



РЕЦЕНЗИЯ

на дисертационен труд за получаване на образователна и научна степен „доктор”

Автор на дисертационния труд: маг. инж. Александър Петков Радев
Тема на дисертационния труд: „Изследване и развитие на методи и подходи за проектиране на CMOS интегрални схеми, реализирани по дълбоки субмикронни технологии”
Рецензент: чл.-кор. инж. Георги Славчев Михов, професор, доктор на науките.

1. Актуалност на разработвания в дисертационния труд проблем в научно и научноприложно отношение.

Тенденция в развитието на смесените CMOS системи е аналоговите и цифровите блокове да се реализирани в една и съща подложка, което означава, че аналоговите схеми трябва да се изграждат по същите технологии, както и цифровите. С появата на дълбоките субмикронни CMOS технологии (с минимална дължина на канала на транзистора под 100nm), възникват нови особености при проектирането на аналоговите схеми (понижено захранващо напрежение, необходимост част от транзисторите да работят в слаба и умерена инверсия, късоканални ефекти и др.). Възниква необходимостта от усъвършенстване на подходите за проектиране, за да могат да се отчетат тези особености.

В това отношение, дисертационният труд, разглеждайки спецификите на дълбоките субмикронни CMOS технологии, изследвайки транзисторни модели за аналитични изчисления, анализирайки и предлагайки методи за експериментално определяне на транзисторни параметри и методи за проектиране на аналогови интегрални схеми е на безспорно актуална тематика.

2. Степен на познаване състоянието на проблема и творческа интерпретация на литературния материал

Литературното проучване обхваща общо 84 заглавия, 5 от които са на български език, а останалите на английски. То е по съществото на проблематиката, следва в целия ход на дисертацията, но основно е съсредоточено в първите 3 глави.

Още в първа глава (Въведение) е формулирана целта на дисертационния труд: „... да се проучат, изследват, анализират и усъвършенстват основните методи и подходи за първоначално проектиране и оразмеряване на аналогови интегрални схеми, реализирани на базата на дълбоки субмикронни CMOS технологични процеси“. За постигането на целта са поставени седем задачи, последователно решавани в отделните глави на дисертацията. Първите три задачи са свързани с литературното проучване: описание на класическите подходи за проектиране на CMOS аналогови интегрални



схеми; проучване и анализ на известните подходи за проектиране при дълбоки субмикронни процеси; анализ на модели на MOS транзистори усъвършенстване на процедури за определяне на параметрите им. Следващите три задачи се отнасят до разработване на специфични методики: за проектиране на типични решения, осигуряващи постояннотоковия режим на CMOS аналогови интегрални схеми; за проектиране на типични усилвателни стъпала; за проектиране на основни типове операционни усилватели. Последната задача е за обобщаване на получените резултати и предлагане на препоръки при проектиране на аналогови схеми по наноразмерни технологии.

Начинът на провеждането на литературното проучване и съпътстващия го анализ показва едно много добро познаване на състоянието на проблема.

3. Съответствие на избраната методика на изследване с поставената цел и задачи на дисертационния труд

Методически, дисертационният труд е в логическата последователност от: преглед и анализ на литературните източници; аналитични изследвания за извеждане и обобщаване на основни моделни уравнения за анализ и проектиране на функционални елементи на аналогови схеми; симулационни изследвания за определяне на транзисторни параметри в моделните уравнения; оценка на резултатите от проектирането. Симулационните изследвания са проведени с ползването на програмни продукти LTSpice и Cadence Spectre.

4. Кратка аналитична характеристика на естеството и оценка на достоверността на материала, върху който се градят приносите на дисертационния труд.

Представеният дисертационен труд е в обем от 172 страници. Разпределението на материала е както следва: съдържание – 5 стр.; списъци на фигурите, на таблиците и на използваните означения – 10 стр.; въведение (първа глава) – 7 стр.; четири основни глави 136 стр.; заключение – 4 стр.; приноси по дис. труд – 2 стр.; публикации по дис. труд – 1 стр.; библиография – 5 стр. Към дисертацията е дадено приложение, в което представени допълнителни примери за анализ и проектиране на различни типове схеми.

Глава 1 (Въведение) накратко представя тенденциите и етапите при проектирането на аналогови интегрални схеми.

Глава 2 Разглежда моделите на MOS транзисторите, основни уравнения и ефектите на късия канал. Предложена е класификация на моделите на MOS транзисторите с фокус върху компактните модели и основните им моделни уравнения.

В Глава 3 са систематизирани уравненията, използвани при основните методи за начално аналитично оразмеряване на CMOS аналогови схеми и е оценена точността им, съставени са процедури за приложението на основните методи за експериментално определяне на



основни транзисторни параметри и е предложена модификация на един от методите.

