

Web-базиран експертен модул “Макромодели на биполярни/полеви и CMOS операционни усилватели в PSpice”

Web-based Module “PSpice Macromodels of Bipolar/FET and CMOS OpAmps”

Елена Дикова Шойкова, Ивайло Миланов Пандиев
Технически университет - София

1. Въведение

От една страна утвърждаването на операционните усилватели (ОУ) в съвременните аналогови електронни устройства се дължи на високото качество и прецизност на създадените функционални възли. От друга страна ОУ се произвеждат под формата на сравнително евтини интегрални схеми (ИС) изискващи малък брой външни дискретни елементи за реализиране на разнообразни като структура и приложение електронни схеми и устройства. Днес проектирането на схеми с ОУ се извършва с помощта на професионални ECAD системи базирани на PSpice продуктите. Тава поражда необходимостта от създаване и усъвършенстване на макромодели на ОУ, които да обслужват процеса на проектиране и разработка. На практика почти всеки месец в *Web-sites* на водещите фирми-производителки на ИС се публикува списък включващ новите ОУ и съпровождащите ги макромодели, за които обаче няма достатъчно систематизирана и точна информация за областта на приложение и точността на моделиране.

В отговор на тази потребност беше създаден Web-базиран експертен модул “*Макромодели на биполярни/полеви и CMOS операционни усилватели в PSpice*” предназначен да подпомага и поддържа в реално време работата на студенти и специалисти от електронната индустрия в процеса на автоматизирано проектиране на аналогови и смесени (аналого-цифрови) схеми и устройства използвайки професионални програмни системи базирани на *PSpice* продуктите. Web-приложението представлява интегрална част от виртуалната среда за теле-обучение по Електроника[5].

2. Образователни цели

След успешното завършване на обучението студентите ще трябва да разбират същността на макромоделирането и да използват подходящи макромодели на операционни усилватели при автоматизираното проектиране на електронни схеми.

Специфични образователни цели. Изучавайки този модул студентите ще придобият следните теоретични знания и професионални умения:

- Да класифицират макромодели на ОУ
- Да обясняват принципите за макромоделиране на ОУ
- Да формулират ясно предимствата и недостатъците на четирите нива на сложност на макромодели при отразяване на експлоатационните параметри и характеристики на ОУ
- Да познават и използват *PSpice*-библиотеките съдържащи макромодели на ОУ
- Да идентифицират отделните стъпала в еквивалентната схема на макромодели
- Да дефинират ролята на елементите в еквивалентната схема на макромодели
- Да обясняват различните типове зависими източници в *PSpice* и ролята им в макромодели

- Да дефинират подсхеми и приложението им за представяне на макромоделите в *PSpice*
- Да формулират критерии за избор на най-подходящ макромодел в контекста на конкретен проект
- Да обясняват отделните фази в методиката за симулационно тестване на макромоделите на ОУ
- Да извършват симулационно тестване на макромоделите на ОУ
- Да анализират симулационните резултати с графичния постпроцесор *Probe*
- Да сравняват симулационни и каталожни данни и оценяват точността на моделираните експлоатационни параметри и характеристики.

Друга важна образователна цел на модула, освен обучението по електроника, е да подготви обучаемите как да: работят ефективно в екип, аргументират ясно и мотивирано своите становища, самостоятелно да обясняват и разширяват професионалните си знания и умения, използвайки съвременните информационни технологии.

