

УТВЕРЖДАЮ

И.о. проректора по научной и
инновационной деятельности

ФГБОУ ВО «Омский
государственный технический
университет» (ОмГТУ)

К.и.н. доцент

/Полынский А.С./

2020 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Омский государственный технический университет» (ОмГТУ) на диссертационную работу Литовченко Владимира Анатольевича «Совершенствование методов и средств имитационного моделирования усилителей и автогенераторов СВЧ и измерения S -параметров их активного компонента», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.07 – «Антенны, СВЧ устройства и их технологии».

Общая характеристика работы. Работа посвящена усовершенствованию методов и прецизионных средств, обеспечивающих имитационное моделирование усилителей и автогенераторов сверхвысоких частот (СВЧ).

А так же, адекватное и точное измерение S -параметров активного компонента (АК) имитируемых устройств для их последующего проектирования и производства.

Адекватное измерение S -параметров это их измерение при заданных эксплуатационных характеристиках АК, выбранных из условия удовлетворения технических характеристик имитируемого имитатором-анализатором (ИА) устройства техническому заданию (ТЗ) на его последующее проектирование.

Адекватное и одновременно точное измерение S -параметров АК повышает эффективность систем автоматизированного проектирования (САПР) усилителей и автогенераторов и, следовательно, экономическую эффективность их производства, поскольку способствует сокращению цикла опытно-конструкторских работ этих устройств за счет исключения необходимости многократной технологической коррекции их опытного образца.

Актуальность темы

В настоящее время проектирование микрополосковых усилителей и автогенераторов СВЧ, которые повсеместно применяются в наземных и спутниковых системах телевидения и связи, системах радиолокации и радионавигации, осуществляют в пространстве рассчитанных S -параметров АК этих устройств, например, полоскового транзистора. Не достаточно высокая точность расчета S -параметров АК, обусловленная физическими ограничениями его математического моделирования, приводит к снижению

эффективности САПР и, следовательно, к снижению экономической эффективности производства усилителей и автогенераторов, поскольку удлиняет цикл ОКР этих устройств за счет необходимости многократной технологической коррекции их опытного образца.

Попытки применения современных векторных анализаторов СВЧ-цепей (ВАЦ) для измерения S -параметров АК, например, транзисторов оказались бесперспективными. Это обусловлено тем, что эти измерительные системы не обеспечивают имитационное моделирование усилителей и автогенераторов СВЧ и, следовательно, последующее адекватное измерение S -параметров их АК. Это не позволяет повысить эффективность САПР. Кроме того, стоимость современных ВАЦ может превышать сотни тысяч долларов.

В диссертационной работе предложен лабораторный ИА, обеспечивающий имитационное моделирование усилителей и автогенераторов СВЧ и последующее адекватное и точное измерение $S = f(\Gamma_i, \Gamma_{nj}, T_{ij})$ - параметров их АК. ИА построен на базе отечественных не дорогих серийных измерительных приборов.

Для обеспечения работоспособности ИА был усовершенствован метод адекватного косвенного измерения $S = f(U_{pi}, P_{вх}, f, \Gamma_i, \Gamma_{2m}, \Gamma'_{2m}, \Gamma_{nj}, T_{ij})$ - параметров АК, где $\Gamma_i, \Gamma_{2m}, \Gamma'_{2m}, \Gamma_i$ и T_{ij} – непосредственно измеряемые комплексные коэффициенты отражения и передачи (ККО и ККП) АК и Γ_{nj} – его непосредственно измеряемые нагрузочные ККО.

Также, была разработана вариационная методика, обеспечивающая выбор оптимальных метрологических характеристик ИА при которых предельная погрешность измерения ККО $\Gamma_i, \Gamma_{2m}, \Gamma'_{2m}, \Gamma_{nj}$ и ККП T_{ij} не превышает предела допуска $\Delta_{\Gamma, T} \leq [\Delta_{\Gamma, T}]$, что способствует повышению точности измерения S -параметров.

