

## КВАЗИШУМОВЫЕ РЕЖИМЫ РАБОТЫ ЖИГ-ГЕНЕРАТОРА В ИНТЕГРАЛЬНОМ ИСПОЛНЕНИИ

А.Л. Хвалин, А.А. Игнатьев, Л.С. Сотов  
(СГУ им. Н.Г. Чернышевского)

*Экспериментально исследованы режимы работы ЖИГ-генератора с комбинированным управлением (магнитным и электронным). Магнитное управление определяет центральную частоту генерации и реализовано с помощью внешнего постоянного магнитного поля, электронное формирует вид спектра сигнала и осуществляется путём подачи импульсного напряжения смещения на затворы транзисторов. Проанализированы типичные формы полученных спектров генерации.*

**Ключевые слова:** ферромагнитный резонанс, спектр сигнала, монохроматический сигнал, шумоподобный сигнал.

До начала XXI века единственным практически используемым носителем информации являлось синусоидальное колебание, методы модуляции которого совершенствовались (амплитудная, частотная, фазовая, относительная фазовая). В последнее время начал использоваться новый носитель информации в виде периодической последовательности импульсов с синусоидальным заполнением. Импульсная несущая породила ряд новых видов модуляции и привела к созданию принципиально новых систем связи.

Характерным примером таких систем являются многоканальные системы связи с временным уплотнением. Исследования в направлении совершенствования систем связи показали возможность использования ещё одного носителя информации – шумоподобного (квазишумового) сигнала [1, 2]. Предлагаемая статья посвящена вопросам создания управляемых шумоподобных генераторов на основе резонаторов из железиттриевого граната (ЖИГ).

ЖИГ-генераторы широко используются в технике СВЧ. На их основе возможно создание синтезаторов частот, генераторов качающейся частоты, генераторов сложных сигналов (шума, сеток частот) и пр.

Приведённые результаты исследований направлены на расширение возможностей ЖИГ-генераторов, традиционно используемых в монохроматическом режиме работы. Предложенный комбинированный подход к изменению их характеристик заключается в одновременном использовании магнитного и электронного управления.

Генератор состоит из блока усилителя на полевых транзисторах Шоттки ПТШ-900 и цепи обратной связи, в которую включён сферический ферритовый резонатор КГ30. Магнитное управление центральной частотой генерации достигается за счёт явления ферромагнитного резонанса в ферритовом резонаторе [3]. Для электронного управле-

ния на затворы транзисторов подаётся смещение от внешнего источника импульсов. Блок-схема построения ЖИГ-генератора представлена на рис. 1, блок-схема установки для исследования его режимов работы представлена на рис. 2.

Рабочий диапазон частот ЖИГ-генератора при управлении от внешнего магнитного поля для основной гармоники находится в пределах от 0,70 до 3,50 ГГц, выходная мощность составляет 1 мВт. Ширина спектра по уровню  $-3$  дБ составила 25 МГц. Крутизна перестройки центральной частоты от величины индукции магнитного поля 28 МГц/мТл.