3. Методология за макромоделиране на операционни усилватели

Методологията за макромоделиране на интегралните операционни усилватели е организирана около следните по-важни теми:

- **Структура и съдържание на библиотеките макромодели на ОУ в *PSpice***
- **Принципи и техники за макромоделиране на ОУ**
 - Подходи за изграждане и класификация на макромоделите на ОУ
 - Зависими източници: линейни зависими източници, нелинейни зависими източници
 - Подсхеми в *PSpice*
- **Стандартизирано описание на макромоделите на биполярни/полеви ОУ в *PSpice***
 - Ниво 1. Стандартен макромодел на *Boyle* на биполярен/полеви ОУ
 - Ниво 2. Усъвършенстван макромодел на *Boyle* на биполярен/полеви ОУ
 - Ниво 3. Модифициран макромодел на *Boyle* на биполярен/полеви ОУ с допълнителни полюсно/нулеви двойки
 - Ниво 4. Опростена схема на ниво компоненти
 - Линеен динамичен макромодел на биполярен ОУ
- **Стандартизирано описание на макромоделите на CMOS ОУ в *PSpice***
 - Ниво 1. Стандартен макромодел на *Boyle* на CMOS ОУ
 - Ниво 2. Усъвършенстван макромодел на *Boyle* на CMOS ОУ
 - Ниво 3. Модифициран макромодел на *Boyle* на CMOS ОУ с допълнителни полюсно/нулеви двойки
- **Процедура за линеаризиране на универсалните (нелинейни) макромодели**
 - Линеен макромодел на операционни усилватели от различните нива на сложност
- **Симулационно тестване на макромоделите на ОУ**
 - Методика
 - Процедури за симулационно тестване на макромодели на биполярни/полеви и CMOS ОУ

- Сравнителен анализ на макромоделите на интегрални ОУ в *PSpice*, с цел оценка на точността и дефиниране на практически препоръки за използване на макромоделите в контекста на конкретен проект.

4. Проектиране и реализация на Web-базирания експертен модул

Създаването на Web-базирания експертен модул е извършено съобразно методологията [3, 6 и 7] за проектиране на *Internet*- базирани клиент/сървър приложения. Основните характеристики на общата методология са следните:

- Тя е разработена според принципите на системния подход и разкрива цикличния характер при управлението на всеки проект. Това не е просто указание за последователност от стъпки необходими за навременното завършване на проекта, а систематичното обединяване на **ключовите дейности**: анализ, избор на решение (архитектура), реализация, производство и поддръжка.

- Дейностите предвидени за изпълнение на всеки етап са:

- **Анализ**: идентифициране на потребителите, дефиниране на спецификация, моделиране и оптимизация.

- **Избор на решение (архитектура)**: структуриране на данните/програмите, архитектура клиент/сървър.

- **Реализация**: програмиране на статичните *HTML*-страници, създаване на потребителския интерфейс и *Java scripts*, разработка на клиент/сървър приложенията.

- **Производство и поддръжка**: инсталиране, тестване и настройка на системата, функционалност, удобство за потребителя, ефективност на обучението.

- Методологията е изградена като същностно итеративен процес. Отделните **итерации**: планиране, моделиране и създаване на прототип, оценка, реализация и следващо усъвършенстване на изделието, са необходими за прецизиране и разширяване на ключовите проектни дейности. На практика те действително представляват итерации, а не отделни фази в разработката на проекта, при които всяка дейност се изпълнява на различно ниво на детайлизация.

- На всяка итерация се изпълняват всички дейности, но някои от тях изискват повече усилия от други. За следваща реализация или усъвършенстване на един продукт или приложение е необходимо да се повтори отначало целия процес от първата итерация.

4.1. Анализ на потребностите и цел на разработката

Анализът на съвременната практика показва, че почти 20% от огромното информационно осигуряване и богатите функционални възможности на съвременните *ECAD* системи се използват от повечето потребители. Това води до неоправдано удължаване на процеса на проектиране и разработка, като осъбява крайния продукт.

Съвременните комуникационни технологии и по-специално *Internet* платформата представляват мощно средство за повишаване на ефективността на работа и получаване на точна и актуална информация в реално време.

В настоящият момент *World Wide Web (WWW)* системата е основна технологична база за създаване и развитие на виртуални среди за обучение и по специално за изграждане на *електронни (компютърно-базирани) системи за поддръжане на дейности в реално време* [6] и интегрирането им в организационната структура на конкретна образователна/трудова среда.

