

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Малахова Р.Ю. “Модуль бортовой цифровой антенной решетки”, представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности

05.12.07 – Антенны, СВЧ-устройства и их технологии

### **Актуальность работы**

Актуальность темы диссертационной работы обусловлена проблемами, возникающими при приеме радиосистемой полезного радиосигнала в условиях многочисленных отражений, помех, работой других радиосистем в близком частотном диапазоне. В современных условиях работа, направленная на создание цифровых антенных решеток (ЦАР) в приемных частях радиосистем, крайне необходима. В передающих антенных устройствах ЦАР дают возможность создания специальных диаграмм направленности и быстрого их изменения. Тема работы автора, направленная на создание более совершенных приемопередающих модулей антенной решетки, лежит в русле современных работ по технике устройств СВЧ.

Существенное место в диссертации Р.Ю. Малахова занимает изучение возможности уменьшения величины энергии, потребляемой модулем антенной решетки, путем улучшения параметров выходного усилителя мощности передающей части модуля. В этой связи, исследование проблем создания высокоэффективного усилителя мощности СВЧ с выходной мощностью десятки Вт на современных полевых транзисторах с гетеропереходами весьма актуальна.

### **Достоверность и обоснованность научных положений.**

Достоверность представленных в диссертации научных положений подтверждается следующим.

1. Полным учетом и тщательной оценкой существующих факторов, влияющих на достижение результата.
2. Современными математическими методами, примененными для определения параметров разработанной модели транзистора по результатам измерений.
3. Разработанной методикой выявления параметров кристалла транзистора по результатам измерений испытательной платы.
4. Экспериментальным подтверждением величины энергетических параметров усилителя, полученных при теоретических исследованиях.

### **Новизна результатов диссертационной работы**

Наиболее значимыми результатами в диссертации, представляющими научную новизну, являются следующие.

1. Предложенная схема бортовой ЦАР, в которой единый источник электромагнитной энергии заменен отдельными генераторами, входящими в состав каждого модуля и синхронизированными общим опорным генератором, позволившая заменить разводку колебаний СВЧ разводкой низкочастотных колебаний опорного генератора. В результате, как показали расчеты автора, появляется возможность уменьшить потери энергии СВЧ и увеличить КПД решетки.
2. Разработанная нелинейная модель мощного полевого транзистора СВЧ, выполненного из нитрида галлия, в виде эквивалентной схемы на элементах с сосредоточенными параметрами. Разработанная модель позволила найти потенциальные возможности транзистора, не проявленные при использовании существующих моделей. С помощью разработанной модели удалось определить режим работы транзистора в усилителе, соответствующий большим значениям коэффициента усиления мощности и КПД. В результате спроектирован и практически реализован усилитель, имеющий более высокие энергетические показатели, чем можно было ожидать, применяя другие существующие модели транзистора.

3. Разработана методика определения параметров предложенной модели, основанная на измерениях малосигнальных S-параметров, статических вольт-амперных характеристик транзистора и алгоритме компьютерного расчета.

### **Значимость результатов для науки и практики**

Предложенная схема приемопередающего модуля антенной решетки, разработанная новая модель полевого СВЧ транзистора и методика определения ее параметров могут послужить основой для создания новых радиотехнических устройств СВЧ повышенной эффективности. Кроме того, результаты работы могут быть использованы в учебном процессе. Подтверждением этому служат акты о внедрении результатов диссертации на предприятии ФГУП «ЦНИРТИ им. академика А.И. Берга», НЦ СРМ МАИ и в учебный процесс на кафедре «Радиофизика, антенны и микроволновая техника» МАИ при чтении лекций, ведении практических занятий, курсовых и дипломных работ.

### **Достоинства работы**

1. Оригинальная эквивалентная схема мощного полевого транзистора СВЧ, в которой учтена конкретная топология транзистора.
2. Подробная, скрупулезная методика определения параметров кристалла транзистора по результатам измерений испытательного макета.
3. Экспериментальное подтверждение теоретических выводов.
4. Четкое и ясное изложение материала.

### **Недостатки работы**

1. При определении параметров модели транзистора обычно используют измеренные: S-параметры в режиме малого сигнала, статические вольт-амперные характеристики, вольт-фарадные характеристики (ВФХ) внутренних емкостей транзистора. В диссертационной работе ВФХ не измерялись, поэтому, неясно, как была учтена нелинейность емкостей затвор-исток, сток – исток (емкости  $C_{GS}$  и  $C_{DS}$  на рис. 3.9) и учитывалась ли проходная емкость транзистора затвор-сток.

2. В диссертации отсутствует анализ взаимного влияния большого числа синтезаторов частот, входящих в состав каждого модуля, на характеристики ЦАР. Исторически техника АФАР начиналась со схем, аналогичных предлагаемой автором диссертации, а именно, с включением в состав каждого модуля синхронизируемых СВЧ автогенераторов. В дальнейшем от первоначальной идеи отказались. Возникает вопрос, не появятся ли проблемы при реализации предложенной модели ЦАР.

3. Не проведено сравнение разработанной модели транзистора с существующими нелинейными моделями полевых СВЧ транзисторов, например, Angelov, Tom, Curtise, Fujii, Yhland.

4. Обзор моделей мощных полевых транзисторов и методов определения их, приведенный в разделе 3.2, не является полным, в частности, осталось неясным, каким образом находятся параметры моделей.

5. Имеется ряд более мелких замечаний по тексту диссертации:

а) на стр. 76 упомянуто о достижении КПД усилителя на нитридгаллиевом транзисторе в режиме АВ, равного 80%, что превышает теоретический уровень для данного режима;

б) утверждение на стр.86 о том, что основой модели Angelov и Curtise является эквивалентная схема транзистора для малого сигнала не совсем корректно, поскольку схема остается такой же и для большого сигнала, изменяется лишь описание ее элементов.

## **Заключение**

Несмотря на отмеченные недостатки, диссертация представляет собой законченный научно-исследовательский труд, в котором получены новые научные результаты. Содержание автореферата соответствует идеям и выводам, изложенным в диссертации. Результаты диссертационной работы опубликованы в 18 печатных работах, из них 6 научных статей в журналах из перечня ВАК, в учебном пособии и в 11 тезисах докладов на конференциях. Стоит отметить выступления на 8 международных конференциях, из них 3 – на английском языке. Содержание диссертации соответствует содержанию опубликованных работ.

Диссертация и автореферат соответствуют требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», а ее автор заслуживает присвоения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.07 «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии».

Официальный оппонент



Романюк Виталий Александрович

Должность

Доцент кафедры  
микроэлектронных радиотехнических  
устройств и систем Национального  
исследовательского университета  
«МИЭТ».

Адрес университета: 124498, г.  
Москва, г. Зеленоград, площадь  
Шокина, дом 1.а.

Контактный телефон оппонента

8- 905 – 556-92-60

Адрес электронной почты

v.a.romanjuk@mail.com

Подпись В.А. Романюка заверяю

**ВЕРНО**  
**НАЧ. ОТД. КАДРОВ**  
**С.В. ЗАБОЛОТНЫЙ**

