

УДК 621.373.121.13

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ЭКРАНИРОВАНИЯ КВАРЦЕВОГО ГЕНЕРАТОРА СВЧ УСТРОЙСТВ НА СНИЖЕНИЕ УРОВНЯ ПОБОЧНЫХ СПЕКТРАЛЬНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ

Г.А. ПИСКУН<sup>1</sup>, В.Ф. АЛЕКСЕЕВ<sup>1</sup>, П.С. РОМАНОВСКИЙ<sup>1</sup>, А.А. СТАНУЛЬ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Республика Беларусь

<sup>2</sup>СКБ «Радиотехпроект», Республика Беларусь

Поступила в редакцию 24 апреля 2019

**Аннотация.** В работе представлены результаты эксперимента по исследованию влияния экранирования СВЧ устройства на уровень побочных спектральных составляющих (ПСС) излучения его кварцевого генератора. Экспериментальным путем определен принцип экранирования, которому соответствует минимальный уровень ПСС указанного элемента ( $-90,3$  dBm). На основании полученных результатов предложено модифицированное место установки кварцевого генератора.

**Ключевые слова:** экранирование, побочная спектральная составляющая, кварцевый генератор, СВЧ устройство.

**Abstract.** The results of an experiment to study the effect of the microwave device shielding principle on the level of side spectral components (SSC) of its quartz generator radiation. The shielding principle which corresponds to the minimum SSC level of this element ( $-90.3$  dBm) has been determined experimentally. Based on the obtained results, a modified installation location of the quartz generator has been proposed.

**Keywords:** shielding, side spectral component, quartz generator, microwave device.

**Doklady BGUIR. 2019, Vol. 123, No. 5, pp. 12-17**

**Studying the effect of additional shielding of the quartz microwave generator on reducing the level of side spectral components**

**G.A. Piskun, V.F. Alexeev, P.S. Romanovski, A.A. Stanul**

**DOI: <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2019-123-5-12-17>**

### Введение

Воздействие электромагнитного излучения (ЭМИ) на высокочувствительную СВЧ аппаратуру приводит к изменению ее параметров или полному выходу из строя, что связано с переходом приемно-усилительных трактов в рассогласованный режим и возникновением перенапряжений в элементной базе [1]. Одним из наиболее эффективных способов достижения внутренней электромагнитной совместимости (ЭМС) СВЧ устройств является экранирование [1–9].

Особенно важен правильный выбор метода экранирования, материала экрана и его конструкции именно на начальном этапе проектирования, поскольку он будет определять возможность успешного прохождения испытаний на ЭМС и качественного функционирования разрабатываемой аппаратуры [2].

### Объект исследования

Одним из наиболее часто используемых электрорадиоэлементов в СВЧ технике является кварцевый генератор – автогенератор электромагнитных колебаний с колебательной

системой, в состав которой входит кварцевый резонатор. Данный элемент предназначен для получения колебаний постоянной частоты с высокой температурной и временной устойчивостью, низким уровнем фазовых шумов.

Кварцевый генератор характеризуется высоким значением добротности ( $10^4$ – $10^6$ ) эквивалентного колебательного контура, однако в некоторых случаях он может служить и источником побочных спектральных составляющих (ПСС). Поэтому данный элемент требует дополнительной экранировки, хоть и имеет металлический корпус, который служит для него экраном.

В лаборатории ООО «СКБ Радиотехпроект» был проведен эксперимент, который показал зависимость уровня ПСС, генерируемых кварцевым генератором, от способа экранирования. Устройство, на котором измерялся уровень ПСС, разработано на предприятии и является широкополосным многоканальным приемником 3–3000 МГц с двойным преобразованием частоты.

В устройстве использован широко распространенный кварцевый генератор с очень низкими уровнями фазового шума CVND-950X-100 (100 МГц), производитель – Crystek Corporation [3]. Также этот генератор имеет довольно распространенный тип корпуса  $9 \times 14$  mm SMT, поэтому проводимое исследование будет актуально и для других устройств со схожим корпусом.

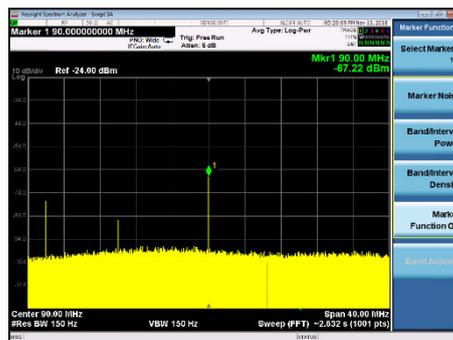
Тракт формирования опорных частот состоит из нескольких петель фазовых автоподстроек частоты (ФАПЧ). В результате работы устройства было установлено, что при работе на определенных участках в спектре выходного сигнала на промежуточной частоте (90 МГц) появляется гармоника, которой быть не должно, так как на входе приемника нет сигнала. Экспериментальным путем было выяснено, что причиной ее возникновения является кварцевый генератор. Способ образования данной гармоники не очевиден, его рассмотрение выходит за рамки данной статьи.

