



РЕЦЕНЗИЯ

върху дисертационен труд
за придобиване на образователна и научна степен „доктор“
в област на висше образование „Технически науки“

Професионално направление: 5.2 „Електротехника, електроника и автоматика“

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

Научна специалност: „Теория на електронните вериги и електронна схемотехника“

Рецензент: проф. д-р инж. Елисавета Димитрова Гаджева, Технически Университет – София

1. Актуалност на разработвания в дисертационния труд проблем в научно и научно-приложно отношение. Степен и нива на актуалността на проблема и конкретните задачи, разработени в дисертацията

При проектирането на CMOS аналогови интегрални схеми в субмикронни и дълбоко субмикронни процеси от съществено значение е изборът на методология за първоначално проектиране, която да осигурява висока точност и ефективност при оразмеряване на транзисторите във веригата, определяне на връзката между размерите на транзистора, работната точка и параметрите на веригата.

С появата на дълбоките субмикронни CMOS технологии, проектантите на аналогови схеми се сблъскват с много нови предизвикателства на различни етапи от проектирането, като ниски стойности на захранващите и праговите напрежения, по-високи стойности на утечките, по-голям разброс на параметрите на елементи с еднаква геометрия, ефекти на късия канал, влияние на дрейновото напрежение върху праговото напрежение и др. Разработката на подходящи методи с висока точност за първоначално проектиране е в основата на успешната и бърза реализация на схемата.

На базата на анализираните тенденции в развитието на методите за проектиране са дефинирани целта и задачите на дисертационния труд.

Цел на настоящия дисертационен труд е да се проучат, изследват, анализират и усъвършенстват основните методи и подходи за първоначално проектиране и оразмеряване (аналитично изчисляване) на аналогови интегрални схеми, реализирани на базата на дълбоки субмикронни CMOS технологични процеси. За постигане на поставената цел авторът е формулирал задачи, свързани с:



- Изследване на възможностите на класическите подходи за проектиране и оразмеряване на CMOS аналогови интегрални схеми с транзистори, реализирани в микронни и субмикронни технологии, както и изясняване на недостатъците на тези подходи при реализиране в дълбоки и свръхдълбоки субмикронни технологии;
- Проучване и анализ на известните подходи за проектиране на аналогови схеми в дълбоки субмикронни технологии и дефиниране на изискванията към транзисторните модели при осъществяване на аналитичните изчисления;
- Анализ на най-разпространените модели на MOS транзистори и създаване на усъвършенствани процедури за определяне на моделните параметри, необходими за извършване на аналитичните изчисления;
- Разработване на методики за проектиране на типични схеми за осигуряване постояннотоковия режим, както и за проектиране на усилвателни стъпала, на базата на усъвършенствани подходи за проектиране с наноразмерни транзистори. Извършване на оценка и сравнение на ефективността на подходите чрез компютърна симулация.
- Обобщаване на получените резултати и предлагане на препоръки при проектиране на аналогови схеми по наноразмерни технологии.

Това определя актуалността на изследвания проблем, целта и задачите на дисертационния труд както от научна, така и от приложна гледна точка.

Авторът на дисертационния труд е формулирал цели и задачи, които са адекватни и съответстват на изискванията на дисертационен труд за придобиване на образователната и научна степен „Доктор“.

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

Дисертационният труд е в обем от 172 страници, като включва въведение и четири глави, списък на приносите, списък на публикациите по дисертацията и използвана литература. Към дисертацията е включено и едно приложение. Цитирани са общо 84 литературни източници, като голяма част от тях са от последните десет години. Пет от литературните източници са от български автори. Цитираните публикации са от реномирани международни издателства, конференции и списания.

В дисертационния труд са проследени тенденциите при проектирането на съвременните аналогови интегрални схеми и са разгледани новите предизвикателства при прилагане на дълбоките субмикронни CMOS технологии, с които проектантите се сблъскват на различни етапи от проектирането. В началото на отделните глави се дават данни за съвременното състояние на разглежданите в тях проблеми.



Това ми дава основание да смятам, че докторантът маг. инж. Александър Радев познава детайлно съвременното състояние на решаваните проблеми, успял е творчески да интерпретира и прилага литературния материал, което е основа за успешно решаване на поставените задачи.

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

Избраната методика на изследване е класическа в електрониката и микроелектрониката и позволява успешно и качествено постигане на поставената цел и задачи. Тя включва сравнителен критичен анализ на литературния материал, теоретична разработка, изследване, моделиране и проектиране на разглежданите обекти, апробиране и валидиране на получените резултати. Симулационните изследвания се прилагат за оценка на резултатите от проектирането по предложените в дисертацията процедури.

