

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники

УДК \_\_\_\_\_

Хоружий  
Артем Степанович

Шумовые излучения синхронизированного  
генератора непрерывного режима

### **АВТОРЕФЕРАТ**

на соискание степени магистра технических наук

по специальности 1-39 80 02 «Радиотехника, в том числе системы и  
устройства радионавигации, радиолокации и телевидения»

---

Научный руководитель:  
Ползунов Владимир Васильевич  
Кандидат технических наук, доцент

---

Минск 2019

## ВВЕДЕНИЕ

Наряду с усилительными приборами широкое использование в радиотехнических системах, особенно в СВЧ диапазоне, находят автогенераторы в режиме внешней синхронизации. Современное развитие элементной базы, усложнение электромагнитной обстановки в зоне действия РТС, непрерывно возрастающие требования к спектру выходного сигнала, а также развитие систем с фазированными антенными решетками (ФАР) существенно повысило интерес к проблемам синхронизации автогенераторов внешним сигналом.

В настоящее время в радиолокации, радионавигации и телеметрии используются когерентные методы обработки сигналов. При этом к параметрам передающих устройств предъявляются ряд новых специфических требований, важнейшими из которых являются высокая стабильность частоты и малый уровень побочных излучений. Реализация этих требований возможна только при многокаскадном построении передающих устройств, где возможно разделение функций стабилизации частоты, поддержания когерентности колебаний гетеродина, модуляции и усиления мощности между различными каскадами. Так высокостабильные колебания на частоте гетеродина могут генерироваться маломощным возбудителем, а необходимый уровень выходной мощности обеспечиваться последующими усилительными каскадами.

При значительных мощностях и невысоких требованиях к полосе пропускания усилительного тракта в его выходных и преодоконечных каскадах могут применяться магнетронные генераторы в режиме внешней синхронизации. Режим внешней синхронизации, позволяющий использовать в РТС широкий класс автогенераторов СВЧ в качестве усилительной мощности, в ряде случаев обеспечивает повышение мощности, стабильности частоты и уменьшение уровней побочных и паразитных колебаний выходного сигнала, а также существенное уменьшение стоимости и сроков разработки радиотехнических систем и предоставляет определенный практический интерес.

Целью работы является теоретических анализ и экспериментальные исследования магнетронного генератора с дополнительной обратной связью в режиме внешней синхронизации, а также разработка схемотехнических решений для повышения эффективности его использования.

В соответствии с поставленной целью необходимо решить задачу исследования влияния цепи ДОС на шумовые характеристики СГ.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

При анализе флуктуаций модуляционного происхождения можно принимать во внимание только тот участок спектра шумов, которые совпадает с рассматриваемым участком спектра флуктуаций. В анализе будем полагать, что источником шума являются флуктуации постоянного тока  $I_0$ . Под их воздействием будут флуктуировать  $I_H$ ,  $U$  и  $\Theta$ . Из анализа выражений (1.11) и (1.13) видно, что флуктуации амплитуды в отличие от флуктуаций частоты практически не зависят от добротности, а следовательно, и от параметров цепи ДОС. Теоретически показано, что вариации фазы в цепи ДОС приводят к значительным изменениям флуктуаций частоты автогенераторов и практически не влияют на флуктуации амплитуды.

Решение флуктуационных уравнений позволяет определить уровни флуктуаций частоты и амплитуды в зависимости от характеристик исследуемого прибора, параметров синхронизирующего сигнала и параметров цепи ДОС при заданных вероятностных характеристиках случайной функции  $I_{ш}(t)$ .

Были выведены выражения (2.20) и (2.21) позволяют по известным статистическим характеристикам воздействующих шумов, параметров генератора и цепи ДОС рассчитать относительные уровни флуктуаций амплитуды и частоты генератора при синхронизации его монохроматическим (не шумящим) сигналом.

Исходя из выведенных выражений и построенных графиков можно сделать следующие выводы. Синхронизация генераторов непрерывного режима более стабильным сигналом позволяет в низкочастотной области уменьшить флуктуации частоты на выходе СГ до флуктуаций частоты задающего генератора. Использование цепи ДОС при определенной фазе позволяет в несколько раз увеличить область частот, в которой флуктуации частоты на выходе СГ соответствуют флуктуациям частоты задающего генератора.

Для проверки теоретических соотношений была проведена экспериментальная проверка. Применение высокочастотного осциллографа типа С1-70, подключенного к фазовому детектору, позволяло визуально оценивать время установления стационарной фазы выходного сигнала импульсного генератора. Были построены зависимости, соответствующие экспериментальным исследованиям.