### Описание эксперимента

Эксперимент проходил в несколько этапов. На первом этапе печатная плата устройства с компонентами устанавливалась в корпус, при этом корпус не был закрыт крышкой (рис. 1, а). Уровень ПСС ( $-67,22$  dBm), снятый с анализатора спектра Keysight N9000A, показан на рис. 1, б.



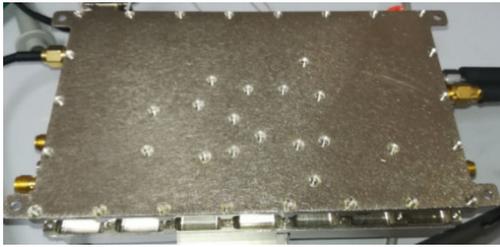
а



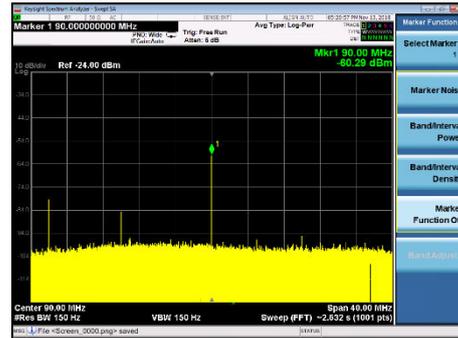
б

Рис. 1. Общий вид устройства «Приемник широкополосный многоканальный 3–3000 МГц» с обозначенным кварцевым генератором (а) и показания анализатора спектра устройства (б)

На втором этапе корпус с установленной платой дополнительно закрывался крышкой (рис. 2, а). Уровень ПСС на данном этапе показан на рис. 2, б. На данном этапе эксперимента уровень ПСС увеличился до значения  $-60,29$  dBm. Можно предположить, что помехи усилились из-за возможного переотражения от крышки, что вызвано отсутствием электрического контакта (наличием зазора) между корпусом генератора и крышкой устройства.



*a*

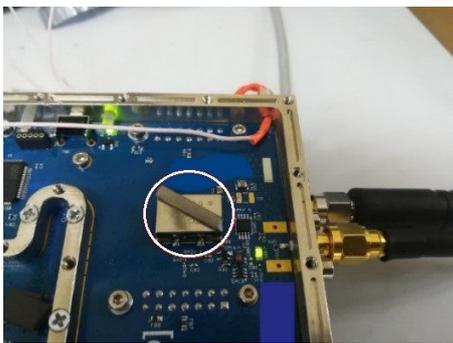


*б*

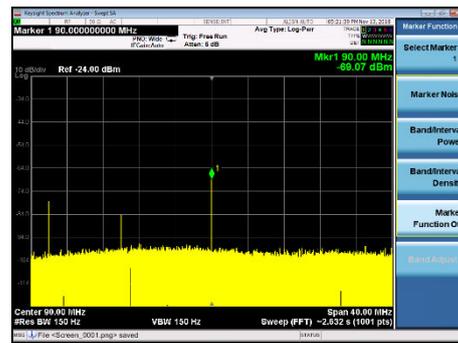
Рис. 2. Общий вид устройства «Приемник широкополосный многоканальный 3–3000 МГц» с установленной крышкой (*a*) и показания анализатора спектра устройства (*б*)

Далее на источник помех (кварцевый генератор) устанавливался проводящий материал (рис. 3, *a*), который создавал электрический контакт корпуса элемента с крышкой корпуса устройства. На данном этапе корпус устройства накрывался крышкой, как и в предыдущем случае.

Уровень ПСС ( $-69,07$  dBm), который получен при помощи анализатора спектра на данном этапе, показан на рис. 3, *б*.