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

В дисертационния труд е извършена класификация на моделите на MOS транзисторите и се разглеждат основните уравнения на компактните модели, от които произхождат опростените модели, използвани при аналитични изчисления. Особено внимание е обърнато на ефектите на късия канал, които са характерни за дълбоките субмикронни технологии и които оказват значително влияние върху точността на прилаганите модели.

Извършен е преглед, задълбочен анализ и систематизиране на методи за аналитично изчисляване на аналогови интегрални схеми в началния етап на тяхното проектиране. Разглеждат се нови съвременни подходи за проектиране с използване на три основни модела на транзисторите: базиран на праговото напрежение; базиран на инверсия на заряда и базиран на проектиране чрез g_m/I_D методология. Извършено е и сравнение на резултатите, получени при прилагане на трите разгледани подхода за проектиране.

Разработени са подходи за определяне на транзисторните параметри, като за някои от тях са представени по повече от един метод за извличането им.

За всеки от представените методи за проектиране или методи за извличане на параметри са изтъкнати предимства, недостатъци, ограничения и възможни приложения. В дисертационния труд е извършено задълбочено изследване на приложението на тези методи при анализ и при проектиране на аналогови интегрални схеми.

Изследвани са процедури за проектиране на различни типове аналогови интегрални схеми чрез трите разгледани метода на проектиране. За всяка от схемите е извършено проектиране на технология 45nm, а за две от схемите



проектирането е извършено и на технологии 180nm, 16nm и 110nm. Извършен е детайлен сравнителен анализ по отношение на точност и ефективност на подходите за оразмеряване с прилагане на различните методологии.

На базата на проведените изследвания, в дисертационния труд са формулирани препоръки за проектиране на аналогови интегрални схеми, реализирани по субмикронни и дълбоки субмикронни технологии.

5. Научно - приложни и приложни приноси на дисертационния труд

Считам, че приносите имат научно-приложен и приложен характер и биха могли да се определят като създаване на нови методи за изследване, класификации, конструкции, технологии и схеми, както и получаване на потвърдителни факти.

Приемам по принцип формулираните приноси от кандидата. Те могат да бъдат обобщени както следва:

Приноси с научно-приложен характер:

1. Извършено е систематично и задълбочено литературно проучване и класификация на моделите на MOS транзисторите и възможностите им за прилагане при началните (аналитични) изчисления на аналоговите интегрални схеми. Изследвано е влиянието на ефектите на късия канал при дълбоките субмикронни технологии;

2. Направен е анализ на методите за аналитично оразмеряване на аналогови интегрални схеми с използване на трите основни модела на транзисторите. За всеки от тези методи са систематизирани съответните уравнения и въз основа на тях са предложени процедури за аналитично оразмеряване. Те са приложени при оразмеряване на транзистори, работещи в слаба, умерена и силна инверсия. Направена е сравнителна оценка на точността на разглежданите методи;

3. Извършено е проучване, анализ и систематизиране на методите за експериментално определяне на основните транзисторни параметри. Предложени са процедури за извличане на транзисторни параметри, които са приложени успешно при определянето на параметрите за две субмикронни (110nm и 180nm) и две дълбоки субмикронни (16nm и 45nm) технологии;

4. На базата на трите методи за аналитично оразмеряване са разработени усъвършенствани процедури за проектиране на основните класове функционални елементи на аналоговите интегрални схеми при трите нива на инверсия на транзисторите. Процедурите са приложени успешно с модели на четири различни технологии (16nm, 45nm, 110nm и 180nm), което потвърждава тяхната универсалност. Извършена е сравнителна оценка на точността и ефективността на съответните процедури;



5. Разработен е полу-емпиричен подход за проектиране чрез g_m/I_D методология на температурно-стабилен източник на напрежение на базата на MOS транзистори в слаба инверсия.

Приноси с приложен характер:

6. На базата на проведените задълбочени изследвания, в дисертационния труд са формулирани препоръки за проектиране на аналогови интегрални схеми, реализирани по субмикронни и дълбоки субмикронни технологии.

Считам, че получените резултати са оригинални и напълно съответстват на изискванията за дисертационен труд за придобиване на образователната и научна степен „Доктор“.

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

За степента на личното участие на маг. инж. Александър Радев в приносите съдя от броя на самостоятелните научни трудове – общо 5. Това ми дава основание да приема, че приносите в дисертационния труд са лично дело на кандидата.