Цел на разработката. Проектиране и реализация на Web-базиран експертен модул. "Макромодели на биполярния/полеви и CMOS операционни усилватели в PSpice", който да съпровожда работата на проектанта на електронни схеми (EC) с операционни усилватели в реално време организиран около следните по-важни теми:

Първа част - методологична част представяща принципите за изграждане на макромодели на ОУ, класификация, зависими източници и подсхеми в PSpice.

Втора част - справочна част съдържа описание на макромоделите (еквивалентна схема, елементи, зависими източници, моделирани експлоатационни параметри и характеристики).

Трета част засяга методика за симулационно тестване на макромоделите.

4.2. Избор на архитектура

Информацията и ресурсите в електронен формат, до които се осъществява достъп в системата са структурирани в над 1000 файла (12MB). Източници за обекта на изследване са: книги [1, 2], множество статии в областта, някои от тях публикувани и в *Internet*, анотациите представени в началото на всяка PSpice-библиотека и специализираната техническа документация към *EDA DesignLab (OrCAD)*. Управлението и достъпа до информацията в модула се осъществява от *Enterprise Netscape Server*. Също така за работа с модула се планира използване от клиента на *Web browser* с графичен потребителски интерфейс поддържащ *Java* тип *Netscape Communicator (version 4.0* или по-късна).

Технологичните средства за разработка на приложението са: *HTML* език (*version 3.2* или по-късна) за публикуване в *WWW*, *Java scripts (version 1.1* или по-късна) изпълняван при клиента за проектиране на графичния потребителски интерфейс и *Java Scripts (version 1.1)* изпълняван върху сървъра, за проектиране на *CGI*-интерфейс реализиращ общо търсене върху *Netscape server*. Моделът на архитектурата клиент/сървър е представена в [4].

4.3. Изграждане на прототип

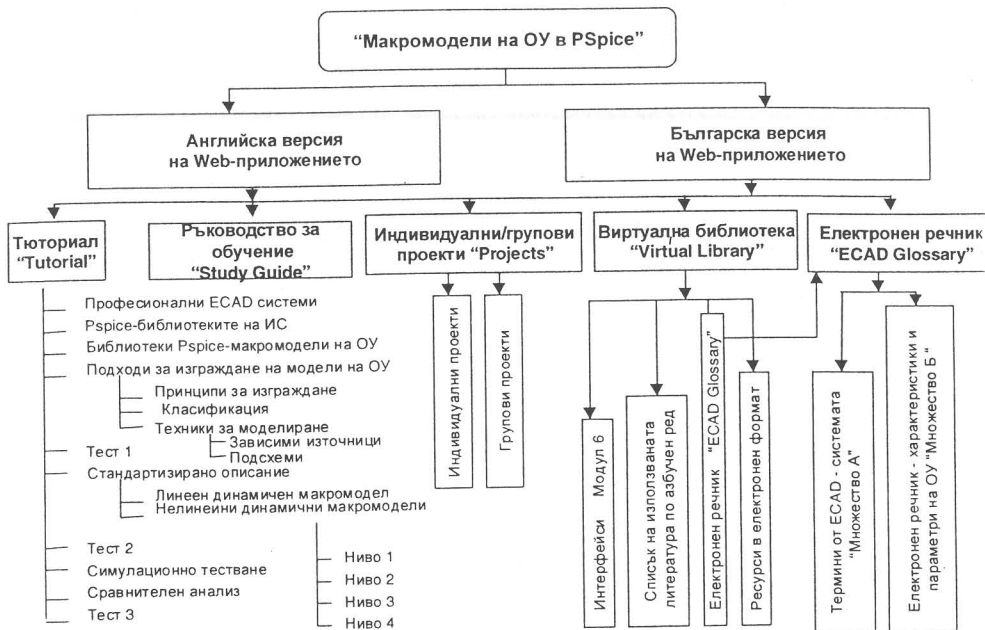
Създаването на прототип засяга процесите свързани с: програмиране, тестване и внедряване на Web-приложението [6]. Тези дейности включват детайлно реализиране на всеки компонент от системата (програми, потребителски интерфейс, бази данни), тестване и настройка на всички кодове и клиент/сървър приложения. Реализираният прототип е пряко свързан и подчинен на избраната архитектура и използваната платформа за внедряване и работа на системите.