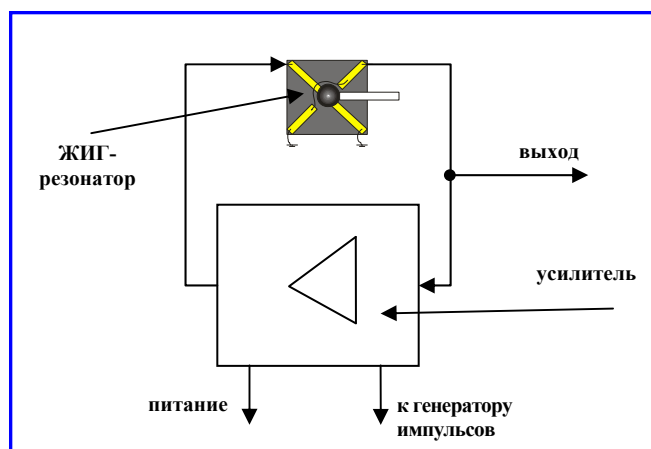


Рис. 1. Блок-схема ЖИГ-генератора

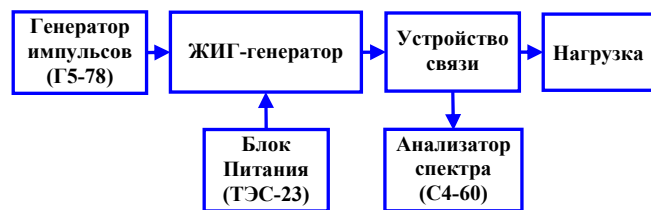
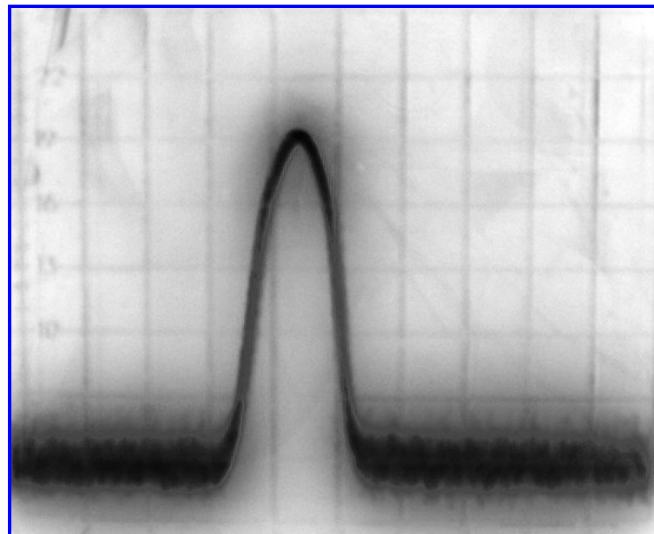
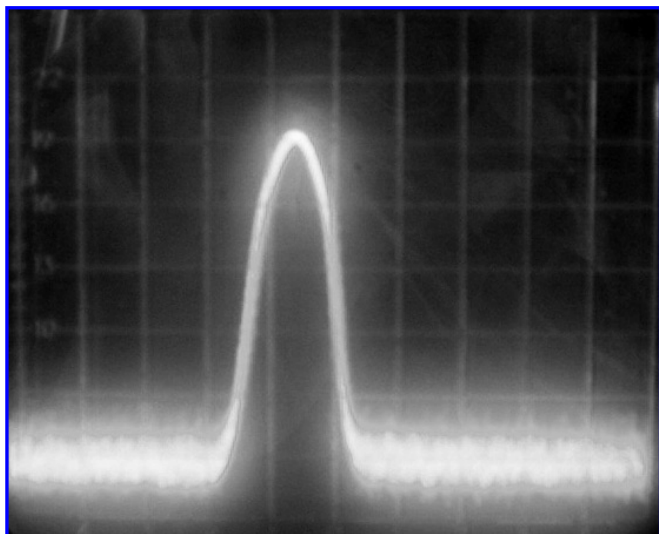
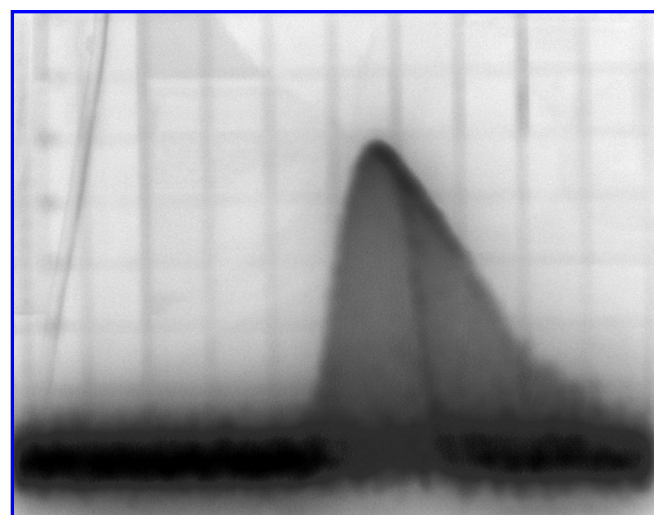
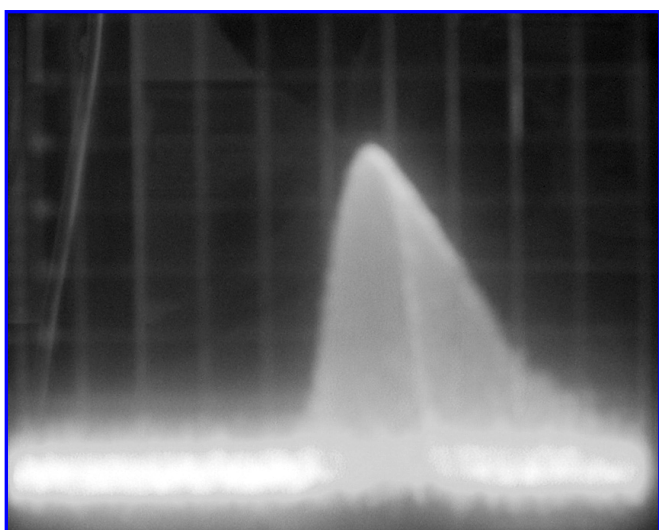


