



# **ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – СОФИЯ**

---

**Факултет по телекомуникации  
Катедра „Технологии и мениджмънт на комуникационни  
схеми“**

**маг. инж. Катерина Методиева Костова**

**Разработване на методи и средства за електронно  
обучение по автоматизация на проектирането с  
използване на изкуствен интелект**

## **А В Т О Р Е Ф Е Р А Т**

**на дисертация за придобиване на образователна и научна степен  
"ДОКТОР"**

**Област: 5. Технически науки**

**Професионално направление: „5.3 Комуникационна и компютърна  
техника“**

**Научна специалност: „Автоматизация на инженерния труд и системи  
за автоматизирано проектиране“**

**Научен ръководител: доц. д-р инж. Галя Маринова**

София, 2026 г.

Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита от Катедрения съвет на катедра „Технологии и мениджмънт на комуникационни схеми“ към Факултет по телекомуникации на ТУ-София на редовно заседание, проведено 19.05.2026 г.

Публичната защита на дисертационния труд ще се състои на **23.07.2026** от **15:00** часа в Конферентната зала на БИЦ на Технически университет – София на открито заседание на научното жури определено със заповед №: **ОЖ-5.3-46** от **22.05.2026** г. на Ректора на ТУ-София в състав:

1. доц. д-р инж. Боянка Маринова Николова – председател
2. доц. д-р инж. Ростислав Павлов Русев – научен секретар
3. доц. д-р инж. Валентин Ангелов Мутков
4. доц. д-р инж. Адриана Найденова Бороджиева
5. проф. д-р инж. Даниела Иванова Борисова

Рецензенти:

1. доц. д-р инж. Боянка Николова
2. проф. д-р инж. Даниела Борисова

Материалите по защитата са на разположение на интересуващите се в канцеларията на Факултет по телекомуникации на ТУ-София, блок 1, кабинет № 1306.

Дисертантът е редовен докторант към катедра „Технологии и мениджмънт на комуникационни схеми“ към Факултет по телекомуникации на ТУ-София. Изследванията по дисертационната разработка са направени от автора, като някои от тях са подкрепени от научноизследователски проекти.

**Автор:** маг. инж. Катерина Методиева Костова

**Заглавие:** Разработване на методи и средства за електронно обучение по автоматизация на проектирането с използване на изкуствен интелект

**Тираж:** 20 броя

**Отпечатано в ИПК на Технически университет – София**

# I. ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

## **Актуалност на проблема**

Съвременното проектиране на електронни устройства се характеризира с нарастваща сложност, обусловена от увеличената плътност на компонентите, високите изисквания към скоростта на сигналите и необходимостта от оптимизация на експлоатационните характеристики. Тези фактори водят до значително усложняване на процесите на автоматизирано проектиране (АП) и увеличават времето за разработка, както и вероятността от допускане на грешки.

В този контекст внедряването на методи и средства на изкуствения интелект (ИИ) в системите за автоматизирано проектиране се утвърждава като ефективен подход за повишаване степента на автоматизация, оптимизация на проектите решения и съкращаване на времето за разработка. Наред с това, развитието на генеративните езикови модели, като ChatGPT, създава нови възможности за подпомагане както на инженерната практика, така и на обучението в областта на АП.

Въпреки наличието на мощни софтуерни инструменти, обучението и работата с тях остават предизвикателство както за студентите, така и за професионалистите. Липсата на интегрирани интелигентни обучителни среди, недостатъчната интерактивност и сложността на съществуващите платформи обуславят необходимостта от разработване на нови методи и средства за електронно обучение, базирани на изкуствен интелект (ИИ).

Това определя актуалността на настоящия дисертационен труд, насочен към разработване на иновативни подходи за интегриране на ИИ в процесите на обучение и автоматизирано проектиране.

## **Цел на дисертационния труд, основни задачи и методи за изследване**

Основната цел на дисертационния труд е разработването на методи и средства за електронно обучение по автоматизация на проектирането, базирани на използването на изкуствен интелект, с цел повишаване ефективността на обучението и подпомагане на процесите на проектиране.

За постигане на поставената цел са формулирани следните основни задачи:

- Анализ на съществуващите методи и средства за автоматизирано проектиране и електронно обучение, както и ролята на изкуствения интелект в тях;
- Изследване и систематизиране на математически методи и методи на изкуствения интелект, приложими при автоматизираното проектиране;
- Дефиниране на критерии и модели за автоматичен избор на инструменти за проектиране в платформата Online-CADCOM;
- Създаване и разширяване на база със знания за подпомагане на избора на инструменти и разработване на електронно съдържание;
- Разработване на методики за използване на генеративни езикови модели, като ChatGPT, в обучението по автоматизирано проектиране;
- Провеждане на изследвания и анализ на ефективността на предложените методи;

- Изследване на възприятията и нагласите на студентите към използването на ChatGPT в академична среда.

В дисертационния труд са използвани следните методи за изследване:

- методи за многокритериален анализ на решенията (MCDA), теория на полезността при множество атрибути (MAUT), матрица на решенията (Decision Matrix) и PROMETHEE;
- критериално-базиран бинарен матричен метод за сравнителен анализ на изследвани инструменти;
- математически метод за попълване на характеристични паспорти;
- математически методи за обработка, анализ и визуализация на анкетни данни;
- методи за изкуствения интелект използвани в програмите за автоматизирано проектиране.