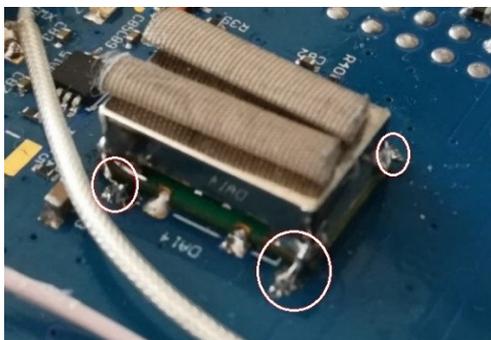
*a*



*б*

Рис. 3. Общий вид устройства «Приемник широкополосный многоканальный 3–3000 МГц» с обозначением кварцевого генератора с установленным электропроводящим материалом (*a*) и показания анализатора спектра устройства (*б*)

Четвертый этап заключался в дополнительной пропайке корпуса кварцевого генератора к «земле» (рис. 4, *a*). Уровень ПСС на данном этапе уменьшился до уровня  $-87,88$  dBm, что видно на показаниях анализатора спектра (рис. 4, *б*).



*a*



*б*

Рис. 4. Общий вид устройства «Приемник широкополосный многоканальный 3–3000 МГц» с дополнительно пропаянным корпусом кварцевого генератора (*a*) и показания анализатора спектра устройства (*б*)

На заключительном этапе использовались все предыдущие способы экранирования, и в дополнении к этому корпус устройства закрывался крышкой. На данном этапе был получен минимальный уровень помех ( $-90,3 \text{ dBm}$ ) (рис. 5).



Рис. 5. Показания анализатора спектра устройства на заключительном этапе эксперимента

На первом этапе эксперимента уровень помех составлял  $-67,22 \text{ dBm}$ , на последнем этапе –  $-90,3 \text{ dBm}$ . Данные значения показывают, что уровень помех на заключительном этапе эксперимента уменьшился почти в 200 раз.

### Результаты исследований

Эксперимент проходил в несколько этапов, которые включали в себя определенные методы экранирования. Каждый последующий метод экранирования дополнял предыдущий. Описание каждого этапа эксперимента и показания анализатора спектра сведены в таблицу.

**Значения уровня ПСС от метода экранирования**

Метод экранирования	Уровень ПСС, dBm
1. Печатная плата устройства с компонентами установлена в корпус, корпус не закрыт крышкой	$-67,22$
2. Корпус устройства с установленной платой закрыт крышкой	$-60,29$
3. Печатная плата устройства с компонентами установлена в корпус, размещен проводящий материал на источнике помех (создание электрического контакта между корпусом кварцевого генератора и крышкой корпуса устройства), корпус устройства закрыт крышкой	$-69,07$
4. Печатная плата устройства с компонентами установлена в корпус, корпусом кварцевого генератора дополнительно пропаян к «земле», крышка устройства не устанавливается	$-87,88$
5. Печатная плата устройства с компонентами установлена в корпус, корпус кварцевого генератора дополнительно пропаян к «земле», размещен проводящий материал на источнике помех (создание электрического контакта между корпусом кварцевого генератора и крышкой корпуса устройства), корпус устройства закрыт крышкой	$-90,3$

По результатам эксперимента авторами предлагается модифицированное место установки кварцевого генератора CVHD-950X-100 (100 МГц) с типом корпуса  $9 \times 14 \text{ mm SMT}$  (рис. 6).

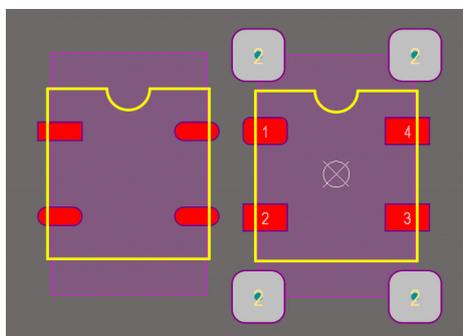


Рис. 6. Схематическое изображение исследуемого кварцевого генератора: вид слева – первоначальное место установки, вид справа – экспериментально обоснованное место установки с дополнительной пропайкой корпуса кварцевого генератора

Данное место установки можно использовать и для других элементов со схожим типом корпуса.

## Заключение

В ходе эксперимента были получены уровни ПСС, на основании которых можно сделать вывод, что иногда стандартных методов экранирования недостаточно, чтобы достичь минимального уровня ПСС. Поэтому для достижения этой цели можно использовать дополнительный метод экранирования, заключающийся в доработке посадочного места для кварцевого генератора с корпусом 9×14 mm SMT и в обеспечении электрического контакта экрана кварцевого генератора с корпусом изделия.