Рис. 2. Блок-схема измерения ширины спектра  $\Delta f_{-3\text{дБ}}$  по уровню  $-3$  дБ импульсного генератора



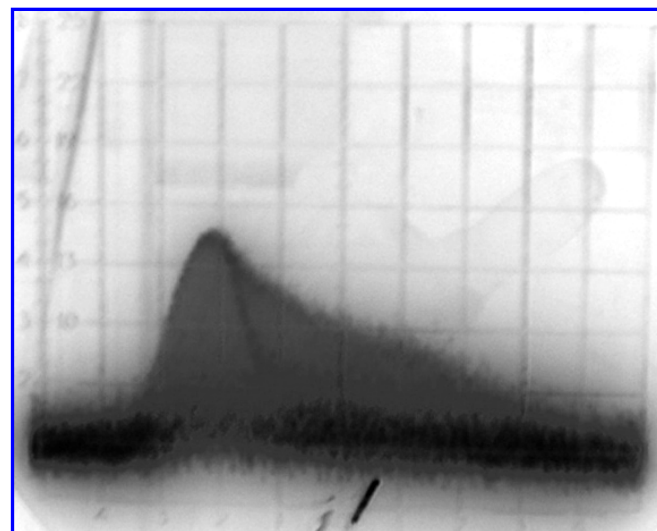
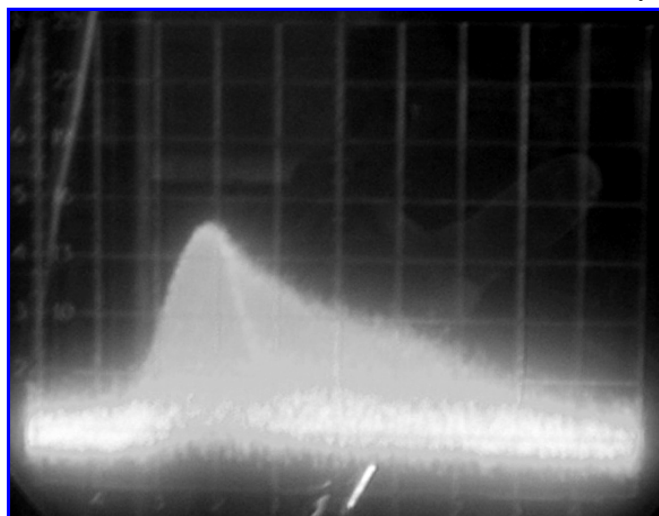
*(рисунок с инверсией цвета)*