Глава 4 е посветена на експерименталното извличане на параметри на транзистори. Паралелно с извършения обзор на методите за експериментално определяне на основни транзисторни параметри, са предложени модифицирани методи и са съставени процедури за приложението им.

В глава 5 е извършено сравнение на методите и моделите, прилагани при анализа и проектирането на аналогови интегрални схеми и са предложени методики за анализ и оразмеряване на различни класове схеми. При проектирането са използвани резултатите от глава 4.

5. Научноприложни приноси на дисертационния труд.

Научно приложните приноси в настоящия труд се отнасят до изследване, анализ и усъвършенстване на методики за начално аналитично проектиране на CMOS аналогови схеми, реализирани по дълбоки субмикронни технологии и могат да се определят като получаване на потвърдителни факти.

- проведено е систематично проучване и е предложена класификация на моделите на MOS транзисторите съобразно приложението им при началните аналитични изчисления на аналоговите интегрални схеми. Анализирано е влиянието на ефектите на късия канал при дълбоките субмикронни технологии.

- направен е анализ на три основни метода за начално оразмеряване на аналогови интегрални схеми, оценена е точността им и са предложени процедури за оразмеряване на транзистори, работещи в слаба, умерена и силна инверсия;

- извършен е анализ на методите за експериментално определяне на основните транзисторни параметри, направени са препоръки за приложение на методите и са съставени процедури за приложението им. Предложен е метод за първоначално определяне на специфичния ток на MOS транзистор от модела, базиран на инверсия заряд;

- усъвършенствани и анализирани са процедури за проектиране на основни класове функционални елементи на аналогови схеми при три нива на инверсия на MOS транзисторите. Процедурите са приложени успешно с модели на четири различни технологии и резултати са анализирани и сравнени по отношение на сложността и броя на стъпките при съответните процедури и постигнатата точност при всяка от тях;

- предложен е полу-емпиричен подход за проектиране чрез gm/ID методология на температурно-стабилен източник на напрежение на базата на MOS транзистори в слаба инверсия. Подходът е, приложен успешно при проектиране на източник на напрежение, работещ в температурния диапазон $[-50; 150]^{\circ}\text{C}$.



6. Оценка за степента на личното участие на дисертанта в приносите

Според дадения материал и направените по него публикации, считам че приносите в настоящия труд са предимно лично дело на дисертанта, под ръководството на неговия ръководител проф. д-р Емил Манолов.

7. Преценка на публикациите по дисертационния труд

По труда са направени 5 публикации, от които 2 на конференцията Electronica (София) [A1, 2], 2 на конференцията Electronics ET'xxxx (Созопол) [A3, 4] и 1 в списанието „Електротехника и Електроника – Е+Е“ [A5] (под печат), Всички публикации са самостоятелни. Четири от публикациите са индексирани в SCOPUS, където са видни 4 независими цитирания по тях. Събраните точки по Минималните изисквания на Правилника за прилагане на ЗРАСПБ по показател „Г“ точки са 160, с което значително се надхвърлят изискуемите 30.

8. Използване на резултатите от дисертационния труд

Получените резултати в дисертационния труд и формулираните препоръки за начални аналитични изчисления са пряко приложими при проектирането на аналогови интегрални схеми, реализирани по субмикронни и дълбоки субмикронни CMOS технологии. Те с успех могат да се ползват при обучението на студенти и докторанти.

9. Оценка на съответствието на автореферата

Представеният автореферат е в обем от 32 страници. Съдържанието му съответства на съдържанието на дисертационния труд. В началото е представена обща характеристика на дисертационния труд, включваща актуалност на проблема, цел на дисертационния труд, основни задачи и методи за изследване, оценка за научната новост и практическата приложимост, както и описание на структурата и обема на дисертационния труд. Следва концентрирано представяне на съдържанието на дисертационния труд. Авторефератът завършва с описание на приносите на дисертационния труд, списък на публикациите по труда със забелязаните от автора цитирания по тях и резюме на английски език. Оценката ми за автореферата е, че той отговаря на общоприетите изискванията и отразява вярно съдържанието и приносите на дисертационния труд.

10. Мнения, препоръки и бележки

Нямам забележки по отношение на количеството и качеството на извършената от дисертанта маг. инж. Александър Радев работа. Дисертационният труд е много добре оформен, написан е на ясен и точен език. Извършена е значителна работа, която е довела до убедителни резултати. Дадох свое официално мнение с препоръки и бележки за вътрешната защита на дисертацията. С удоволствие



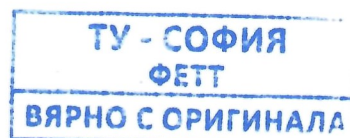
отчитам, че забележките и препоръките са взети предвид при окончателното оформяне на труда.