## Список литературы

1. Воздействие мощного электромагнитного излучения на радиоэлектронные средства [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/vozdeystvie-moschnogo-elektromagnitnogo-izlucheniya-na-radioelektronnye-sredstva> (дата обращения: 24.04.2019).
2. Экранирование радиоэлектронной аппаратуры как метод обеспечения электромагнитной совместимости [Электронный ресурс]. URL: <https://www.soel.ru/upload/clouds/1/iblock/740/740b715eaa6b232c95a1fcd445e96579/20150886.pdf> (дата обращения: 24.04.2019).
3. CVHD-950 VCXO Ultra-Low Phase Noise Oscillators [Электронный ресурс]. URL: <http://www.crystek.com/crystal/spec-sheets/vcxo/CVHD-950.pdf> (дата обращения: 24.04.2019).
4. Воробьев Е.А. Экранирование СВЧ конструкций. М.: Сов. радио, 1979. 136 с.
5. Шапиро Д.Н. Электромагнитное экранирование. Долгопрудный: Интеллект, 2010. 120 с.
6. Гроднев И.И. Электромагнитное экранирование в широком диапазоне частот. М.: Связь, 1972. 114 с.
7. Шапиро Д.Н. Основы теории электромагнитного экранирования. М.: Энергия, 1975. 112 с.
8. Кечиев Л.Н., Акбашев Б.Б., Степанов П.В. Экранирование технических средств и экранирующие системы. М.: Группа ИДТ, 2010. 110 с.
9. Рогинский В.Ю. Экранирование в радиоустройствах. М.: Медиа, 1969. 109 с.

## References

1. *Vozdejstvie moshhnogo jelektromagnitnogo izlucheniya na radiojelektronnye sredstva* [Electronic resource]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/vozdeystvie-moschnogo-elektromagnitnogo-izlucheniya-na-radioelektronnye-sredstva> (date of access: 24.04.2019). (in Russ.)
2. *Jekranirovanie radiojelektronnoj apparatury kak metod obespechenija jelektromagnitnoj sovmestivosti* [Electronic resource]. URL: <https://www.soel.ru/upload/clouds/1/iblock/740/740b715eaa6b232c95a1fcd445e96579/20150886.pdf> (date of access: 24.04.2019). (in Russ.)
3. *CVHD-950 VCXO Ultra-Low Phase Noise Oscillators* [Electronic resource]. URL: <http://www.crystek.com/crystal/spec-sheets/vcxo/CVHD-950.pdf> (date of access: 24.04.2019).
4. *Vorob'ev E.A. Jekranirovanie SVCh konstrukcij*. M.: Sov. radio, 1979. 136 s. (in Russ.)
5. *Shapiro D.N. Jelektromagnitnoe jekranirovanie. Dolgoprudnyj: Intellect, 2010. 120 s.* (in Russ.)
6. *Grodnev I.I. Jelektromagnitnoe jekranirovanie v shirokom diapazone chastot*. M.: Svjaz', 1972. 114 s. (in Russ.)
7. *Shapiro D.N. Osnovy teorii jelektromagnitnogo jekranirovanija*. Moskva: Jenergija, 1975. 112 s. (in Russ.)
8. *Kechiev L.N., Akbashev B.B., Stepanov P.V. Jekranirovanie tehlicheskih sredstv i jekranirujushhie sistemy*. Moskva: Gruppya IDT, 2010. 110 s. (in Russ.)
9. *Roginskij V.Ju. Jekranirovanie v radioustrojstvah*. Moskva: Media, 1969. 109 s. (in Russ.)

## Сведения об авторах

Пискун Г.А., к.т.н., доцент, доцент кафедры проектирования информационно-компьютерных систем Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Алексеев В.Ф., к.т.н., доцент, доцент кафедры проектирования информационно-компьютерных систем Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Романовский П.С., магистрант кафедры проектирования информационно-компьютерных систем Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

## Information about the authors

Piskun G.A., PhD, associate professor, associate professor of the department of information and computer systems design of Belarusian state university of informatics and radioelectronics.

Alexeev V.F., PhD, associate professor, associate professor of the department of information and computer systems design of Belarusian state university of informatics and radioelectronics.

Romanovski P.S., master student of the department of information and computer systems design of Belarusian state university of informatics and radioelectronics.

Стануль А.А., начальник отдела разработки  
и производства аппаратных средств  
ООО «СКБ Радиотехпроект».

**Адрес для корреспонденции**

220013, Республика Беларусь,  
г. Минск, ул. П. Бровки, 6,  
Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники  
тел. +375-17-293-20-80;  
e-mail: piskunbsuir@gmail.com  
Пискун Геннадий Адамович

Stanul A.A., head of development and production  
hardware «SKB Radiotechproekt».

**Address for correspondence**

220013, Republic Of Belarus,  
Minsk, P.Brovki str., 6,  
Belarusian state university  
of informatics and radioelectronics  
tel. +375-17-293-20-80;  
e-mail: piskunbsuir@gmail.com  
Piskun Gennady Adamovich