Рис. 3. Спектр сигнала генератора при  $U_3 = 0$



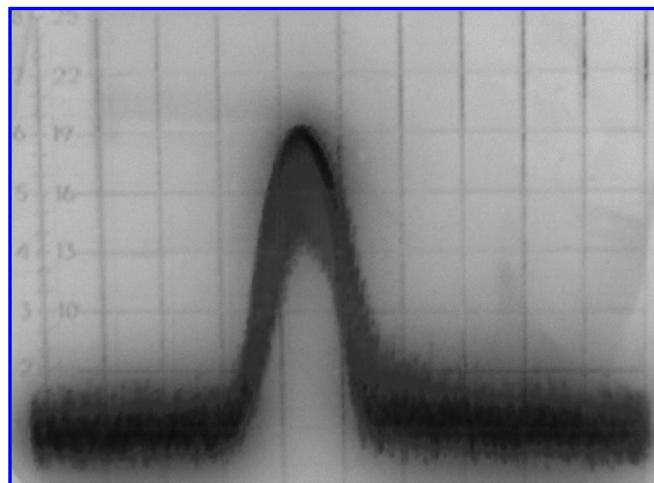
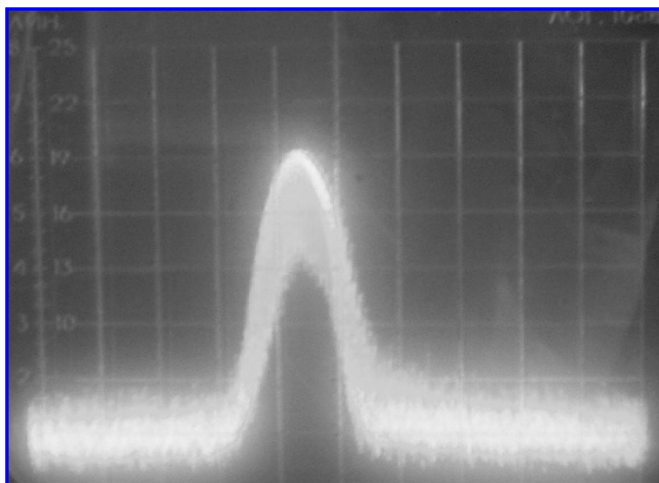
*(рисунок с инверсией цвета)*

Рис. 4. Характерный вид спектра шумоподобного сигнала при подаче импульсного смещения на затворы с амплитудой  $U_3 = -2$  В



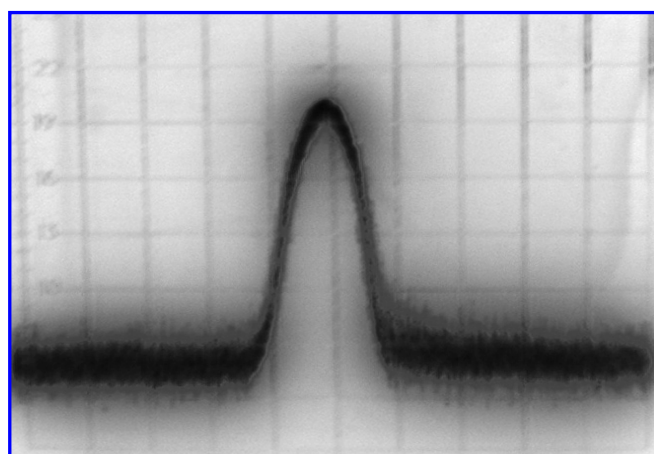
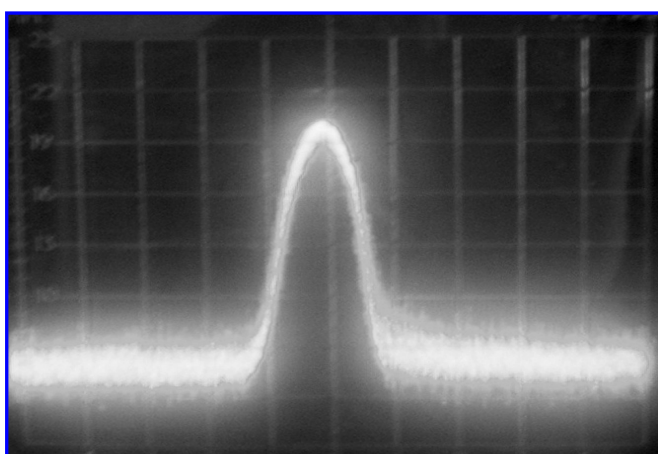
*(рисунок с инверсией цвета)*

