 4-7 ГГц.

STW резонатор

STW резонатор представляет собой планарную структуру на кварцевой подложке $Y\text{X}\ell$ среза, образованную тонкопленочными встречно штыревыми преобразователями (ВШП) и металлическими отражающими решетками (Рис. 1). Современный уровень фотолитографии позволяет легко достичь частот 3 ГГц [3] при уровнях добротности близких к физическим ограничениям материала подложки.

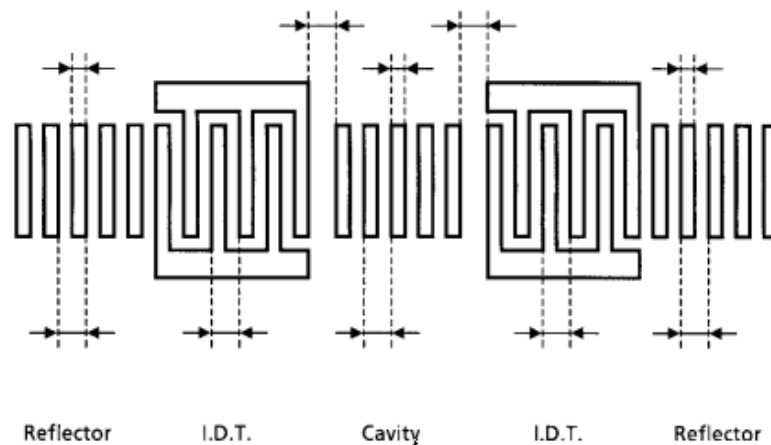


Рис 1. STW резонатор



27 июня 2017

STW волна проникает в кристалл на большую глубину. Это позволяет уменьшить рассеиваемую мощность на единицу объема резонатора, и, тем самым, улучшить его долговременную стабильность на высоких частотах [4]. При этом часто удается сохранить низкий уровень фазовых шумов, присущий резонаторам ПАВ. Немаловажно также, что конструкция STW резонатора существенно проще, а технологический процесс – короче. А это означает низкую себестоимость производства и цену изделия.

Примером практической реализации такой конструкции является разработанные в НПО “АЭК Дизайн” резонаторы на частоты 0.5 -1.5 ГГц:

Тип	F0 МГц	Qu	Потери дБ	Полоса @-3дБ кГц	Постоянная мощность, мВт	Корпус	Производитель
NS-34R	500-2500	1000	-6	NA	10	3.8*3.8	Seiko-Epson [5]
A474-500M2	500	13000	-6	75	35	SIP/AQP	АЭКД (Россия)
A174-1000M1	1000	15000	-7	130	10	SIP/AQP	АЭКД (Россия)
A474-1000M1	1000	11000	-6.5	173	35	SIP/AQP	АЭКД (Россия)
A474-1032M1	1032	11000	-6.6	175	35	SIP/AQP	АЭКД (Россия)
A174-1532M1	1532.25	10000	-9	200	5	SIP/AQP	АЭКД (Россия)