Форми и средства за обучение. Обучението в модула се базира на следните медии материали: Web-базирани приложения, печатен материал, демонстрационен CD-базиран материал, индивидуален/групов проект, *Tele Assistance*.

Структурата на Web-базирания модул представена на фиг.1 най-общо се състои от пет програмни единици, със следните по-важни функции:

- *Ръководство за обучение*, включващо описание на отделните части на курса, план на учебния процес (самоподготовка, лабораторна практика, проект) инструкции към обучаемия за изпълнение на заложените дейности (проект, домашни задачи, тестове) и някои допълнителни възможности за избор на индивидуален план на работа.

- *Тюториал*. Експертен Web-базиран модул интегриращ всички учебни и комуникационни функции предназначен да съпровожда, чрез система от инструкции и средства за оценка процеса на обучение в реално време. Също така в него са



Фиг.1. Структура на интерактивната система

заложили множество връзки сред личности (тютори, експерти, други обучаеми) и натрупани ресурси (програми, публикации, книги, *Web*-адреси) с цел разширяване възможностите за обмен на информация и идеи, и обогатяване на самия учебен процес с нови социални контакти между хора намиращи се на отдалечени места един от друг.

Освен това в *Web*-модула е реализирано и *CGI*-приложение за автоматично общо търсене върху сървъра във всички *PSpice*-библиотеки съдържащи макромодел на ОУ. По този начин при заявка от клиента може да се определи има ли, избран ОУ макромодел или не, ако ОУ е представен с макромодел автоматично се генерира динамичен *HTML*-файл със списък от връзки към *PSpice*-библиотеките съдържащи търсеното име. Допълнително за идентифициране на нивото на сложност и типа макромодел, с който е представен ОУ е дадена възможност да се направи преглед на частта от *Web*-базирания *Тюториал* включващо описание на макромоделите с техните основни компоненти.

- *Индивидуални/групови проекти*. *Web*-базираният модул включва определен брой спецификации на проекти завършващи цикъла на обучение. Всеки индивидуален проект обхваща няколко подтеми изучавани в модула като са добавени и инструкции трасиращи пътя показвайки на обучаемите какво трябва да се направи и в какъв ред да протече изпълнението на задачите. Централно място в структурата на груповите проекти заема рубриката описваща работата в екип и разпределението на ролите между всички членове от групата. Колективното обучение базирано на

проекти е значително по-продуктивно за студентите, отколкото индивидуалната работа. Това разбиране се гради върху идеята, че комплексните проблеми в индустрията по-често се решават от професионални екипи, чиито членове са равнопоставени, отколкото от отделни личности. Всеки екип се състои от минимум трима души, от които единият е ръководител на проекта. Различните членове на групата имат съответна компетентност и отговорност, а също така могат да прилагат различни методи за интерпретация при решаване на проблема.

Пример. За илюстрация на казаното по-горе е представен пример за организация на групов проект с тема: *Сравнителен анализ на Pspice - макромодел на ОУ чрез симулации.*

А. Спецификация. Обект на сравнителен анализ са следните макромодел на ОУ: *OPA27, OPA37, OPA627, OPA177, OPA604, OPA2604, OPAo20.* Тези усилватели бяха избрани, тъй като в PSpice-библиотеката са представени с макромодел от различни нива на сложност, всички са прецизни, с ниско ниво на шумовете и имат честота на единичното усилване над 1MHz .