## **Научна новост**

Научната новост на дисертационния труд се изразява в следното:

- Предложен е комплексен подход за интегриране на изкуствен интелект в електронното обучение по автоматизирано проектиране;
- Разработени са нови методики, включително и с използване на изкуствен интелект, за автоматичен подбор, характеризирание и попълване на електронното съдържание за различни типове елементи и схеми към Експертния модул на Online-CADCOM;
- Добавено е електронно съдържание за избор на инструменти за подбор и проектиране на нови типове елементи и схеми с цел разширение на Базата със знания към Експертния модул с многокритериални методи на платформата Online-CADCOM за подпомагане на автоматизираното проектиране;
- Разработени са на нови методики за използване на ИИ, като ChatGPT, за подпомагащо средство в обучението по автоматизирано проектиране и инженерната практика;
- Извършена е валидация на разработените методики, чрез реално учебно лабораторно упражнението, казуси и анализ на емпирични данни;
- Изследвани са нагласите, възприятията и влиянието на ChatGPT върху обучението на студенти, развитието на умения и подготовката за пазара на труда на студентите, чрез събиране и анализ на статистически данни.

## **Практическа приложимост**

Практическата приложимост на резултатите от дисертационния труд се изразява в:

- Разширяване и усъвършенстване на функционалностите на платформата Online-CADCOM;
- Създаване на реално приложими бази със знания за избор на инструменти за проектиране на електронни компоненти и схеми;
- Създадено е лабораторно упражнението, което е изпълнено в рамките на курса „Компютърно проектиране в комуникациите“;
- Подпомагане на студенти и инженери с ChatGPT при работа с инструменти за автоматизирано проектиране;
- Намаляване на времето за проектиране и повишаване на качеството на проектните решения, чрез ускоряване на ранните проектни решения,

- подпомагане при отстраняване на проблеми и автоматизиране на времеемки задачи;
- Внедряване на разработените методики в образователни и инженерни практики.

## **Апробация**

Основните резултати от дисертационния труд са апробирани чрез участие в международни научни конференции и публикуване в рецензирани научни издания, индексирани в международни бази данни като IEEE Xplore и Scopus. Реализираните изследвания са проведени в рамките на четири, успешно приключили научноизследователски проекта - един финансиран от фонд „Научни изследвания“, един научноизследователски проект в помощ на докторанти в Технически университет - София и два с международно участие. Разработено е лабораторно упражнение, което е апробирано в учебния процес във Факултета по телекомуникации при Технически университет - София.

## **Публикации**

По дисертационния труд са направени 7 публикации на международни конференции, от които 6 са реферирани в Scopus. Една от публикациите е самостоятелна, а останалите са в съавторство. Публикациите са представени на международни конференции и в научни списания, индексирани в IEEE Xplore и Scopus.

## **Структура и обем на дисертационния труд**

Дисертационният труд е в обем от 206 страници, включващ увод, шест глави, заключение, библиография, списъци с публикации и цитирания. Отделно е разработено приложение в обем от 95 страници, съдържащо описание на разработеното лабораторно упражнение, характеристични паспорти на елементите в създадената база знания и код за обработка на данните от направеното статистическо изследване. Цитирани са общо 135 литературни източника. Дисертационният труд включва общо 73 фигури и 51 таблици.

## **II. СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД**

### **ГЛАВА 1. Аналитичен обзор на приложението на изкуствен интелект за електронно обучение по автоматизирано проектиране.**

В първа глава е извършен задълбочен аналитичен обзор на приложението на изкуствения интелект в автоматизираното проектиране (АП) и електронното обучение. Разгледани са съвременни подходи за интегриране на ИИ в различните етапи на проектиране – от схемно проектиране и симулация до топологично оформление и верификация. Анализът обхваща широк спектър от методи, включително машинно обучение, невронни мрежи, еволюционни алгоритми и хибридни подходи. Приложението на ИИ в АП - Аналогови схеми, RF схеми и печатни платки - е систематизирано по четири направления като обхваща проектните задачи от поведенческата, структурната и топологичната област, съответните ИИ подходи (машинно обучение, невронни мрежи, многоцелева оптимизация, хибридни методи), математическите методи (ANN, BNN, GA, SPEA2, NSGA-II, MOEA/D, Байсова оптимизация, ReLU и регресионни методи) и конкретните инструменти за АП (SPICE симулатор, Continuity, CELUS, JITX, Circuit Tree, Circuit Mind, Zuken).

Представен е сравнителен анализ на водещи платформи за автоматизирано проектиране, включително Siemens EDA, Cadence OrCAD X, Flux.ai, Quilter.ai,

DeepPCB.ai и Zuken CR-8000. Анализирани са техните функционалности, степен на автоматизация и интеграция на ИИ. Платформите са сравнени по три показателя - фокус на ИИ функционалностите, обхват на автоматизацията и лицензионен модел. Сравнителният анализ показва, че платформите покриват целия проектен цикъл от схемно проектиране до верификация и оптимизация на оформлението. Те комбинират подходи от естествен език и машинно обучение с обучение с утвърждение (reinforcement learning). Лицензионният модел варира от корпоративни платени решения (Siemens, Cadence, Zuken, Quilter) до месечен абонамент достъп (Flux.ai, DeepPCB.ai).