7. Преценка на публикациите по дисертационния труд: брой, характер на изданията, в които са отпечатани. Отражение в науката – използване и цитиране от други автори, в други лаборатории, страни и пр.

По дисертационния труд са направени 5 публикации: два доклада на национална конференция с международно участие National Conference with International Participation (Electronica), България (IEEE, Scopus), два доклада на международна конференция International Scientific Conference Electronics (ET), България (IEEE, Scopus) и една статия в рецензирано научно списание „Електротехника и електроника“ - „Е+Е“, България.

Четири от научните публикации са в издания, които са реферирани и индексирани в световноизвестни бази данни с научна информация (Scopus). Основните резултати на дисертационния труд са достойни на българската и международна научна общественост.

Представена е авторска справка на забелязани общо 5 цитирания на публикации [1], [3] и [4]. Цитиранията са в научни трудове, представени на международни научни форуми от последните три години, което потвърждава актуалността и високата оценка от научната общност на постигнатите от докторанта резултати.

8. Използване на резултатите от дисертационния труд в научната и социалната практика. Наличие на постигнат пряк икономически ефект и пр. Документи, на които се основава твърдението.

Няма представени документи за участие на докторанта в научно-изследователски договори и проекти.



9. Оценка на съответствието на автореферата с изискванията за изготвянето му, както и на адекватността на отразяване на основните положения и приносите на дисертационния труд.

Авторефератът е в съответствие с изискванията за изготвянето му и отразява адекватно основните положения и приносите на дисертационния труд, направените публикации и данните за цитиранията им.

10. Мнения, препоръки и бележки

Нямам сериозни забележки и препоръки към представения дисертационен труд. Държа специално да подчертая творческата и задълбочена работа на докторанта. Постигнатите приноси са резултат както от задълбочените теоретични познания в областта на CMOS интегрални схеми, реализирани по дълбоки субмикронни технологии, които докторантът прилага при аналитичното описание и разработката на методите за моделиране и проектиране, така и от отличното владение на средствата за компютърна симулация на тези схеми. Работата на докторанта се характеризира с високо образователно ниво и натрупан теоретически и практически изследователски опит в една изключително актуална научна област.

11. Заключение с ясна положителна или отрицателна оценка на дисертационния труд

Представеният дисертационен труд се характеризира със задълбоченост на разработката, постигане на значими резултати и съдържа съществени приноси с научно-приложен и приложен характер. Направените публикации са представени на авторитетни научни форуми, включени са в световни бази данни и са достойни на международната научна общност. Въз основа на посоченото по-горе давам **положителна оценка** на дисертационния труд и считам, че той отговаря напълно на изискванията на ЗРАСРБ, правилника за прилагане на ЗРАСРБ и Правилника за условията и реда за придобиване на научни степени в ТУ–София. Предлагам на уважаемото Научно жури да присъди на маг. инж. Александър Петков Радев научната степен „доктор“ по професионално направление: 5.2. „Електротехника, електроника и автоматика“, научна специалност „Теория на електронните вериги и електронна схемотехника“.

Дата: 31.08.2025 год.

Рецензент:

(н)

(проф. д-р инж. Елисавета Гаджева)



**REVIEW**

on the dissertation

for the acquisition of the educational and scientific degree "Doctor"
in the field of higher education "Technical Sciences"

Professional field: 5.2 "Electrical Engineering, Electronics and Automation"

Author of the dissertation: M.Eng. Alexander Petkov Radev

Topic of the dissertation: Research and development of methods and approaches for the design of CMOS integrated circuits implemented using deep submicron technologies

Scientific specialty: "Theory of electronic circuits and electronic circuit engineering"

Reviewer: Prof. Dr. Eng. Elissaveta Dimitrova Gadjeva, Technical University - Sofia

1. Relevance of the problem developed in the dissertation in scientific and scientific-applied terms. Degree and levels of relevance of the problem and specific tasks developed in the dissertation

When designing CMOS analog integrated circuits in submicron and deep submicron processes, it is essential to choose a methodology for initial design that provides high accuracy and efficiency in sizing the transistors in the circuit, determining the relationship between the dimensions of the transistor, the operating point and the parameters of the circuit.

With the advent of deep submicron CMOS technologies, designers of analog circuits are faced with many new challenges at different stages of design, such as low values of the supply and threshold voltages, higher leakage values, greater spread of the parameters of elements with the same geometry, short channel effects, influence of the drain voltage on the threshold voltage, etc. The development of appropriate high-precision methods for initial design is the basis for the successful and rapid implementation of the circuit.

Based on the analyzed trends in the development of design methods, the goal and objectives of the dissertation are defined.