Кроме того, предложено усовершенствованное коаксиальное контактное устройство (ККУ), которое посредством дополнительной калибровки ИА расчетным согласованным микрополосковым калибратором обеспечивает возможность передачи результатов измерения S - параметров АК из коаксиального измерительного тракта ИА в микрополосковый тракт, для включения в который предназначен этот АК. Конструктивные решения по усовершенствованию ККУ позволяют дополнительно повысить точность и расширить частотный диапазон измерения S - параметров.

Для обеспечения возможности автоматизации процедуры имитационного моделирования, усилителей и автогенераторов предложен способ калибровки перестраиваемых согласующих трансформаторов (ПСТ), задающих нагрузочные ККО Γ_{nj} АК при имитационном моделировании усилителей и автогенераторов, а также методика анализа устойчивости их АК, что существенно облегчает выбор его нагрузочных ККО Γ_{nj} при имитационном моделировании усилителей и автогенераторов.

Таким образом, диссертационная работа, посвященная усовершенствованию методов и прецизионных средств, обеспечивающих

имитационное моделирование усилителей и автогенераторов СВЧ, а также адекватному и точному измерению $S = f(U_{\text{пн}}, P_{\text{вх}}, f, \Gamma_i, \Gamma_{2m}, \Gamma'_{2m}, \Gamma_{\text{нж}}, T_{ij})$ - параметров их АК, актуальна.

Новизна научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

1. Впервые предложена и реализована на ИА процедура имитационного моделирования усилителей и автогенераторов СВЧ с оптимизацией этих имитируемых устройств на соответствие их технических характеристик ТЗ, а также предложены новые конструктивные решения по построению ИА, обеспечивающие снижение погрешности измерения S - параметров АК при имитационном моделировании усилителей и автогенераторов СВЧ.

2. Предложен и реализован усовершенствованный метод адекватного измерения S -параметров, который впервые в аналитическом виде устанавливает связь вида $S = f(U_{\text{пн}}, P_{\text{вх}}, f, \Gamma_i, \Gamma_{2m}, \Gamma'_{2m}, \Gamma_{\text{нж}}, T_{ij})$.

3. Впервые предложен и реализован способ калибровки ИА, обеспечивающий передачу результатов измерения S -параметров АК из коаксиального тракта ИА в микрополосковый тракт, что распространяет действие Государственной системы обеспечения единства измерений (ГСИ) на микрополосковый тракт.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов, заключений

Достоверность научных положений, выносимых на защиту, подтверждена тем, что усовершенствованные методы и средства имитационного моделирования усилителей и автогенераторов СВЧ и измерения S -параметров их АК обеспечивают повышение экономической эффективности САПР и производства усилителей и автогенераторов СВЧ. Что достигнуто за счет исключения необходимости многократной технологической коррекции их опытного образца.

Значимость результатов для науки и практики

1. Адекватное и точное измерение S -параметров АК способствует повышению экономической эффективности САПР и производства усилителей и автогенераторов СВЧ за счет исключения необходимости многократной технологической коррекции их опытного образца.

2. Возможность передачи результатов измерения S -параметров АК из коаксиального тракта ИА в микрополосковый тракт, что исключает необходимость разработки дорогостоящей ГСИ в микрополосковом тракте.

Содержание диссертации

Структура диссертации является общепринятой, отдельные ее части логически связаны, она оформлена в соответствии с требованиями ВАК Минобрнауки РФ. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения с основными результатами и выводами по работе и библиографического списка, а также приложения.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, поставлена цель и сформулированы задачи исследований, определена научная новизна,

практическая ценность и значимость полученных результатов, выделены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе рассмотрен принцип построения различных классов амплитудных анализаторов СВЧ-цепей (АЦ). Рассмотрены их преимущества в сравнении с векторными АЦ. Для амплитудных АЦ приведено уравнение преобразования мощностей $P_k; k=1, 2, 3$ стоячей волны в измеренные ККО $\Gamma = f(P_k; k=1, 2, 3)$ в пространстве D - матриц. Показано, что оптимальную структуру имеет двухсигнальный ИА, выбранный за прототип построения ИА.