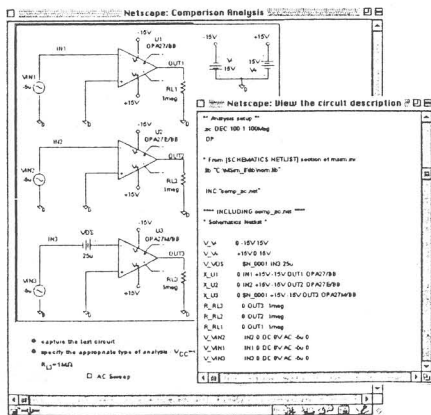
Б. Роли на отделните членове. Групата се състои от четири члена със следните роли: *Ръководител на проекта, Проектант, Експерт по макромодел на ОУ и Експерт по симулации.* Задачите, които изпълнява всеки член от групата са следните:

- *Ръководителят*, съставя план и управлява работата, разпределя ролите, анализира и оценява резултатите, оформя в писмен вид проекта.
- *Проектът*, търси и систематизира информация в *Internet* за избрания ОУ, анализира каталожните данни, съставя схемите за стимулационно тестване.
- *Експерт по макромодел на ОУ*, избира подходящи макромодел в контекста на конкретен проект, идентифицира моделираните параметри, оценява точността на макромоделите.
- *Експерт по симулации*, подготвя схемите за симулации, специфицира анализи и изпълнява симулациите, анализира резултатите в графичен и табличен вид.

При изпълнението на проектите обучаемите могат да осъществяват консултации с Web-базирания *Тюториал*, както и да обменят информация с всички регистрирани потребители на средата за дистанционно обучение.

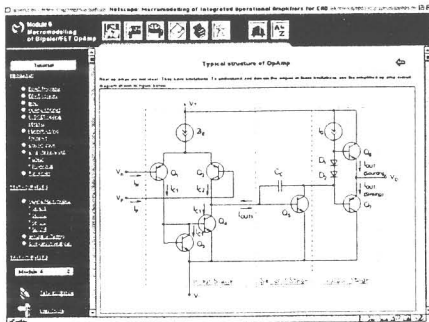
На фиг.2 е показано симулационно тестване на честотна характеристика за макромодел ОУ тип *OPA2C* представен с три различни модела (*OPA27/BB, OPA27E/BB и OPA27M/BB*) използвайки стандартен *CIR*-файл предназначен за *PSpice* симулации.

Всяка група получава различна спецификация. Обучаемите е необходимо да реализират собствени експерименти и да интерпретират получените резултати. За правилното изпълнение на проекта трябва да се проучи



Фиг.2. Сравнителен анализ на макромоделите

Web-базирания *Тюториал*, информационно осигуряване на най-популярните *ECAD* системи, както и актуални публикации в *Internet* разглеждащи предмета на изследване достъпни от виртуалната библиотека на курса.



Фиг.3а. Визуализиране на основната информация в приложението

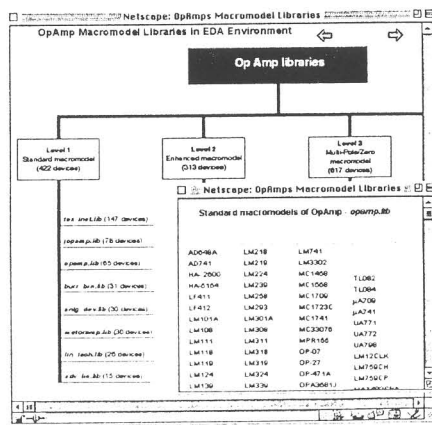
- *Електронен речник* (версии на български и английски език) [4]. Включващ описание на около 42 основни експлоатационни параметри на реалните ОУ отразени в моделите от различните нива на сложност.

