

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

УДК \_\_\_\_\_

Куцко  
Дмитрий Игоревич

Автоматическая подстройка фазы в синхронизированных генераторах  
с дополнительной обратной связью

Автореферат  
на соискание степени магистра технических наук

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

---

Научный руководитель:  
Ползунов Владимир Васильевич  
к.т.н, доцент

---

Минск 2019

## ВВЕДЕНИЕ

Наряду с усилительными приборами широкое использование в радиотехнических системах, особенно в СВЧ диапазоне, находят автогенераторы в режиме внешней синхронизации.

Несмотря на то, что синхронизация генераторов внешним воздействием известна давно, в настоящее время к этому явлению проявляется повышенный интерес, как в теоретическом, так и в прикладном аспекте. Особенно это относится к генераторам с внешней дополнительной обратной связью (ДОС). Однако в известной литературе по синхронизации генераторов частота автогенерации синхронизируемого генератора с ДОС полагалась неизменной в полосе синхронизации, хотя известно, что частота автогенерации генератора с ДОС зависит от фазы в цепи ДОС, причем это зависимость носит периодический характер. Фаза же в цепи дополнительной обратной связи при синхронизации генераторов с ДОС в полосе синхронизации не будет оставаться постоянной, а будет зависеть от частоты синхронизирующего колебания. Причем изменение фазы в цепи ДОС будет тем больше, чем больше длина цепи дополнительно обратной связи (запаздывание сигнала в цепи ДОС). Запаздывание сигнала в цепи ДОС может быть весьма большим и составлять десятки периодов, однако в стационарном режиме, вследствие периодической зависимости частоты автогенерации от фазы в цепи ДОС, можно ограничиться рассмотрением случая малого запаздывания, не превышающего одного периода колебания. Непостоянство фазы в цепи ДОС в полосе синхронизации будет приводить к изменению частоты автогенерации. Причем изменение частоты автогенерации в зависимости от начальных условий может происходить либо согласно изменению частоты синхронизирующего сигнала, либо в противоположную сторону, что должно сказываться в свою очередь на амплитудно и фазочастотных характеристиках и полосе синхронизации генератора с ДОС. Непостоянство автогенерации в полосе синхронизации за счет запаздывания сигнала в цепи ДОС в известной литературе не рассматривалось. В следствии этого расчетный выигрыш в полной полосе синхронизации за счет цепи ДОС оказывался, как правило, ниже, чем экспериментально наблюдаемый, особенно при значительных ( $P_{ос} = 0,1 P_0$ ) мощностях в цепи ДОС

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

В работе рассматривались различные синхронизированные генераторы с дополнительной обратной связью, проводился анализ работы генератора с дополнительной обратной связью под внешним воздействием. Произведен выбор математической модели.

В ходе работы было проведено теоретическое и экспериментальное исследование автоматической подстройки фазы синхронизированного генератора с дополнительной обратной связью. Были получены выражения для расчета фазочастотных характеристик синхронизированного генератора с дополнительной обратной связью и синхронизированного генератора с дополнительной обратной связью и автоматической подстройкой фазы. Приведено описание экспериментальной установки и методики измерений характеристик синхронизированного генератора с дополнительной обратной связью. Полученные результаты представлены в виде графиков и сравнительной характеристики.

## КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во многих областях техники исключительно важную роль играют генераторы прецизионных колебаний, обладающие эталонными свойствами частоты и фазы.

Одним из способов создания достаточно мощных генераторов прецизионных колебаний является использование внешнего воздействия эталонного сигнала относительно малой мощности на достаточно мощный, но сам по себе не прецизионный автогенератор. В этом случае частота синхронизируемого генератора оказывается равной частоте внешнего сигнала (режим полного захвата частоты). Такая синхронизация может существовать не только при неизменных во времени частоте (фазе) внешнего сигнала, но сохраняется в пределах полосы синхронизации при вариациях параметров внешнего сигнала (амплитуды, частоты, фазы), питающих напряжений синхронизируемого генератора, температуры и других дестабилизирующих факторов. Воздействие дестабилизирующих факторов вызывает нестабильность фазового набега в СГ, которая, в свою очередь, обуславливает нарушение когерентности и увеличение уровня флуктуаций частоты на выходе СГ.