Разгледани са възможностите на генеративните езикови модели, като ChatGPT, за подпомагане на инженерната дейност и обучението. Показано е, че ChatGPT може да подпомага процесите на дефиниране на изисквания, избор на компоненти, интерпретация на резултати и създаване на документация. Ролята на ChatGPT в различните етапи на автоматизираното проектиране е описана като допълващ инструмент, обхващащ седем ключови етапа от дефинирането на изисквания и схемното проектиране до документацията и обучението. Установено е че ChatGPT не замества специализирания софтуер за АП, а го допълва чрез генериране на спецификации, анализ на данни, интерпретация на грешки и автоматизирано създаване на документация.

Извършен е анализ на средствата за електронно обучение по автоматизирано проектиране и са идентифицирани основните проблеми – стръмна крива на обучение, липса на интуитивна документация, недостатъчно ясна обратна връзка при грешки, трудност при свързване на теория и практика и ограничен достъп до преподаватели или асистенти.

Представена е платформата Online-CADCOM като средство за подпомагане на проектирането и обучението. Описана е нейната архитектура и функционалност, като тя е илюстрирана на Фигура 1.



Фигура 1. Архитектура на облачно базираната платформа Online-CADCOM.

В края на главата са формулирани изводи, в които са обобщени основните недостатъци на съществуващите решения и е обоснована необходимостта от разработване на нови методи и средства за електронно обучение с използване на изкуствен интелект. На тази основа е формулирана целта на дисертационния труд и са дефинирани основните задачи.

## ГЛАВА 2. Математически методи и средства за вземане на решения и статистическа обработка. Методи за ИИ и методи за избор и проектиране на елементи и схеми.

Във втора глава са представени математически методи и средства за вземане на решения, статистическа обработка на данни и методи на изкуствения интелект, приложими в автоматизираното проектиране.

Подробно са разгледани методи за многокритериален анализ, включително теория на полезността при множество атрибути (MAUT) и методът PROMETHEE. Представени са техните математически модели и формализации чрез съответните зависимости.

Многоатрибутна полезностна функция:

$$(1) F(a_j) = \sum_{i=1}^k w_i u_{ij}, j = 1, 2, \dots, n$$

За всеки критерий се има предвид функция на предпочитанията:

$$(2) P_j(a, b) = H_j[d_j(a, b)]$$

където разликата между алтернативите е:

$$(3) d_j(a, b) = f_j(a) - f_j(b)$$

Агрегираният индекс на предпочитание се дефинира като:

$$(4) \pi(a, b) = \sum_{j=1}^k w_j P_j(a, b)$$

Тази функция изразява степента, до която алтернатива  $a$  е предпочитана пред алтернатива  $b$ , и се използва за изчисляване на потоци в метода PROMETHEE.

Разработен е критерийно-базиран бинарен матричен метод за сравнителен анализ на инструментите за автоматизирано проектиране, представен чрез матрична структура:

$$(5) \mathbf{M} = \begin{bmatrix} \phi(T_1, C_1) & \phi(T_2, C_1) & \dots & \phi(T_n, C_1) \\ \phi(T_1, C_2) & \phi(T_2, C_2) & \dots & \phi(T_n, C_2) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \phi(T_1, C_m) & \phi(T_2, C_m) & \dots & \phi(T_n, C_m) \end{bmatrix} \in \{0,1\}^{m \times n},$$

Предложени са математически методи за създаване и попълване на характеристични паспорти на инструментите. Процесът на попълване на паспорта за конкретен инструмент  $t$  се описва като детерминирана функция:

$$(6) P(t) = (f_1(t), f_2(t), \dots, f_n(t)),$$

Използвани са методи за статистическа обработка и визуализация на анкетни данни, илюстрирани чрез графики.

Основният метод за първичен анализ е изчисляването на абсолютни честоти, дефинирани като:

$$(7) f_i = \text{брой отговори в категория } i$$

В допълнение са изчислени относителни честоти (в проценти), които представляват основата на всички графични визуализации:

$$(8) p_i = \frac{f_i}{N} \times 100$$

За обобщаване на нагласите е използвана средната аритметична стойност:

$$(9) \bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$$

Този показател е приложен при ординалните скали.

Сравнителният анализ между различни групи е реализиран чрез групиране на данните по демографски характеристики. За количествено сравнение между различни групи е използвана процентна разлика на относителни честоти:

$$(10) \Delta p = p_A - p_B$$

Разгледани са методите на изкуствения интелект, използвани в системите за автоматизирано проектиране, включително машинно обучение, Байесова оптимизация, еволюционни алгоритми и многоцелева оптимизация, генеративен ИИ и големи езикови модели. Анализирани са тяхната приложимост при моделиране, оптимизация и автоматизация на процеси, като се подчертава ролята им за повишаване на ефективността и точността на автоматизираното проектиране.

Разгледани са основни типове електронни компоненти и схеми – пасивни елементи (резистори, кондензатори и бобини), трансформатори, светодиодни матрици и ключови захранвания. Анализирани са спецификата на съответния компонент или схема и необходимостта от използване на специализирани инструменти за автоматизирано проектиране. Подчертава се значението на правилния избор на инструмент като ключов фактор за качеството и ефективността на процеса автоматизирано проектиране.