Исследование влияния цепи дополнительной обратной связи на флуктуационные характеристики синхронизированных генераторов непрерывного режима работы показало, что цепь ДОС при  $\Psi_H = 180^\circ$  позволяет уменьшать флуктуации разности фаз в СГ, а следовательно, и минимально возможные флуктуации частоты на выходе синхронизированного генератора. Причем уменьшение флуктуаций разности фаз в СГ непрерывного режима происходит за счет увеличения коэффициента подавления флуктуаций частоты автогенератора  $S_2$ . Минимально возможные флуктуации частоты на выходе СГ определяются флуктуациями разности фаз в самом генераторе.

## КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В работе теоретически показано, что вариации фазы в цепи ДОС приводят к значительным изменениям флуктуаций частоты автогенераторов и практически не влияют на флуктуации амплитуды. Получено выражение для расчета относительных изменений флуктуаций частоты генераторов от фазы в цепи ДОС и установлено, что цепь ДОС позволяет при определенной фазе ( $\Psi = 0^\circ$ ) уменьшить уровни шумовых излучений генератора на 4-6 дБ и тем самым улучшить ЭМС РЭС. Сравнение расчетных зависимостей и экспериментальных данных показало их хорошее качественное и количественное соответствие.

В работе рассматривается случай сравнительно слабого внешнего сигнала и малых шумов, что соответствует работе СГ в режиме усиления внешнего колебания и представляет наибольший интерес. В этом случае для описания флуктуационных свойств синхронизированного генератора можно воспользоваться известными результатами теории шумов квазилинейных (томсоновых) колебательных систем.

Синхронизация генераторов непрерывного режима более стабильным сигналом позволяет в низкочастотной области уменьшить флуктуации частоты на выходе СГ до флуктуаций частоты задающего генератора. Использование цепи ДОС при определенной фазе позволяет в несколько раз увеличить область частот, в которой флуктуации частоты на выходе СГ соответствуют флуктуациям частоты задающего генератора.

Исследование влияния цепи дополнительной обратной связи на флуктуационные характеристики синхронизированных генераторов непрерывного и импульсного режимов работы показало, что цепь ДОС при  $\Psi_H = 180^\circ$  позволяет уменьшать флуктуации разности фаз в СГ, а следовательно, и минимально возможные флуктуации частоты на выходе синхронизированного генератора. Однако уменьшение флуктуаций разности фаз в СГ непрерывного режима происходит за счет увеличения коэффициента подавления флуктуаций частоты автогенератора ( $S_2$ ), а в импульсном СГ за счет уменьшения времени установления стационарной фазы и в некоторых пределах не зависит от флуктуаций частоты автогенератора и флуктуаций частоты возбудителя. Минимально возможные флуктуации частоты на выходе СГ определяются флуктуациями разности фаз в самом генераторе.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По данным, опубликованным в отечественной и зарубежной литературе, установлено, что, хотя режим синхронизации автогенераторов внешним сигналом известен давно, ряд аспектов этого явления изучены еще явно недостаточно. Особенно это касается вопросов использования цепи ДОС в синхронизированных генераторах, влияния запаздывания сигнала в цепи ДОС на основные характеристики и шумовые излучения СГ с ДОС, а также влияния преднамеренных помех на СГ с ДОС.

Путем анализа укороченных дифференциальных уравнений СГ проведено исследование влияния цепи ДОС на шумовые излучения генератора непрерывного режима в доплеровском диапазоне частот.

Получены выражения для расчета спектральных плотностей мощности флуктуаций амплитуды и частоты на выходе СГ, которые показывают, что в середине полосы синхронизации цепь ДОС на флуктуации амплитуды практически не влияет, а при отстройке частоты синхронизирующего колебания относительно частоты автогенерации и  $\Psi_H = 180^\circ$  увеличивается диапазон частот, где наблюдается превышение уровня флуктуаций амплитуды СГ над флуктуациями амплитуды автогенератора, а при  $\Psi_H = 0^\circ$  этот диапазон уменьшается.

Флуктуации частоты на выходе СГ в низкочастотной области соответствуют флуктуациям частоты синхронизирующего колебания, причем этот частотный диапазон увеличивается при  $\Psi_H = 180^\circ$  и уменьшается при  $\Psi_H = 0^\circ$ .

Показано, что минимально возможные флуктуации частоты на выход СГ зависят от параметров автогенератора ( $Q_{\text{вн}}, W_{\text{far}}$ ), параметров синхронизируемого колебания ( $P_c, W_c$ ) и определяются флуктуациями разности фаз между входным и выходным колебаниями синхронизируемого генератора.

## **Список опубликованных работ**

Влияние цены дополнительной обратной связи на шумовые характеристики СВЧ генератора. 55-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов, БГУИР, 2019.