Во второй главе рассмотрена упрощенная структурная схема ИА, и усовершенствованная конструкция его измерительного преобразователя (ИП). Установлена аналитическая связь $\Gamma_i, \Gamma_{nj}, T_{ij} = f(P_k; k=1, 2, 3)$ регистрируемых мощностей $P_k; k=1, 2, 3$ с измеряемыми ККО Γ_i, Γ_{nj} и ККП T_{ij} в гомодинном и двухсигнальном режимах работы ИА. Рассмотрены метод анализа устойчивости АК и усовершенствованный метод адекватного измерения $S = f(\Gamma_i, \Gamma_{nj}, T_{ij})$ - параметров этого прибора. Предложен способ калибровки ИА стандартными коаксиальными мерами и его дополнительной калибровки расчетным микрополосковым согласованным калибратором, обеспечивающих передачу результатов измерения ККО Γ_i, Γ_{nj} и S - параметров АК из коаксиальных измерительных каналов ИА в микрополосковый тракт. Кроме того, предложен способ калибровки ПСТ, обеспечивающий автоматизацию имитационного моделирования усилителей и автогенераторов СВЧ, а также рассмотрены различные режимы работы ИА.

В третьей главе рассмотрены методы амплитудной и фазовой адаптации ИА к измеряемым ККО Γ_i, Γ_{nj} и ККП T_{ij} в широком динамическом и частотном диапазонах их измерения. Также, разработана вариационная методика, обеспечивающая выбор оптимальных метрологических характеристик ИА при которых предельная погрешность измерения ККО Γ_i, Γ_{nj} и ККП T_{ij} не превышает предела допуска $\Delta_{\Gamma, T} \leq [\Delta_{\Gamma, T}]$. Тем самым способствуя повышению точности измерения $S = f(\Gamma_i, \Gamma_{nj}, T_{ij})$ - параметров. В частности, динамический диапазон $0 \leq \Delta \leq \infty$ измерения ККО Γ_i, Γ_{nj} и ККП T_{ij} был разбит на $Q=5$ поддиапазонов с $\Delta_{\min} \leq \Delta \leq \Delta_{\max}$ и определен оптимальный сдвиг $\theta_0 = 2\pi/3$ стоячей волны, где $\Delta_{\min, \max} = 6; 14$ дБ – предельно допустимые значения при которых $\Delta_{\Gamma, T} \leq [\Delta_{\Gamma, T}]$, где $|\Delta_{\Gamma, T}| \leq 0,07 |\Gamma, T|$ и $\varphi_{\Gamma, T} \leq 5^\circ$.

В четвертой главе рассмотрена техническая реализация ИА и его отдельных узлов: ИП, ККУ и стандартных контрольно-измерительных приборов (КИП) с их техническими характеристиками. Также приведены конструкции и технические характеристики усилителей и автогенераторов СВЧ, которые были разработаны САПР, содержащей ИА.

В заключении перечислены основные выводы работы, которые являются новыми и имеют высокую научную и практическую ценность. Приведенные выводы подтверждаются текстом диссертации, а их практическое применение актами внедрения.

Степень завершенности диссертации

Все поставленные цели и задачи в диссертации Литовченко В.А., выполнены в полном объеме. Диссертация представляет собой законченную научно-исследовательскую работу, содержащую новые теоретические и экспериментальные результаты, имеющие важное практическое значение.