- *Виртуална библиотека*, осигуряваща следните ресурси: интерфейси (Web-адреси към производители на ИС, заглавия на книги, публикации), пълен списък на всички ресурси с последователен (търсене на азбучен ред) или автоматичен достъп

по заявка от клиента, ресурси в електронен формат (лекции - *MS Power Point*), програми, библиотеки, публикации - *Adobe PDF* или *MS Word, MS Power Point*).

Информационната структура на екрана за визуализиране на основната и допълнителната информация в системата е показана на фиг. 3а,б. Екранът на приложението (фиг. 3а) има фреймова структура и е разделен на три части:

- *Ляв фрейм*, показва съдържанието на текущата рубрика с вградени хайпервръзки и допълнително заложили възможности за преходи към комуникационната област, ръководството на потребителя и заглавната страница на курса.
- *Десен фрейм*, в който се визуализира основната информация получена в резултат от активирани връзки по съдържанието. В десния фрейм са дефинирани и бутони за навигация осъществяващи преходи с една стъпка.



Фиг.3б. Визуализиране на допълнителна информация в приложението

- *Горен фрейм*, позволяващ достъп до другите учебни функции в модула.

Визуализирането на допълнителна информация са получава в резултат от активирани вътрешни връзки и *Java scripts* в десния фрейм на екрана на приложението (фиг. 3б), като се извиква отделен прозорец, в който се зарежда избрания файл.

Тази стратегия [3,6] на представяне на информацията определя гъвкавост и удобство при работа с интерактивната система. Запазването на съдържанието в лявата страна и навигацията в горната част, за всяка функция, улесняват допълнително потребителя и дават възможност да се определи във всеки

момент текущото състояние и позиция в приложението.

5. Заключение

Постижения на екипа:

1. Създаване на методология за макро моделиране на операционни усилватели използвани в информационното осигуряване на съвременните ECAD системи.
2. Систематизиране на информацията за съвременните биполярни/полеви и CMOS ОУ използвани в информационното осигуряване на ECAD системите.
3. Проектиране и реализация на електронна (компютърно-базирана) система за подпомагане и поддържане на дейности в реално време реализирана като Web-базирано приложение с прилагане на Web и Java технологии.

Изграденият прототип на Web-базирания експертен модул функционира интегриран към виртуалната среда за Теле-обучение, като достъпът е организиран, чрез Web-site ([WWW:http://demlab.vmei.acad.bg/course](http://demlab.vmei.acad.bg/course)) на НПЛ “Дистанционно обучение и мултимедия” в Технически университет - София.

Пилотният експеримент на дистанционния курс и средата за обучение е извършен със студенти от специалност, Електроника, 3 курс, Технически Университет - София.

Литература

- [1] Алексенко, А., Б. Зуев. *Макромоделирование аналогови интегрални микросхеми*. Москва, “Радио и связь”, 1983.
- [2] Шойкова, Е., И. Пандиев. *Макромодели на операционни усилватели в PSpice*. РЦДО – София, 1999.
- [3] Newman, W., M. Lamming. *Interactive system design*. Rank Xerox Research Center, Cambridge, UK, 1995, ISBN: 0-201-63162-8.
- [4] Shoikova, E., I. Pandiev. Multilingual ECAD Glossary - Design and prototyping, *The seventh International Conference ELECTRONICS '98, Sozopol, BG, Sep. 1998* pp. 75-82.
- [5] Shoikova, E., S. Tzanova, I. Pandiev, D. Kolev. VLE-ECAD/ELL Project. An OLD course on Electronics Computer Aided Design. “*ISSE'99*” Dresden, Germany, 1999, pp. 372-378.
- [6] Stevens, G., E. Stevens. *Designing of electronic performance support tools* Educational Technology Publications, Inc Englewood cliffs, New Jersey 07632, US, 1995, ISBN: 0-87778-283-0.
- [7] Umar, A. *Application (Re) Engineering building Web-based application and dealing with legacies*. Prentice-Hall, US, 1997, ISBN: 0-13-750035-1.