Рис. 5. Спектр шумоподобного сигнала в импульсном режиме при амплитуде управляющих импульсов  $U_3 = -3$  В



(рисунок с инверсией цвета)

Рис. 6. Спектр сигнала с малой длительностью управляющих импульсов



(рисунок с инверсией цвета)

Рис. 7. Спектр сигнала при длительности импульса 10 мкс

Полученный экспериментально спектр основной гармоники сигнала исследуемого генератора с центральной частотой 1,039 ГГц показан на рис. 3 (при подаче на затворы транзисторов постоянного напряжения). Ширина спектра сигнала 250 кГц при токе 70 мА и постоянном смещении  $U_c = +5$  В (напряжение стока). В табл. 1 показаны изменения центральной частоты генерации и ширины спектра при вариации величины индукции внешнего магнитного поля в режиме регулярного сигнала и при  $U_3 = 0$  В (напряжение затвора). Приведенные данные являются обобщением экспериментальных исследований.

Спектр сигнала представляет собой набор из пяти гармонических составляющих (табл. 2). Представлены два режима генерации: 1) при частоте ферромагнитного резонанса 1,6 ГГц; 2) при частоте ферромагнитного резонанса 3,44 ГГц.

Таблица 1

Параметры генерации в режиме регулярного монохроматического сигнала при  $U_3 = 0$  В

Индукция магнитного поля, мТл	Ширина спектра $\Delta f_{-3\text{дБ}}$ (полоса пропускания) по уровню $-3$ дБ, кГц	Центральная частота, ГГц
20,0	50	0,795
22,0	50	0,882
24,0	50	0,997
25,0	60	1,124
26,0	60	1,147

Проведены исследования генерации в диапазоне частот от 1,0 до 10 ГГц. При этом спектр сигнала ЖИГ-генератора содержит пять гармоник.

Таблица 2

**Спектральные составляющие сигнала**

Режим 1		Режим 2	
№ гармоники	$f$ , ГГц	№ гармоники	$f$ , ГГц
1	1,60	1	3,44
2	3,30	2	6,83
3	5,03	3	9,80
4	6,71	–	–
5	8,28	–	–

Таблица 3

**Характеристики импульсной генерации при различных параметрах последовательности управляющих импульсов**

Индукция магнитного поля, мТл	Ширина спектра (полоса пропускания), $\Delta f_{-3дБ}$ , кГц	Центральная частота, ГГц
<b><math>U_3 = 2 \text{ В}, T = 460 \text{ мкс}, \tau = 200 \text{ мкс}</math></b>		
20,0	70	0,897
23,0	70	1,047
25,0	70	1,121
<b><math>U_3 = -3 \text{ В}, T = 460 \text{ мкс}, \tau = 200 \text{ мкс}</math></b>		
20,0	70	0,900
23,0	70	1,057
25,0	70	1,122
<b><math>U_3 = -2 \text{ В}, T = 600 \text{ мкс}, \tau = 200 \text{ мкс}</math></b>		
20,0	100	0,900
23,0	100	1,029
25,0	100	1,126

При подаче импульсного сигнала на затворы транзисторов спектр сигнала основной гармоники размывается. Типичный вид спектра такого сигнала показан на рис. 4. Амплитуда прямоугольных импульсов, поступающих с генератора управляющих импульсов  $U_3 = -2\text{В}$ , период повторения  $T = 400 \text{ мкс}$ , длительность импульса  $\tau = 200 \text{ мкс}$ . Центральная частота генерации равна 1,041 ГГц, ширина полученного спектра  $\Delta f_{-3дБ} = 1200 \text{ кГц}$ . Потребляемый ток 30 мА. Визуально спектр состоит из множества узких со-