Рис. 2 STW резонатор A474-1000M1

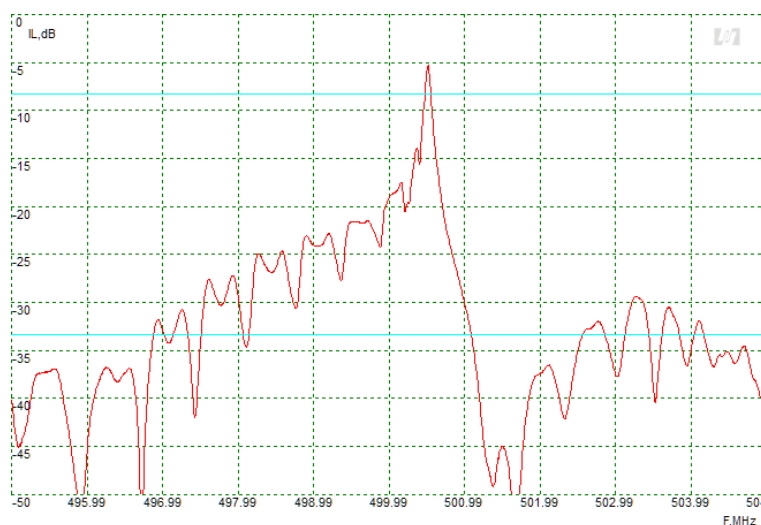


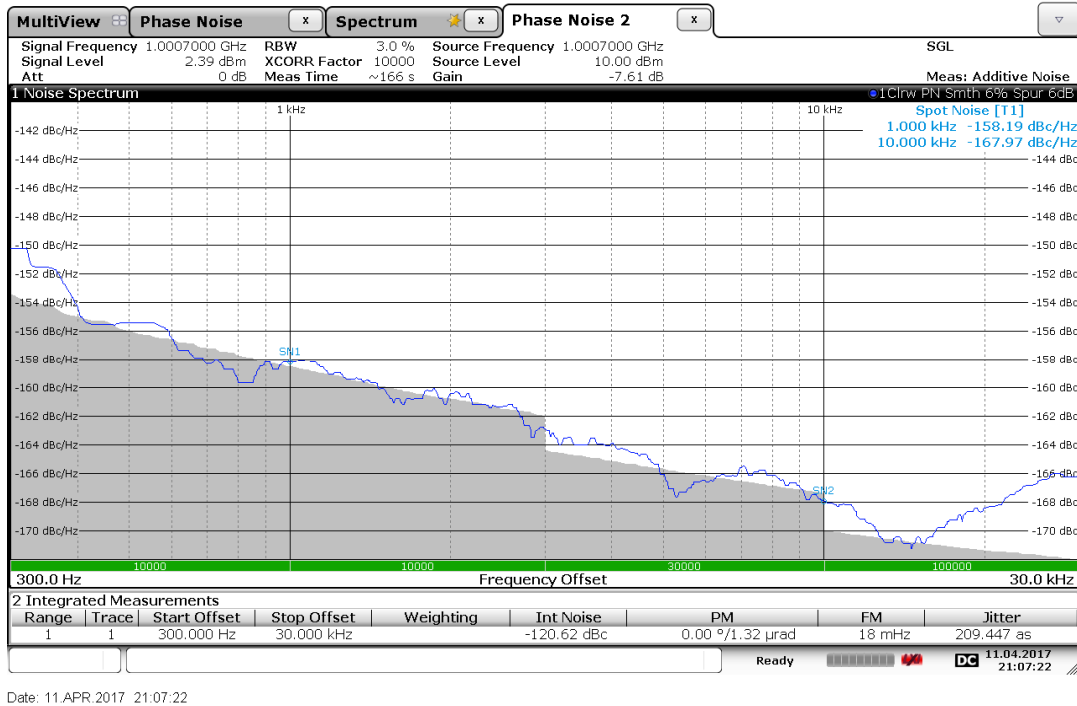
Рис. 3 АЧХ STW резонатора A474-500M2

Оценка шумов STW резонаторов A474-1000M1

Важнейшими параметрами резонаторов для прецизионных генераторов являются добротность и уровень собственных шумов. Согласно модели [6], для квалификации резонатора как элемента малошумящего генератора *оба* эти параметра должны быть регламентированы в технических условиях и измеряться на этапе выходного контроля перед оправкой заказчиком. Необходимость такого подхода доказана неоднократными измерениями шумов резонаторов и их сопоставлением с добротностью [7]. Легко заметить разницу в уровне шумов резонаторов с одинаковой Q:

Партия, F0	Номер резонатора	Q	Фазовый шум @1 Гц, дБн
90-22, 402 MHz	E-522D	13947	-133
90-22, 402 MHz	E-523E	13945	-139

Измерение добротности при помощи векторного анализатора цепей обычно не вызывает никаких затруднений. Для прямых измерений шума четырехполюсников до последнего времени требовались весьма сложные и дорогие установки. К счастью, недавно появился промышленный анализатор Rohde - Schwarz FSWP с опциями B4, B60 и B64, позволяющий напрямую оценить уровень шума двухпортового STW резонатора. Имеется, однако, небольшая проблема. Она заключается в том, что в скоростном режиме чувствительности FSWP хватает лишь для пессимистической оценки шумовых параметров такого резонатора как A474-1000M1 (Рис 4).