### **ГЛАВА 3. Дефиниране на критерии за автоматичен избор на инструменти за подбор и нови типове компоненти, схеми и устройства в Online-CADCOM.**

В трета глава е разработен подход за автоматизиран избор на инструменти за автоматизирано проектиране, базиран на критериите за оценка и изграждане на база от знания в рамките на платформата Online-CADCOM. Основният акцент е поставен върху създаването на структурирана среда, която позволява обективно сравнение на различни инструменти и подпомага процеса на вземане на решения както в обучението на студентите, така и в инженерната практика.

Проучванията са базирани на необходимостта от систематизиране на разнообразието от налични онлайн и заредими инструменти за автоматизирано проектиране, които се различават значително по функционалност, степен на автоматизация и достъпност. За целта са изброени критерии и опции на инструментите за оценка, които обхващат както технически характеристики на инструментите, така и тяхната приложимост и удобство при използване. Тези критерии са структурирани в табличен вид, като за всеки от тях са определени съответни теглови коефициенти, отразяващи тяхната значимост.

На базата на подбраните критерии и опции е извършено изследване и класификация на съществуващите инструменти за автоматизирано проектиране. Анализът включва инструменти за работа с пасивни елементи (резистори, кондензатори, бобини), трансформатори, ключови захранвания и светодиодни

матрици. Резултатите от сравнителния анализ са представени в обобщени таблици, Таблица 1, 2 и 3, които позволяват визуално и аналитично сравнение между отделните решения.

**Таблица 1. Класификация на инструментите за избор и проектиране на резистори по задължителни критерии.**

| Критерий  | Опции                                    | Инструменти   | Теглови коефициент |
|---|--|---|--------------------|
| Определяне на стойността на резистора/тип онлайн инструмент | Калкулатор за резистор с цветен код      | Всички без M4EMS  | 1                  |
|   | Калкулатор за SMD резистор               | Hobby-hour, DigiKey, M4EMS, Kiloohm, Modellingelectronics, Calculator.net, All About Circuits, Resistor.cherryjourney, Mouser, EEpowers, Thinkcalculator, Pad2Pad, Csgnetwork |                    |
|   | Калкулатор за LED сериен резистор        | Hobby-hour, DigiKey, M4EMS, Kiloohm, Modellingelectronics, Calculator.net, All About Circuits, Resistor.cherryjourney, Mouser   |                    |
|   | Калкулатор за стандартни стойности (SRV) | Pad2Pad   |                    |
|   | Калкулатор за паралелни резистори        | DigiKey, AllAboutCircuits, OmniCalculator, CircuitDigest  |                    |
|   | Калкулатор за последователни резистори   | DigiKey, AllAboutCircuits, OmniCalculator, CircuitDigest  |                    |
|   | Калкулатор за проводим резистор          | Calculator.net  |                    |

**Таблица 2. Класификация на инструментите за избор и проектиране на резистори по незадължителни критерии с теглови коефициент 0.5.**

| Критерий  | Опции  | Инструменти  | Теглови коефициент |
|---|--|--|--------------------|
| Брой ленти (стойност R, цифри, толеранс, температурен коефициент, честота на отказ) | 3 ленти (CCR, стойност R с 2 цифри и множител, толеранс по подразбиране 20%) | Hobby-hour, DigiKey, M4EMS, Kiloohm, Modellingelectronics, Calculator.net, All About Circuits, Resistor.Cherryjourney, Mouser, Resistor-calculator, Resistorcolorcodecalc, Translatorscafe, Dannyg, EEpowers | 0,5                |

|         |   |   |
|---------|---|---|
|         | 4 ленти (CCR, стойност R с 2 цифри и множител, стойност на толеранса)                                   | Всички без: M4EMS, EEpower, Thinkcalculator, Pad2Pad, Csgnetwork  |
|         | 5 ленти (CCR, стойност R с 3 цифри и множител, стойност на толеранса)                                   | Всички без: M4EMS, Modellingelectronics, Dannyg, EEpower, Thinkcalculator, Pad2Pad, Csgnetwork  |
|         | 6 ленти (CCR, стойност R с 2 цифри и множител, стойност на толеранса и температурен коефициент в ppm/K) | EEWEB, Hobby-hour, DigiKey, M4EMS, Kiloohm, Modellingelectronics, Calculator.net, All About Circuits, Resistor.cherryjourney, Mouser, Resistor-calculator, Resistorcolorcodecalc, Translatorscafe, Dannyg, CircuitDigest, Utmel, Denethor |
|         | 7 ленти / военен стандарт (CCR, допълнителна лента с честота на отказ в % за 1000 часа)                 | –   |
| SMD код | 3-цифрен SMD  | Hobby-hour, DigiKey, M4EMS, Kiloohm, Mouser, Translatorscafe, EEpower, Thinkcalculator, Pad2Pad, Csgnetwork   |
|         | 4-цифрен SMD  | Hobby-hour, DigiKey, M4EMS, Kiloohm, Mouser, Translatorscafe, EEpower, Thinkcalculator, Pad2Pad, Csgnetwork   |
|         | EIA-96 SMD  | Hobby-hour, DigiKey, M4EMS, Kiloohm, Mouser, Utmel, EEpower, Thinkcalculator, Pad2Pad, Csgnetwork   |