11. Заключение:

Считам, че образователната и научната задачи на дисертацията са изпълнени на високо ниво. Предвид актуалността на темата, направените разработки, изследвания и анализи, постигнатите резултати, както и направените публикации, давам ПОЛОЖИТЕЛНА оценка на дисертационния труд и предлагам на членовете на уважаемото Научно жури да гласуват за даването на образователната и научна степен „доктор” на маг. инж. Александър Петков Радев по професионално направление 5.2. Електротехника, електроника и автоматика, научна специалност „Теория на електронните вериги и електронна схемотехника”.

ДАТА: 20.08.2025 г.

РЕЦЕНЗЕНТ: (н)
/ проф. д-р инж. Г. Михов /





REVIEW

of thesis for awarding the educational and scientific degree "Doctor of Philosophy"

Author of the thesis: MSc. Eng. Alexander Petrov Radev

Title of the thesis: "Research and development of methods and approaches for designing CMOS integrated circuits implemented using deep submicron processes"

Reviewer: Corr. Mem. of BAS, Eng. Georgy Slavchev Mihov, Professor, Doctor of Science

1. Relevance of the problem solved in the PhD thesis in scientific and applied science terms.

A trend in the development of mixed CMOS systems is for analog and digital blocks to be implemented on the same substrate, which means that analog circuits must be built using the same technologies as digital ones. With the advent of deep submicron CMOS processes (with a minimum transistor channel length below 100 nm), new features arise in the design of analog circuits (reduced supply voltage, the need for some of the transistors to operate in weak and moderate inversion, short-channel effects, etc.). There is a need to improve design approaches in order to be able to take these features into account.

In this regard, the dissertation work, examining the specifics of deep submicron CMOS processes, investigating transistor models for analytical calculations, analyzing and proposing methods for experimental determination of transistor parameters and methods for designing analog integrated circuits, is undoubtedly a topical topic.

2. Level of knowledge of the problem's state and author creative interpretation of the bibliography

The literature review covers a total of 84 titles, 5 of which are in Bulgarian, and the rest in English. It is on the essence of the problem, follows throughout the course of the PhD thesis, but is mainly concentrated in the first 3 chapters.

Already in the first chapter (Introduction) the goal of the dissertation is formulated: "... to study, investigate, analyze and improve the main methods and approaches for initial design and sizing of analog integrated circuits, implemented on the basis of deep submicron CMOS technological processes". To achieve the goal, seven tasks have been set, sequentially solved in the individual chapters of the dissertation. The first three tasks are related to the literature review: description of the classical approaches to design CMOS analog integrated circuits; study and analysis of the known approaches to design in deep submicron processes; analysis of MOS



transistor models; improvement of procedures for determining their parameters. The following three tasks concern the development of specific methodologies: for the design of typical solutions providing the DC mode of CMOS analog integrated circuits; for the design of typical amplifier stages; for the design of basic types of operational amplifiers. The last task is to summarize the results obtained and offer recommendations for the design of analog circuits using nanoscale technologies.

The manner of conducting the literature review and the accompanying analysis shows a very good knowledge of the state of the problem.

3. Compliance of the chosen research methodology with the goals and tasks of the PhD thesis

Methodologically, the PhD thesis is in the logical sequence of: review and analysis of literary sources; analytical studies to derive and summarize basic model equations for analysis and design of functional elements of analog circuits; simulation studies to determine transistor parameters in the model equations; evaluation of the design results. The simulation studies were conducted using the software products LTSpice and Cadence Spectre.

4. Brief analytical description and assessment of the material's credibility on which the contributions of the PhD thesis are built.

The presented PhD thesis is 172 pages long. The distribution of the material is as follows: table of contents – 5 pages; lists of figures, tables and symbols used – 10 pages; introduction (first chapter) – 7 pages; four main chapters 136 pages; conclusion – 4 pages; contributions to the dissertation – 2 pages; publications on the thesis – 1 page; bibliography – 5 pages. An appendix is provided to the dissertation, which presents additional examples of analysis and design of different types of circuits.

Chapter 1 (Introduction) briefly presents the trends and stages in the design of analog integrated circuits.

Chapter 2 examines the models of MOS transistors, basic equations and short-channel effects. A classification of the models of MOS transistors is proposed with a focus on compact models and their basic model equations.

Chapter 3 systematizes the equations used in the basic methods for initial analytical sizing of CMOS analog circuits and evaluates their accuracy, develops procedures for the application of the basic methods for experimental determination of basic transistor parameters, and proposes a modification of one of the methods.