Date: 11.APR.2017 21:07:22

Рис. 4 Вносимые шумы резонатора A474 -1000M1
(Измеритель шумов Rohde - Schwarz FSWP с опциями B4, B60 и B64, $Q_{corr}=10000$)

Для более точного прямого измерения требуется довольно много времени – до двух часов. Такая производительность приемлема лишь на этапе исследований. Для снижения затрат в производственных условиях был выбран косвенный метод измерений с помощью простейшего генератора - стенда на одном транзисторе (Рис. 5).

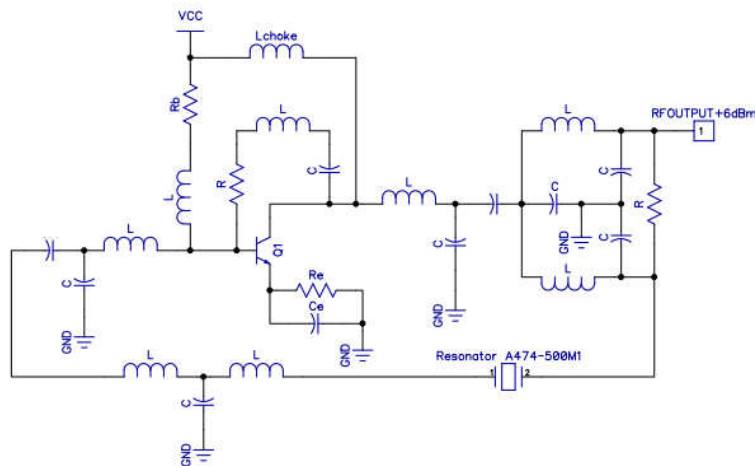


Рис. 5 Схема стенда для проверки шумов STW резонаторов

Все основные параметры шумовой модели [6] кроме коэффициента фликкер шума резонатора A_f измеряются однократно. Их можно определить с высокой точностью, не считаясь с затратами времени. Напротив, 100% проверка резонаторов должна осуществляться в ходе производственного процесса и быть максимально оперативной. Для решения этой задачи была разработана программа (Рис.6) определения коэффициента A_f по результатам измерений шума генератора на измерителе FSWP (Рис.7).