ставляющих, хаотично появляющихся около центральной частоты спектра, и является шумоподобным. При увеличении амплитуды управляющих импульсов ширина спектра увеличивается. На рис. 5 приведен спектр шумоподобного сигнала при амплитуде управляющих импульсов  $U_3 = -3\text{В}$ . Период повторения  $T$  и длительность импульса  $\tau$  в этом исследовании остаются прежними. Ширина спектра  $\Delta f_{-3дБ} = 1600 \text{ кГц}$ , центральная частота – 1,041 ГГц. Потребляемый ток равен 30 мА. Спектр сигнала основной гармоники представлял собой зашумлённую эквидистантную сетку частот с эквидистантностью 20 кГц. При уменьшении периода повторения последовательности импульсов до 100 мкс увеличивается число узких составляющих спектра, а при уменьшении длительности до 50 мкс – уменьшается ширина этих составляющих. На рис. 6 представлена осциллограмма спектра сигнала генератора при длительности управляющих импульсов 50 мкс. На рис. 7 показано, что при дальнейшем уменьшении длительности управляющих импульсов до 10 мкс спектр сигнала приближается к спектру монохроматического сигнала. В табл. 3 представлена зависимость ширины спектра сигнала по уровню  $-3 \text{ дБ}$  на выходе ЖИГ-генератора от индукции внешнего магнитного поля в импульсном режиме при различных параметрах управляющих импульсов на затворе (при  $U_{31} = U_{32} = -2 \text{ В}$ ). С генератора импульсов на затворы транзисторов подавался управляющий сигнал с параметрами, указанными в табл. 3. Результаты исследований показывают, что при подаче импульсного напряжения на затворы транзисторов усилительного блока генератора происходит амплитудная шумоподобная модуляция, которая приводит к расширению полосы генерируемого сигнала в пределах от 70 до 100 кГц. Испытания проводились в диапазоне частот от 0,750 до 1,150 ГГц. При малом внешнем магнитном поле наблюдается квазишумовой сигнал при частоте 0,795 ГГц, при этом максимальная ширина спектра шумоподобного сигнала составила 0,10 МГц. Проведены экспериментальные исследования генераторных режимов ЖИГ-генератора в УВЧ- и СВЧ-диапазонах частот от 1,0 до 10,0 ГГц. Показано, что для ЖИГ-генератора на полевых транзисторах ПТШ-900 могут быть получены генераторные импульсные режимы в диапазоне частот от 0,750 до 1,150 ГГц для регулярных и квазишумовых сигналов с шириной спектра от 60 кГц до 0,10 МГц по уровню  $-3 \text{ дБ}$ . Получена генерация



сигнала в виде зашумлённой эквидистантной сетки частот с эквидистантностью 0,2 МГц. Представленные результаты показывают принципиальную возможность формирования управляемых шумоподобных режимов работы ЖИГ-генераторов для их использования в современных средствах связи (компьютерные сети, модемы, мобильная связь и пр.).

### **Литература**

1. Петрович Н. Т. Системы связи с шумоподобными сигналами / Н. Т. Петрович, М. К. Размахнин. – М.: Советское радио, 1969. – 232 с.
2. Гантмахер В.Е. Шумоподобные сигналы. Анализ, синтез, обработка / В.Е. Гантмахер, Н.Е. Быстров, Д.В. Чеботарев – СПб.: Наука и техника, 2005. – 400 с.
3. Гуревич А.Г. Магнитные колебания и волны / А.Г. Гуревич, Г.А. Мелхов.– М.: Наука Изд. фирма "Физ.-мат. лит." 1994. – 461 с.

*Поступила в редакцию 02.10.2009*

*Александр Львович Хвалин, канд. техн. наук, доцент, т. 8-905-321-55-02, e-mail: Khvalin63@mail.ru.*

*Александр Анатольевич Игнатъев, д-р физ.-мат. наук, профессор, т. (845-2)34-08-70.*

*Леонид Сергеевич Сотов, доцент, т. (8452)210711, e-mail: slskit@mail.ru.*