**Таблица 3. Класификация на инструментите за избор и проектиране на резистори по незадължителни критерии с теглови коефициент 0,33.**

| Критерий          | Опции        | Инструменти   | Теглови коефициент |
|-------------------|--------------|---|--------------------|
| Толеранс (CCR), % | ±0,05 до ±10 | DigiKey, Resistor.cherryjourney, Resistor-calculator, Resistorcolorcodecalc | 0,33               |
|                   | ±0,05 до ±20 | Hobby-hour, Kiloohm, All About Circuits, Denethor                           |                    |
|                   | ±0,25 до ±20 | EEpower   |                    |
|                   | ±1 до ±10    | Modellingelectronics  |                    |
|                   | ±0,01 до ±20 | Calculator.net  |                    |

|                            |                            |   |
|----------------------------|----------------------------|---|
|                            | ±0,1 до ±10                | Mouser  |
|                            | ±0,5 до ±20                | Thinkcalculator, Pad2Pad, Csgnetwork  |
|                            | ±5 до ±20                  | Dannyg  |
| Продуктов каталог          | Продуктов каталог          | DigiKey, Modellingelectronics, Mouser, Utmel  |
| Цена                       | Цена                       | DigiKey, Modellingelectronics, Mouser   |
| Обратна връзка             | Обратна връзка             | EEWEB, DigiKey, Calculator.net, All About Circuits, Translatorscafe, Dannyg, Mouser, CircuitDigest, Utmel, Denethor, EEpowers, Thinkcalculator, Pad2Pad, Csgnetwork |
| Референции                 | Референции                 | Hobby-hour, DigiKey, All About Circuits, Utmel  |
| Номинална мощност          | Номинална мощност          | OmniCalculator, EEpowers, CircuitDigest   |
| Изчисление на грешка (SRV) | Изчисление на грешка (SRV) | Pad2Pad   |
| Илюстрации                 | Илюстрации                 | Всички  |
| Теория                     | Теория                     | Всички  |

Съществен елемент на предложената методика е изграждането на база от знания, в която всеки инструмент е описан чрез „характеризационен паспорт“. Този паспорт представлява структурирано описание на основните характеристики на инструмента, включително неговите функционалности, ограничения, параметри и области на приложение. По този начин се осигурява унифицирано представяне на информацията, което улеснява изследването на съответния онлайн или заредим инструмент. Пример за такъв паспорт е представен в Таблица 4.

**Таблица 4. Характеризационен паспорт на калкулатор за резистори.**

|                              |  |
|------------------------------|--|
| EEWEB                        |   |
| Link:                        | <a href="http://www.eeweb.com/toolbox/6-band-resistor-calculator">http://www.eeweb.com/toolbox/6-band-resistor-calculator</a>          |
| Type of online CAD tool      | Free online calculator   |
| Panel/Category               | Panel 2/Elements   |
| Application area             | Subcategory Resistors  |
| Functions                    | Color code decoding and resistance calculation   |
| Level of abstraction covered | Transistor/Analog design   |
| Connections Input/Output     | PCB design tools, analog filter design, prototyping  |
| Verification tool            | Internal or third-party validation   |
| Equivalence                  | Other resistor color code calculators  |
| Qualitative features         | User-friendly interface<br>Interactive color bands<br>Real-time feedback<br>Tolerance and coefficient display<br>No 3D<br>No animation |
| Quantitative features        | <b>Supports:</b><br>4-Band<br>5-Band   |

|  |   |
|--|---|
|  | 6-Band<br><b>Outputs:</b><br>Resistance<br>Tolerance<br>Temperature coefficient |
|--|---|

В рамките на Глава 3 са разгледани отделни категории електронни компоненти и схеми, като за всеки от тях са изброени критерии и опции на инструментите за АП и са създадени съответни категории в базата знания.

Въз основа на критериите и опциите на инструментите с различни теглови коефициенти и паспортите, динамичният експертен модул в Online-CADCOM може да избере най-подходящите инструменти за дадена спецификация. В зависимост от зададените от потребителя изисквания системата извършва оценка на наличните инструменти и предлага най-подходящото решение.

Оценката се извършва чрез матрица за вземане на решения (Decision Matrix – DM) и модела на многоатрибутната полезност (MAUT), които определят комбинирана стойност, отразяваща общата полезност на всяка алтернатива, като отчита различните атрибути.

MAUT стандартизира стойностите на представянето на алтернативите така, че да отразяват предпочитанията на вземания решение. Процесът включва дефиниране на функция на полезност за всеки критерий и опция. Общата полезност на дадена алтернатива се изчислява като сума от полезностите на всички критерии и опции, като теглото на всеки критерий или опция определя неговата значимост.

Тегловите коефициенти се включват в MAUT модела за класиране на алтернативите.

Матрицата за вземане на решения представлява таблица, съхранявана в базата със знания, която съдържа информация за алтернативите. Всеки ред представлява една алтернатива, а колоните съдържат стойностите на различните критерии. Този подход рационализира процеса на вземане на решения и осигурява структуриран и количествен метод за избор на най-подходящия инструмент.

Базирайки се на критериите с различни теглови коефициенти и паспортите за 10-те инструмента за проектиране на светодиодни матрици, динамичният експертен модул в Online-CADCOM може да избере най-подходящите инструменти за дадена спецификация.

Автоматичният избор на инструмент е илюстриран с пример. Спецификацията на светодиодната матрица и желателните критерии за инструмента са:

- Брой светодиоди;
- Паралелна конфигурация;
- Обратна връзка;
- Редактор на LED матрици;
- Продуктов каталог;
- Цена;
- Теория.