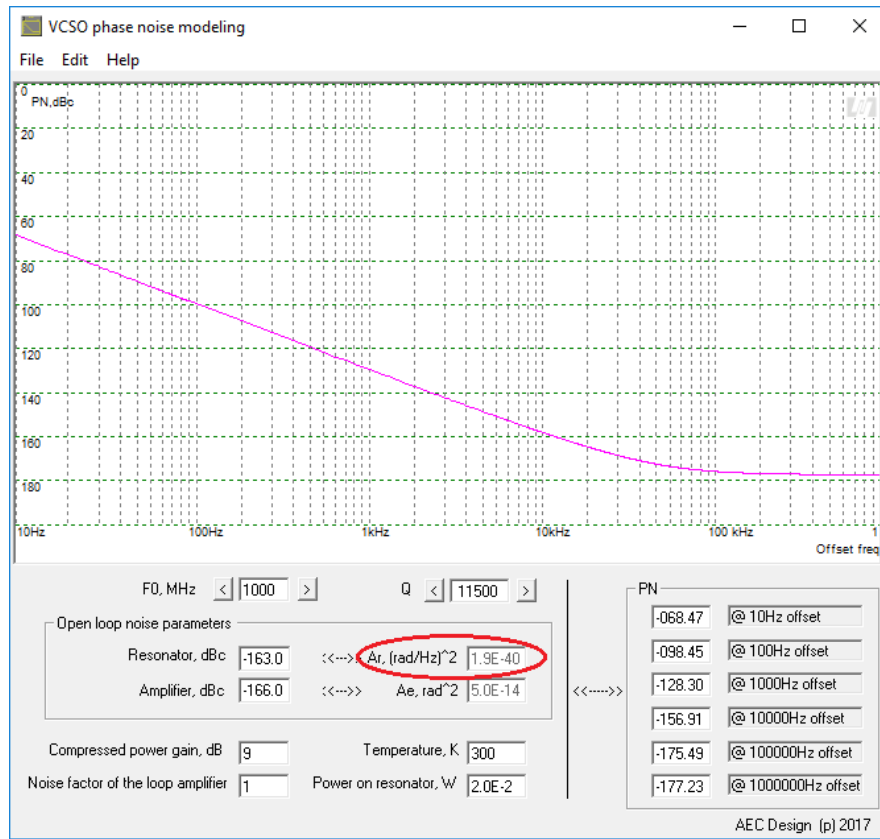
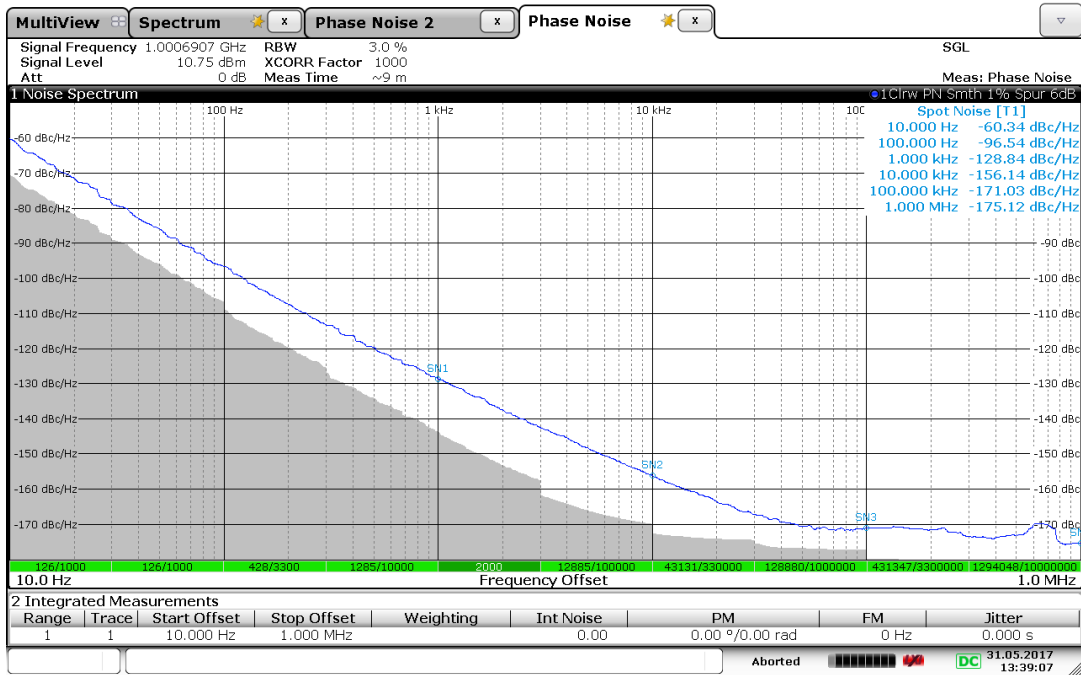


Рис. 6 Окно программы определения шумовых коэффициентов генератора на STW резонаторе A474-1000M1.