Для уменьшения влияния дестабилизирующих факторов на эталонные свойства частоты и фазы применяются системы автоматической подстройки фазы (АПФ) в синхронизируемых генераторах. В работе рассматриваются различные варианты систем АПФ в СГ, в частности, схема стабилизации фазы регенеративного усилителя на отражательном клистроне, в которой сигнал ошибки с выхода фазового детектора подается на управляющий электрод клистрона (отражатель). Такая схема может быть также реализована и на других типах автогенераторов СВЧ, синхронизированных внешним генератором, имеющих специальный управитель частоты, например, варикап. В этих схемах АПФ автогенератор выполняет функции фазового модулятора. Однако, применение самого активного прибора в качестве фазового модулятора не всегда возможно, так как не все СВЧ генераторы имеют устройства управления частоты, а использование питающих напряжений для этой цели не целесообразно с точки зрения энергетике и стабильности выходной мощности генератора. Электрически управляемый фазовращатель, установленный в цепи ДЭС, позволяет создать эффективную систему АПФ в СГ. При этом электрически управляемый фазовращатель работает в тракте, где мощность на 10...20 дБ ниже, чем мощность самого автогенератора.

В работе получены выражения для расчета фазочастотных характеристик синхронизированного генератора с дополнительной обратной связью и синхронизированного генератора с дополнительной обратной связью и автоматической подстройкой фазы.

При выводе теоретических соотношений использовался ряд упрощающих анализ допущений. Для проверки обоснованности принятых допущений и справедливости полученных теоретических соотношений провели экспериментальные исследования, которые позволили судить о достоверности полученных теоретических выражений.

В качестве объектов исследований были выбраны промышленные магнетронные генераторы трехсантиметрового диапазона непрерывного режима типа М-857 с закороченным реактивным выводом энергии, позволяющим в широких пределах (до 1,5% )изменять собственную частоту автоколебаний.

При проведении измерений для генератора без ДЗОС устанавливался паспортный режим работы, т.е. номинальное напряжение канала и номинальное значение анодного тока. Все измерительные приборы подготавливались и прогревались в соответствии с инструкциями по их эксплуатации. Для уменьшения влияния тепловых уходов частоты на точность измерений генератор прогревался в номинальном режиме в течении 30 минут. Экспериментальные зависимости снимались в статическом режиме при таких же исходных данных, какие были использованы при расчете, а в качестве усилителя использовался промышленный усилитель постоянного тока типа У 5-9 с коэффициентом усиления . На рисунке 3.2.2 приведены фазочастотные характеристики СГ, рассчитанные по (2.11) (сплошные линии) для простого генератора с ДОС и генератора с ДОС и АПФ.

Сравнение расчетных зависимостей с экспериментальными показало их хорошее соответствие

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе эквивалентной схемы, справедливой для любого СВЧ генератора резонансного типа, в работе проведен анализ работы генератора с дополнительной обратной связью, находящегося под внешним воздействием синхронизирующего сигнала. При этом получены следующие результаты:

получены укороченные дифференциальные уравнения синхронизированного генератора с дополнительной обратной связью на основе которых проведен анализ стационарного состояния СГ с ДОС;;

получены соотношения для расчета фаз частотных характеристик и полосы синхронизации с учётом влияния цепи ДОС;

показано, что дополнительная обратная связь в СГ позволяет создавать эффективную систему автоматической подстройки фазы за счет изменения частоты генерации синхронизируемого автогенератора. При этом полоса синхронизации увеличивается в несколько раз по сравнению с генератором без АПФ, а требования к электронному фазовращателю упрощаются по сравнению с традиционными системами АПФ, так как он работает при мощностях на 10...20 дБ ниже выходной мощности генератора. Учет запаздывания в цепи ДОС позволяет повысить точность теоретических расчетов. Полоса синхронизации генератора с АПФ увеличивается в несколько раз по сравнению с простой цепью ДОС, а полная полоса синхронизации генератора с ДОС и АПФ может быть увеличена на порядок.

проведена экспериментальная проверка полученных теоретических выводов. Расхождение между расчётными и экспериментальными результатами не превышает 10%.

Так как теоретический анализ выполнен на основе эквивалентной схемы, справедливой для любого СВЧ генератора резонансного типа, с помощью строгих математических методов, то полученные результаты по улучшению ФЧХ будут также достоверными не только для генераторов М-типа, но и для других типов автогенераторов СВЧ, таких как автогенераторы на ЛПД и диодах Ганна, клистронов и прочих, работающих в различных радиотехнических системах в качестве конечных каскадов передатчиков СВЧ сантиметрового и миллиметрового диапазона волн.

## СПИСОК СОБСТВЕННЫХ ПУБЛИКАЦИЙ

[А-1] Куцко Д.И. Анализ работы генератора с дополнительной обратной связью./ Д.И. Куцко, В.В. Полузнов //55-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР, 2019г.

[А-2] Куцко Д.И. Экспериментальное исследование автоматической подстройки фазы синхронизированного генератора с дополнительной обратной связью Д.И. Куцко, Н.А. Тарабаш, В.В. Полузнов //55-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР, 2019г.