Оценяването на инструментите използва MAUT (Multi Attribute Utility Theory).

Оценена е способността на всички разглеждани инструменти за проектиране на светодиодна матрица, които отговарят на зададените от потребителя критерии. Резултатите са представени в Таблица 5.

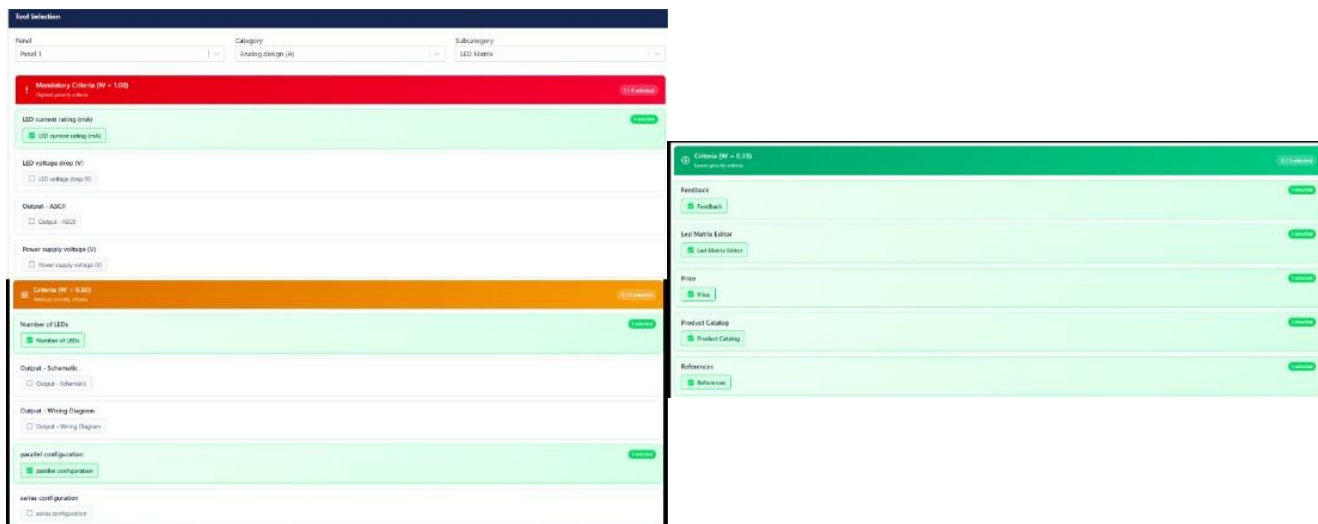
**Таблица 5. Оценка на критериите за инструментите за проектиране на светодиодна матрица в Online-CADCOM.**

| Инструменти, удовлетворяващи задължителните критерии и опции | EVERYCIRCUIT | AMPLIFIEDPARTS | LEDZ.COM    | TRANSLATORSCAFE | DIGIKEY     | ALLABOUTCIRCUITS | HEBEILTD    | OHMS LAW CALCULATOR | Weight Coefficient |
|--|--------------|----------------|-------------|-----------------|-------------|------------------|-------------|---------------------|--------------------|
| Опционални критерии  |              |                |             |                 |             |                  |             |                     |                    |
| Захранващо напрежение  | 1            | 1              | 1           | 1               | 1           | 1                | 1           | 1                   | 1.0                |
| Брой светодиоди  | 1            | 1              | 1           | 1               | 0           | 1                | 1           | 0                   | 0.5                |
| Паралелна конфигурация                                       | 1            | 1              | 1           | 1               | 0           | 0                | 1           | 0                   | 0.5                |
| Обратна връзка   | 1            | 1              | 1           | 1               | 1           | 1                | 0           | 1                   | 0.33               |
| Редактор на LED матрици                                      | 1            | 0              | 0           | 0               | 0           | 0                | 0           | 0                   | 0.33               |
| Продуктов каталог  | 1            | 1              | 1           | 0               | 1           | 0                | 1           | 0                   | 0.33               |
| Цена   | 1            | 1              | 1           | 0               | 1           | 0                | 1           | 0                   | 0.33               |
| Теория   | 1            | 1              | 1           | 1               | 0           | 1                | 0           | 0                   | 0.33               |
| <b>F(Ok)</b>   | <b>2.65</b>  | <b>2.32</b>    | <b>2.32</b> | <b>1.33</b>     | <b>1.32</b> | <b>1.16</b>      | <b>1.00</b> | <b>0.33</b>         | -                  |

Всички стойности в първия ред на Таблица 5 за задължителната опция „Захранващо напрежение“ са „1“, което показва, че всички изследвани инструменти могат да проектират светодиодна матрица. Всички инструменти отговарят на задължителния критерий, следователно той може да бъде пропуснат при изчислението на функцията за полезност. Online-CADCOM класира инструментите като реализира методът MAUT и на базата на резултатите за функция на полезност F(Ok), както следва:

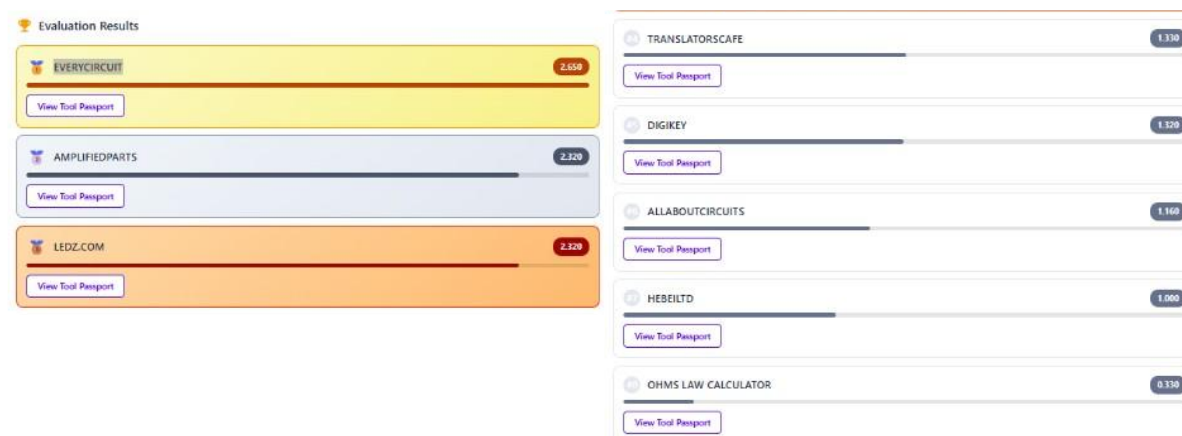
- EVERYCIRCUIT – 2.65 (Ранг 1);
- AMPLIFIEDPARTS и LEDZ.COM – 2.32 (Ранг 2 и Ранг 3);
- TRANSLATORSCAFE – 1.33 (Ранг 3);
- DIGIKEY – 1.32 (Ранг 5);
- ALLABOUTCIRCUITS – 1.16 (Ранг 6);
- HEBEILTD – 1.00 (Ранг 7);
- OHMS LAW CALCULATOR – 0.33 (Ранг 8).

Както е показано на Фигура 2, характеристиките и връзките към инструментите са включени в Online-CADCOM и проектантът може директно да стартира препоръчаните.



Фигура 2. Настройки за избор на инструмент в Online-CADCOM.

Фигура 2 и Фигура 3 илюстрират автоматичния избор и класиране на инструмент за проектиране на светодиодни матрици. Фигура 2 показва настройките за избор на инструмент, докато Фигура 3 показва полученото финално класиране на инструментите.



Фигура 3. Резултати за автоматичния избор и класиране на инструментите в платформата Online-CADCOM.

Резултатите на Фигура 3 напълно съвпадат с резултатите в Таблица 5.

Разработеният подход осигурява не само автоматизация на процеса на избор, но и повишава неговата обективност и повторяемост. Това е особено важно както при обучението на студенти, така и при практическата инженерна дейност, където изборът на неподходящ инструмент може да доведе до значителни загуби на време и ресурси.

Новата функционалност е внедрена в учебната дисциплина „Компютърно подпомагано проектиране в комуникациите“ в четвърти курс от бакалавърската степен във Факултета по телекомуникации на Технически университет - София. Двадесет студенти бяха организирани в пет групи по четирима и разработиха различни SMPS проекти като курсова работа, използвайки новата функционалност в Online-CADCOM. Проектите бяха представени и одобрени от комисия от експерти по SMPS проектиране в ТУ–София. Самите студенти предоставиха обратна връзка, потвърждаваща, че новата функционалност им е помогнала да решат по-бързо проектите си.

## **ГЛАВА 4. Създаване на ново съдържание в Базата със знания и Експертния модул на Online-CADCOM.**

В четвърта глава е представено разширението на функционалността на платформата Online-CADCOM чрез създаване на ново съдържание в Базата със знания и разработване на методика за систематизиране и представяне на информацията за инструментите за автоматизирано проектиране.

Разработена е методика за създаване и попълване на сравнителни таблици за онлайн инструменти за автоматизирано проектиране. Методиката дефинира последователността от действия при събиране, анализ и структуриране на информацията за инструментите, както и начина за оценка по предварително подбрани критерии и опции. Тя обхваща следните етапи:

### **Стъпка 1: Подготовка за изследване на инструменти.**

Дефинира се унифициран списък от критерии за оценка, който е приложим по идентичен начин към всички изследвани инструменти от съответния клас. Установява се ред на проверка, който се спазва последователно за всеки инструмент. Целта е осигуряване на сравнимост на резултатите и елиминиране на грешки в процеса на изследване на даден инструмента.

### **Стъпка 2: Първоначален преглед на инструмента.**

За всеки изследван инструмент се извършва подробен преглед на наличните функционалности и потребителски настройки. Целта е да се получи обща представа за архитектурата и обхвата на инструмента преди да се пристъпи към целенасочена проверка по всеки един от отделните критерии.

### **Стъпка 3: Целенасочена проверка по критерии.**

Всеки критерий от унифицирания списък се проверява индивидуално. Проверката се извършва чрез анализ на функционалностите на инструмента, без допълнителна промяна на съответната функционалност.

### **Стъпка 4: Кодирание на резултатите.**

Резултатите от проверката се кодират чрез двоична схема и се попълват директно в сравнителната таблица, както следва:

„●" - критерият е наличен в инструмента;

„-" - критерият отсъства в инструмента;

### **Стъпка 5: Запис на параметрични стойности.**

При критерии, които не могат да бъдат адекватно определени чрез бинарна стойност, наблюдаваните функционалности се описват. Не се прилага допълнителна интерпретация или нормализация.