Date: 31 MAY 2017 13:39:07

Рис. 7 Измеренные шумовые параметры генератора на STW резонаторе A474-1000M1 #W8583_CH8

Обсуждение результатов

График шумов Рис. 7 получен на измерителе FSWP с опциями В1, В4, В8, В24, В60 и В64. Соответствующий Рис.7 коэффициент фликкер шума $A_f = 1.9 \cdot 10^{-40}$ (Рис.6) может использоваться при выходном контроле резонаторов как основной параметр технических условий. Погрешность определения A_f по предварительным оценкам не превышает 20%. Резонаторы подключаются к стенду через розетку для проведения неразрушающего выходного контроля. Время измерений (не более 10 мин) незначительно влияет на стоимость резонатора.

Анализируя график Рис. 7, попутно можно сделать вывод о том, что, резонаторы А474 не слишком уступают аналогам, применяемым в зарубежных малошумящих генераторах Racon, TriQuint, Vectron и Crystek. Среди прочих, только генератор от Racon демонстрирует лучший уровень шумов.

Тип генератора	Тип резонатора	F0 МГц	PN@ 1000 Hz	PN@ 10 kHz	PN@ 100 kHz	PN@ 1 MHz	Производитель
Racon SR B650	SAW	1000	-130	-158	-172	-170	RACON, Франция
Vectron PS-501	Нет данных	1000	-112	-140	-150	-150	Vectron, США
Crystek CCSO-914	SAW	1000	-110	-138	-150	-160	Crystek, США
TriQuint HPSTWO	STW	1000	-125	-155	-160	-168	TriQuint, США
A474-1000M1	STW	1000	-129	-157	-171	-175	АЭКД, Россия

Пока подтверждается позитивный прогноз долговременной стабильности STW резонаторов. При нормальной температуре частота генератора стабилизировалась до ± 0.5 ppm после 160 часов работы под нагрузкой, что является вполне удовлетворительным показателем для негерметичного макетного образца, не прошедшего токовую и термотренировку (Рис 8).

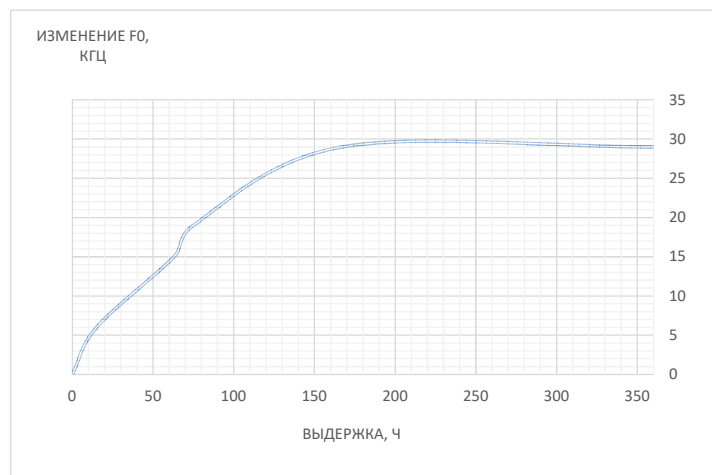
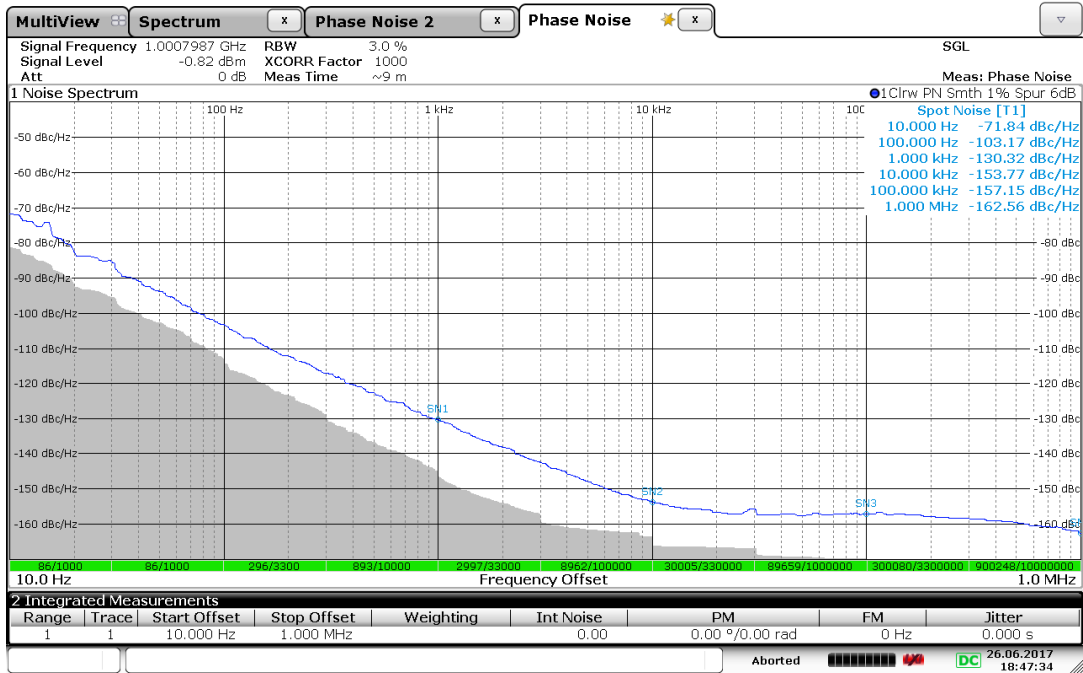