The goal of this dissertation is to study, research, analyze and improve the basic methods and approaches for initial design and sizing (analytical calculation) of analog integrated circuits, implemented on the basis of deep submicron CMOS technological processes. To achieve the set goal, the author has formulated tasks related to:

- Study of the possibilities of classical approaches for design and sizing of CMOS analog integrated circuits with transistors, implemented in micron and submicron technologies, as well as clarification of the shortcomings of these approaches when implemented in deep and ultra-deep submicron technologies;



- Study and analysis of known approaches for design of analog circuits in deep submicron technologies and definition of requirements for transistor models when performing analytical calculations;

- Analysis of the most common models of MOS transistors and creation of advanced procedures for determining the model parameters necessary for performing analytical calculations;

- Development of methodologies for design of typical circuits for ensuring the DC mode, as well as for design of amplifier stages, based on advanced approaches for design with nanoscale transistors. Evaluation and comparison of the effectiveness of the approaches through computer simulation;

- Summarizing the results obtained and offering recommendations for designing analog circuits using nanoscale technologies.

This determines the relevance of the research problem, the goal and objectives of the dissertation work from both a scientific and an applied point of view.

The author of the dissertation work has formulated goals and objectives that are adequate and correspond to the requirements of a dissertation work for acquiring the educational and scientific degree "Doctor".

2. Degree of knowledge of the state of the problem and creative interpretation of the literary material

The dissertation is 172 pages long, including an introduction and four chapters, a list of contributions, a list of publications on the dissertation and used literature. One appendix is also included in the dissertation. A total of 84 literary sources are cited, most of which are from the last ten years. Five of the literary sources are from Bulgarian authors. The cited publications are from renowned international publishing houses, conferences and journals.

The dissertation traces the trends in the design of modern analog integrated circuits and examines the new challenges in the application of deep submicron CMOS technologies that designers face at different stages of the design. At the beginning of the individual chapters, data on the current state of the problems considered in them are given.

This gives me reason to believe that the doctoral student mag. Eng. Alexander Radev knows in detail the current state of the problems being solved, he has managed to creatively interpret and apply the literary material, which is the basis for successfully solving the tasks set.

3. Compliance of the selected research methodology with the set goal and tasks of the dissertation work

The selected research methodology is classical in electronics and microelectronics and allows for successful and qualitative achievement of the set goal and tasks. It includes a comparative critical analysis of the literature, theoretical



development, research, modeling and design of the objects under consideration, testing and validation of the results obtained. Simulation studies are applied to evaluate the results of the design according to the procedures proposed in the dissertation.

4. Brief analytical characterization of the nature and assessment of the reliability of the material on which the contributions of the dissertation are built

The dissertation presents a classification of MOS transistor models and examines the basic equations of the compact models, from which the simplified models used in analytical calculations originate. Particular attention is paid to the effects of the short channel, which are characteristic of deep submicron technologies and which have a significant impact on the accuracy of the applied models.

A review, in-depth analysis and systematization of methods for analytical calculation of analog integrated circuits at the initial stage of their design are carried out. New modern design approaches are considered using three basic transistor models: based on the threshold voltage; based on the inverse charge and based on design using the g_m/I_D methodology. A comparison of the results obtained when applying the three considered design approaches is also carried out.

Approaches have been developed for determining transistor parameters, and for some of them more than one method for extracting them has been presented.

For each of the presented design methods or methods for extracting parameters, advantages, disadvantages, limitations and possible applications are highlighted. In the dissertation work, an in-depth study of the application of these methods in the analysis and design of analog integrated circuits has been carried out.

Procedures for the design of different types of analog integrated circuits using the three considered design methods have been studied. For each of the circuits, design was performed on 45nm technology, and for two of the circuits, design was also performed on 180nm, 16nm and 110nm technologies. A detailed comparative analysis was performed in terms of accuracy and efficiency of the sizing approaches using the different methodologies.

Based on the research conducted, recommendations for the design of analog integrated circuits implemented using submicron and deep submicron technologies have been formulated in the dissertation work.

5. Scientific - applied and applied contributions of the dissertation work

I believe that the contributions have a scientific-applied and applied nature and could be defined as the creation of new research methods, classifications, designs, technologies and schemes, as well as obtaining confirmatory facts.

I accept in principle the contributions formulated by the candidate. They can be summarized as follows:



Contributions of a scientific-applied nature:

1. A systematic and in-depth literature study and classification of MOS transistor models and their application possibilities in the initial (analytical) calculations of analog integrated circuits has been carried out. The influence of short channel effects in deep submicron technologies has been studied.

