

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Синицыной Татьяны Викторовны "Методы моделирования высокоизбирательных устройств частотной селекции на поверхностных акустических волнах", представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.27.01 – "Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах"

Устройства на поверхностных акустических волнах (ПАВ) являются одними из ключевых компонентов большинства современных радиоэлектронных систем обработки и передачи информации как народно-хозяйственного, так и специального назначения. Особенно широко устройства на ПАВ используются в многоканальных системах мобильной и спутниковой связи для целей частотной селекции в диапазоне  $20\div3000$  МГц. Вместе с тем, целый ряд проблем совершенствования устройств частотной селекции на ПАВ, в частности, достижение их предельных параметров, до настоящего времени не решены. В первую очередь это относится к таким параметрам как расширенный диапазон рабочих частот, малые вносимые потери, высокая избирательность, допустимый уровень мощности входного сигнала, которые в значительной мере определяют качественные характеристики аппаратуры в целом.

В этой связи диссертационная работа Синицыной Т.В., посвященная комплексному рассмотрению новых методов моделирования высокоизбирательных устройств частотной селекции с улучшенными характеристиками и их конструкционно-технологической реализации, несомненно **актуальна** и представляет практический интерес для специалистов как в области проектирования акустоэлектронных устройств, так и для разработчиков радиоаппаратуры.

К числу наиболее **значимых результатов** работы Синицыной Т.В. следует отнести:

1. Комплексную макромодель неоднородного встречно-штыревого преобразователя на основе модифицированных уравнений связанных мод, учитывающая многомодовый характер распространения волны, конечное сопротивление электродов; потери на распространение волны, обусловленные преобразованием ПАВ/ППАВ в объемную волну; дисперсию скорости волны от частоты; влияние масса-электрического нагружения на поверхность пьезоэлектрика, а также вторичные электромагнитные эффекты, обусловленные топологией пьезоэлемента и элементов корпусом.

2. Семиэлементную модель преобразователя волноводного типа, учитывающая влияние металлизированных электрических шин и зазоров на основные характеристики акустического волновода.

3. Макромодели и методы моделирования фильтров на ПАВ на основе реверсивного МПО и/или U-образных МПО с неоднородными преобразователями при ненулевом уровне отражений в электродных структурах для различных типов пьезоэлектриков.

4. Систему автоматизированного проектирования фильтров на ПАВ различного функционального назначения на частотный диапазон 20-3500 МГц и диапазон полос пропускания 0,01-80%, обеспечивающую замкнутый цикл проектирования от анализа исходных требований к фильтру до получения топологических программ изготовления фотошаблонов в различных форматах

На мой взгляд, диссертация содержит следующие **новые результаты**:

- для анализа преобразователя волноводного типа с малой апертурой предложена семиэлементная модель, учитывающая влияние металлизированных электрических шин и зазоров на основные характеристики акустического волновода, что соответствует реальной структуре преобразователя;
- показано, что при апертуре преобразователя от 3 до 4 длин волн возбуждается только одна основная мода, при этом дисперсия фазовой скорости не превышает 0,3%, что позволяет проектировать малогабаритные устройства на ПАВ различного конструктивного исполнения, обладающих малым уровнем искажений частотных характеристик;
- показано, что при синтезе устройств на , имеющих структуру волноводного канала, моды третьего и выше порядков можно не учитывать, поскольку уровень их возбуждения незначителен ;
- для ряда срезов ниобата лития, tantalата лития, кварца и пьезоматериалов семейства лангасита результаты получены математические выражения, определяющие зависимость основных СОМ-параметров от типа и геометрии электродной структуры и типа используемого пьезоэлектрика, обеспечивающие сходимость теоретических и экспериментальных результатов в пределах одной итерации ;
- разработаны макромодель и конструктивно-технологические методы моделирования импедансных фильтров на ПАВ с высокой входной мощностью, обеспечившие обработку СВЧ сигнала с уровнем мощности до 2,3-5 Вт ;
- разработаны методы моделирования сверхпрямоугольных фильтров на ПАВ с малым вносимым затуханием на основе комбинированных конструкций.

Полученные в диссертационной работе научные результаты отличаются **новизной**, опубликованы в рецензируемых научных журналах и **апробированы** на международных и национальных конференциях. Эти результаты имеют несомненную **теоретическую ценность**. **Обоснованность** разработанных моделей и методов моделирования подтверждается высокой степенью совпадения теоретических результатов и полученных экспериментальных характеристик **Достоверность** полученных данных подтверждается результатами испытаний

более чем 180 типов фильтров, освоенных в производстве и поставляемых широкому кругу заказчиков. **Практическая значимость** подтверждена внедрением результатов диссертационной работы на предприятии ООО «БУТИС» с достижением экономического эффекта около 200 млн. рублей.

Судя по автореферату, диссертация Синицыной Т.В. выполнена на высоком научном уровне, содержит результаты, обладающие научной и практической значимостью. Диссертационная работа полностью удовлетворяет всем требованиям ВАК, предъявляемым к докторским диссертациям. Считаю, что Синицына Т.В., заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.27.01 – "Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах".

Главный научный сотрудник НИЧ МТУСИ, доктор технических наук по специальности 05.27.04 - "Пассивные радиоэлектронные компоненты"

В.С. Орлов

«19» сентября 2019 г.

Телефон +7 (495) 957-77-19, электронная почта [filtrov.pav@yandex.ru](mailto:filtrov.pav@yandex.ru)

Подпись д.т.н. В.С. Орлова удостоверяю:

Ученый секретарь Ученого совета МТУСИ

Т.В. Зотова

«19» сентября 2019 г.

Сведения об организации: ордена Трудового Красного Знамени федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Московский технический университет связи и информатики" (МТУСИ); 111024, Москва, ул. Авиамоторная, дом 8а; +7 (495)-957-79-17; [www.mtuci.ru](http://www.mtuci.ru); [mtuci.@mtuci.ru](mailto:mtuci.@mtuci.ru)