Chapter 4 is devoted to the experimental extraction of transistor parameters. In parallel with the review of the methods for experimental determination of basic transistor parameters, modified methods are proposed and procedures for their application are developed.

Chapter 5 compares the methods and models used in the analysis and design of analog integrated circuits and proposes methodologies for analysis



and sizing of different classes of circuits. The results of Chapter 4 were used in the design.

5. Applied scientific contributions.

The scientific and applied contributions in this work relate to the study, analysis and improvement of methodologies for initial analytical design of CMOS analog circuits implemented using deep submicron technologies and can be defined as obtaining confirmatory facts.

- a systematic study has been conducted and a classification of MOS transistor models has been proposed according to their application in initial analytical calculations of analog integrated circuits. The influence of short channel effects in deep submicron technologies has been analyzed.
- an analysis of three basic methods for initial sizing of analog integrated circuits has been performed, their accuracy has been assessed and procedures for sizing transistors operating in weak, moderate and strong inversion have been proposed;
- an analysis of the methods for experimental determination of the main transistor parameters has been performed, recommendations for the application of the methods have been made and procedures for their application have been compiled. A method for initial determination of the specific current of a MOS transistor from the model based on the inversion charge has been proposed;
- procedures for designing basic classes of functional elements of analog circuits at three levels of inversion of MOS transistors have been improved and analyzed. The procedures have been successfully applied to models of four different technologies and results have been analyzed and compared in terms of complexity and number of steps in the respective procedures and the achieved accuracy in each of them;
- a semi-empirical approach for designing a temperature-stable voltage source based on MOS transistors in weak inversion using the gm/ID methodology has been proposed. The approach has been successfully applied in designing a voltage source operating in the temperature range [-50; 150]°C.

6. Degree assessment of the candidate's personal participation in the contributions

According to the presented materials and the scientific papers related to them, I believe that the contributions made in the present PhD thesis are mainly the personal work of the author, under the guidance of his supervisor Prof. PhD Emil Manolov.

7. Evaluation of articles on the PhD thesis

5 publications have been made on the work, of which 2 at the Electronica conference (Sofia) [A1, 2], 2 at the Electronics ET'xxx conference (Sozopol)



[A3, 4] and 1 in the journal "Electrical Engineering and Electronics – E+E" [A5] (in press). All publications are independent. Four of the publications are indexed in SCOPUS, where 4 independent citations are visible. The collected points under the Minimum requirements of the Regulations for the Implementation of the Regulations for the Implementation of the Law on the Development of the Academic Staff in the Republic of Bulgaria under indicator "Г" points are 160, which significantly exceeds the required 30.

8. Applicability of the results obtained in the PhD thesis

The results obtained in the dissertation and the formulated recommendations for initial analytical calculations are directly applicable in the design of analog integrated circuits implemented using submicron and deep submicron CMOS technologies. They can be successfully used in the training of undergraduate and doctoral students.

9. Author's essay assessment

The presented abstract is 32 pages long. Its content corresponds to the content of the dissertation. At the beginning, a general description of the dissertation is presented, including the relevance of the problem, the purpose of the dissertation, the main tasks and research methods, an assessment of the scientific novelty and practical applicability, as well as a description of the structure and volume of the dissertation. This is followed by a concentrated presentation of the content of the dissertation. The abstract ends with a description of the contributions of the dissertation, a list of publications on the work with the citations noted by the author, and a summary in English. My assessment of the abstract is that it meets the generally accepted requirements and faithfully reflects the content and contributions of the dissertation.

10. Opinions, recommendations and notes

I have no remarks regarding the quantity and quality of the work done by the dissertation candidate, MSc. Eng. Alexander Radev. The PhD thesis is very well-structured, written in clear and precise language. Considerable work has been done, which has led to convincing results. I have given my official opinion with recommendations and notes during the preliminary presentation of the PhD thesis in the department of Electronics. I am pleased to report that the remarks and recommendations have been taken into account in the final preparation of the thesis.

11. Conclusion:

I believe that the educational and scientific tasks of the PhD thesis have been fulfilled at a high level. Given the relevance of the topic, the developments, research and analyses carried out, the results achieved, as well as the articles submitted, I give a POSITIVE assessment of the thesis and propose to the members of the esteemed Scientific Jury to vote for granting the educational and scientific degree "Doctor of Philosophy" to MSc Eng.

ФЕТТ75-НС1-074

Alexander Petrov Radev in the professional field 5.2. Electrical Engineering, Electronics and Automation, scientific specialty "Electronic Circuit Theory and Electronic Circuitry".



August 20, 2025

REVIEWER:

(n)

/ Prof. DSc Georgy Mihov /