Рис. 8 Изменение частоты генератора на резонаторе А474-1000М за 360 ч. работы под нагрузкой.

Следует заметить, что схема Рис 5 может применяться лишь в качестве измерительной оснастки в условиях производства резонаторов. Она не содержит управляемого фазовращателя и ряда вспомогательных цепей, необходимых, например, для обеспечения работы в широком диапазоне температур. Тем не менее, с помощью такого стенда можно получить реальное представление о шумовых характеристиках и потенциале применения новых резонаторов.

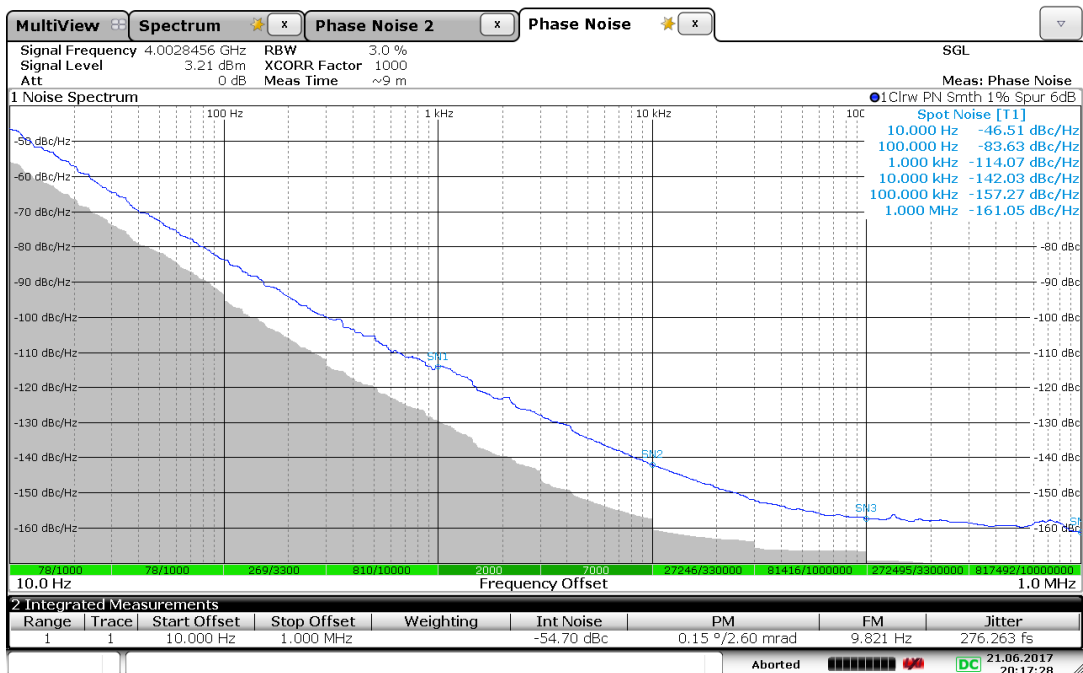


Улучшение фазовых шумов за счет применения STW резонаторов возможно также в схемах с умножением частоты вплоть до 4 ГГц и выше. На Рис. 9 и 10 приведены характеристики генераторов на малошумящих STW резонаторах с умножением частоты. Применение пассивных умножителей Н. Соборницкого [8], а также ПАВ фильтров [9] для подавления субгармоник и гармоник на 50-60 дБ, позволяет получить приемлемые шумы и спектр, например, в быстродействующих цифровых синтезаторах [10].



Date: 26 JUN 2017 18:47:34

Рис. 9 Измеренные параметры генератора на STW резонаторе A474-500M2 с умножением частоты на 2.



Date: 21 JUN 2017 20:17:28

Рис. 10 Измеренные параметры генератора на резонаторе A474-1000M1 с умножением частоты на 4.



Выводы и рекомендации.

STW резонаторы могут стать ключевыми компонентами для недорогих прецизионных генераторов и цифровых синтезаторов [10] на частоты 0.5-4 ГГц.

*Дальнейшее улучшение параметров STW резонаторов A474 вероятно может быть достигнуто за счет использования технологии токовой тренировки. В открытых источниках отсутствует информация о применении этой технологии в производстве приборов на STW, поэтому необходимо в инициативном порядке провести соответствующую НИР. В случае успеха это позволит уменьшить фликкер шум **еще на 4-6 дБ**. Требуется также провести значительные по объему и длительности испытания для подтверждения долговременной стабильности STW резонаторов.*