Использование результатов диссертационной работы

Результаты диссертационной работы подтверждены тремя актами внедрения:

– в предприятии ООО «Альфа инструментс» в виде ККУ сечения 3,5/1,5 мм и способа его калибровки;

– в учебный процесс организации «Сибирский государственный университет геосистем и технологий» по дисциплинам «Автоматизированное проектирование средств поражения», специальность 17.05.01 – Боеприпасы и взрыватели и «Основы радиотехники», специальность 12.03.01 – Информационная безопасность в виде библиотеки математических моделей усилителей и автогенераторов СВЧ и их компонентов для пакета САПР MWO;

– на предприятии ФГКВООУ ВО «Новосибирское высшее военное командное училище» лабораторного ИА для поверки и настройки усилителей и автогенераторов СВЧ для технических средств различного назначения, включая технические средства для учебного процесса.

Соответствие автореферата основным идеям и выводам диссертации

В автореферате правильно отражено содержание диссертации, кратко изложены все основные результаты диссертационной работы. Выводы, представленные в автореферате, без расхождения согласуются с выводами в диссертации.

Публикация основных результатов

По материалам диссертации опубликовано 19 работ, из них 10 статей в журналах, входящих в перечень ВАК, 2 статьи, индексированных в базах Web of Science и Scopus, 6 статей, опубликованных в сборниках материалов Международных научных конгрессов и конференций, и один препринт.

Замечания по диссертационной работе

1. Во второй главе усовершенствована конструкция измерительного преобразователя (ИП), который обеспечивает имитационное моделирование усилителей и автогенераторов СВЧ, однако не достаточно понятно описание способа реализации этой процедуры.

2. В третьей главе диссертации для оценки предельной суммарной погрешности $\Delta\Gamma = \Gamma^* - \Gamma$ измерения комплексного коэффициента Γ была принята оценка, в которую входит две составляющие. Однако не ясно в итоге чему равна суммарная погрешность измерения имитатора-анализатора.

3. Большое количество математических формул в диссертационной работе затрудняет восприятие материала.

4. В диссертации нет патентов при большом удельном весе опубликованных статей в журналах из перечня ВАК.

Указанные замечания не являются принципиальными, не снижают научной и практической значимости диссертационной работы Литовченко В.А., не затрагивают научных положений и не влияют на достоверность полученных результатов.

Заключение

Ознакомившись с диссертацией, авторефератом и публикациями автора, считаю, что тема диссертации Литовченко В. А., и ее содержание соответствуют специальности 05.12.07 – «Антенны, СВЧ устройства и их технологии». Область выполненного диссертационного исследования находится в рамках пунктов 3 и 7, указанных в качестве областей исследований в паспорте выбранной научной специальности.

Диссертационная работа Литовченко В. А. «Совершенствование методов и средств имитационного моделирования усилителей и автогенераторов СВЧ и измерения S -параметров их активного компонента» обладает актуальностью, научной новизной, высоким уровнем значимости полученных теоретических и практических результатов. Работа обладает достоверностью, обоснованностью выводов и полностью соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 (ред. от 28.08.2017г. №1024).

В выполненной научно-квалификационной работе изложены новые научно обоснованные технические решения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны (критерий пункта 9 «Положения»). Считаю, что автор диссертации, Литовченко Владимир Анатольевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.07 – «Антенны, СВЧ устройства и их технологии».

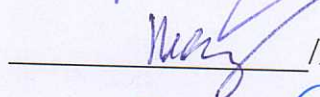
Диссертационная работа и отзыв были рассмотрены и обсуждены на семинаре кафедры «Средства связи и информационная безопасность» Омского государственного технического университета.

Протокол заседания научного семинара кафедры ССиИБ
№ 3 от «09» ноября 2020 г.

Доктор технических наук,
профессор, Майстренко Василий
Андреевич, профессор кафедры
«Средства связи и информационная безопасность»
Омского государственного технического
университета

Секретарь семинара,
к.т.н., доцент

 /Майстренко В.А./

 /Пляскин М.Ю./

Подписи заверяю:
Ученый секретарь ОмГТУ

644050, Российская Федерация,
г. Омск, пр-т Мира, д. 11
E-mail: info@omgtu.ru
Телефон: (3812) 65-34-07



 / Немцова А.Ф./