2. An analysis of the methods for analytical sizing of analog integrated circuits using the three basic transistor models has been made. For each of these methods, the corresponding equations have been systematized and based on them, analytical sizing procedures have been proposed. They have been applied to the sizing of transistors operating in weak, moderate and strong inversion. A comparative assessment of the accuracy of the considered methods has been made.

3. A study, analysis and systematization of the methods for experimental determination of the main transistor parameters has been carried out. Procedures for extracting transistor parameters have been proposed, which have been successfully applied to the determination of the parameters for two submicron (110nm and 180nm) and two deep submicron (16nm and 45nm) technologies.

4. Based on the three analytical sizing methods, advanced procedures have been developed for the design of the main classes of functional elements of analog integrated circuits at the three levels of transistor inversion. The procedures have been successfully applied with models of four different technologies (16nm, 45nm, 110nm and 180nm), which confirms their universality. A comparative assessment of the accuracy and efficiency of the relevant procedures has been carried out.

5. A semi-empirical approach for designing a temperature-stable voltage source based on MOS transistors in weak inversion using the g_m/I_D methodology has been developed.

Applied contributions:

6. Based on the conducted in-depth research, the dissertation formulates recommendations for the design of analog integrated circuits implemented using submicron and deep submicron technologies.

I believe that the results obtained are original and fully comply with the requirements for a dissertation for the acquisition of the educational and scientific degree "Doctor".

6. Assessment of the degree of the dissertation candidate's personal participation in the contributions

I judge the degree of the personal participation of M.Eng. Alexander Radev in the contributions by the number of independent scientific papers - a total of 5. This gives me reason to assume that the contributions in the dissertation work are the candidate's personal work.



7. Assessment of publications on the dissertation work: number, nature of the editions in which they are printed. Reflection in science – use and citation by other authors, in other laboratories, countries, etc.

5 publications have been made on the dissertation work: two reports at a national conference with international participation National Conference with International Participation (Electronica), Bulgaria (IEEE, Scopus), two reports at an international conference International Scientific Conference Electronics (ET), Bulgaria (IEEE, Scopus) and one article in a peer-reviewed scientific journal "Electrical Engineering and Electronics" - "E+E", Bulgaria.

Four of the scientific publications are in editions that are referenced and indexed in world-renowned databases of scientific information (Scopus). The main results of the dissertation work are available to the Bulgarian and international scientific community.

An author's reference is presented for a total of 5 citations of publications [1], [3] and [4]. The citations are in scientific papers presented at international scientific forums from the last three years, which confirms the relevance and high assessment by the scientific community of the results achieved by the doctoral student.

8. Use of the results of the dissertation work in scientific and social practice. Presence of achieved direct economic effect, etc. Documents on which the statement is based.

No documents have been submitted for the participation of the doctoral student in research contracts and projects.

9. Assessment of the compliance of the abstract with the requirements for its preparation, as well as the adequacy of reflecting the main points and contributions of the dissertation work.

The abstract is in accordance with the requirements for its preparation and adequately reflects the main points and contributions of the dissertation work, the publications made and the data on their citations.

10. Opinions, recommendations and notes

I have no serious remarks and recommendations to the presented dissertation work. I would like to especially emphasize the creative and thorough work of the doctoral student. The achieved contributions are the result of both the in-depth theoretical knowledge in the field of CMOS integrated circuits, implemented using deep submicron technologies, which the doctoral student applies in the analytical description and development of modeling and design methods, and the excellent command of the tools for computer simulation of these circuits. The doctoral student's work is characterized by a high educational level and accumulated theoretical and practical research experience in an extremely relevant scientific field.



11. Conclusion with a clear positive or negative assessment of the dissertation work

The presented dissertation work is characterized by the depth of the development, the achievement of significant results and contains significant contributions of a scientific-applied and applied nature. The publications made have been presented at authoritative scientific forums, are included in world databases and are available to the international scientific community. Based on the above, I give a **positive assessment** of the dissertation work and believe that it fully meets the requirements of the Law on the State of the Republic of Bulgaria, the regulations for the implementation of the Law on the State of the Republic of Bulgaria and the Regulations on the conditions and procedure for acquiring scientific degrees at TU-Sofia. I propose to the esteemed Scientific Jury to award M. Eng. Alexander Petkov Radev the scientific degree "doctor" in the professional field: 5.2. "Electrical engineering, electronics and automation", scientific specialty "Theory of electronic circuits and electronic circuit engineering".

Date: 31.08.2025

Reviewer:

(n)

(Prof. Dr. Eng. Elissaveta Gadjeva)