Оптимальным методом контроля шумов в производстве STW резонаторов и фильтров является использование измерительного стенда на базе генератора, измерителя шума FSWP и специального ПО. Полученные при этом оценки фликкер шума резонатора могут быть использованы для улучшения технологии, снижения себестоимости и активизации продаж новых пьезоэлектрических приборов контроля частоты.

Представляется целесообразным наладить кооперацию АЭК Дизайн с партнерами из числа предприятий - разработчиков и производителей прецизионных генераторов для лучшей реализации потенциала новых резонаторов путем применения более совершенных схемотехнических решений.

Литература

- [1] M. Calvin, R Almar “An Oscillator Design Using Low g-Sensitivity, Low Phase Noise STW Devices” 1995 IEEE IFCS, p476
- [2] J.-M Friedt at all, “Design of Asynchronous STW Resonators for Filters and High Stability Source Applications”, 2005 IEEE USP, p1315
- [3] H. Yatsuda at all “Flip-Chip STW Filters and Frequency Trimming Method”, 2002 IEEE IFCS, p366
- [4] T. Bagwell “Novel Surface Transverse Wave Resonator with Low Loss and High Q”, 1987 IEEE USP, p319
- [5] http://www5.epsondevice.com/en/information/technical_info/pdf/sawres_sawosc.pdf
- [6] T. Parker, G. Montress “Spectral Purity of Acoustic Resonator Oscillators” 1992 IEEE FCS, p341
- [7] J. Greer T. Parker, G. Montress “Metallization for Surface Acoustic Wave Resonators: Film Properties and Device Characteristics” 1990 USP p. 483
- [8] M. Sobornitsky, private communication
- [9] <http://www.aec-design.com/EN/pdf/A075-1000M2.pdf>
- [10] <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD9914.pdf>