### **Стъпка 6: Попълване на сравнителната таблица.**

Резултатите от стъпки 4 и 5 се систематизират в унифицирана сравнителна таблица, Таблица 6, която обхваща всички изследвани инструменти и критерии. Таблицата се използва като основен инструмент за сравнителна и статистическа обработка на данните.

**Таблица 6. Унифицирана структура на таблица за изследване на онлайн инструменти за АП.**

|              |              |              |       |              |                |
|--------------|--------------|--------------|-------|--------------|----------------|
| Критерии     | Инструмент 1 | Инструмент 2 | ..... | Инструмент n | Инструмент n+1 |
| Критерий 1   | •            | -            | ..... | •            | •              |
| .....        | .....        | .....        | ..... | .....        | .....          |
| Критерий m   | -            | -            | ..... | -            | -              |
| Критерий m+1 | •            | •            | ..... | •            | •              |

В съответствие с разработената методика е извършен подбор и класификация на значителен брой онлайн и заредими инструменти за автоматизирано проектиране. Анализът обхваща различни категории електронни компоненти, включително резистори, кондензатори, бобини, трансформатори, ключови захранвания и светодиодни матрици. За всяка категория са създадени сравнителни таблици, които представят основните характеристики на инструментите и позволяват тяхното съпоставяне по множество критерии. Пример за сравнителна таблица е показан в Таблица 7.

**Таблица 7. Сравнителна таблица на онлайн инструменти за анализ и изчисления на резистори.**

| Инструменти \ Критерии                       | EEWEB                               | Hobby-hour | DigiKey | M4EMS | Kilohm | Modellingelectronics | Calculator.net | All about circuits | Resistor.cherryjourne | Mouser | Resistor-calculator | Resistorcolorcodecalc | Translatorscafe | Dannyq | Circuitdigest | Utmel | Denethor | Eepower | Thinkcalculator | Pad2pad | Csgnetwork |
|--|-------------------------------------|------------|---------|-------|--------|----------------------|----------------|--------------------|-----------------------|--------|---------------------|-----------------------|-----------------|--------|---------------|-------|----------|---------|-----------------|---------|------------|
|  | Калкулатор за резистор с цветен код | •          | •       | •     | -      | •                    | •              | •                  | •                     | •      | •                   | •                     | •               | •      | •             | •     | •        | •       | •               | -       | -          |
| Калкулатор за код на SMD резистор            | -                                   | •          | •       | •     | •      | -                    | -              | -                  | -                     | •      | -                   | -                     | -               | -      | -             | -     | -        | •       | •               | •       | •          |
| Калкулатор за последователен резистор за LED | -                                   | •          | •       | -     | -      | •                    | -              | -                  | -                     | •      | -                   | -                     | -               | -      | -             | -     | -        | -       | -               | -       | -          |
| 3 ленти                                      | -                                   | •          | -       | -     | •      | -                    | •              | -                  | -                     | -      | -                   | •                     | •               | •      | -             | -     | -        | •       | -               | -       | -          |
| 4 ленти                                      | •                                   | •          | •       | -     | •      | •                    | •              | •                  | •                     | •      | •                   | •                     | •               | •      | •             | •     | •        | -       | -               | -       | -          |
| 5 ленти                                      | •                                   | •          | •       | -     | •      | -                    | •              | •                  | •                     | •      | •                   | •                     | •               | -      | •             | •     | •        | -       | -               | -       | -          |
| 6 ленти                                      | •                                   | •          | •       | -     | •      | -                    | •              | •                  | -                     | •      | -                   | •                     | -               | -      | •             | •     | •        | -       | -               | -       | -          |
| 3 цифрен SMD                                 | -                                   | •          | •       | •     | •      | -                    | -              | -                  | -                     | •      | -                   | -                     | •               | -      | -             | -     | -        | •       | •               | •       | •          |
| 4 цифрен SMD                                 | -                                   | •          | •       | •     | •      | -                    | -              | -                  | -                     | •      | -                   | -                     | •               | -      | -             | -     | -        | •       | •               | •       | •          |

|                       |              |              |              |   |              |           |              |              |              |             |              |              |              |           |              |              |              |              |             |             |             |
|-----------------------|--------------|--------------|--------------|---|--------------|-----------|--------------|--------------|--------------|-------------|--------------|--------------|--------------|-----------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|
| EIA-96 SMD            | -            | •            | •            | • | •            | -         | -            | -            | -            | •           | -            | -            | -            | -         | -            | •            | -            | •            | •           | •           | •           |
| Толеранс (%)          | ±0.05 to ±10 | ±0.05 to ±20 | ±0.05 to ±10 | - | ±0.05 to ±20 | ±1 to ±10 | ±0.01 to ±20 | ±0.05 to ±10 | ±0.05 to ±20 | ±0.1 to ±10 | ±0.05 to ±10 | ±0.05 to ±10 | ±0.05 to ±10 | ±5 to ±20 | ±0.05 to ±10 | ±0.05 to ±10 | ±0.05 to ±20 | ±0.25 to ±20 | ±0.5 to ±20 | ±0.5 to ±20 | ±0.5 to ±20 |
| Продуктов каталог     | -            | -            | •            | - | -            | •         | -            | -            | -            | •           | -            | -            | -            | -         | -            | •            | -            | -            | -           | -           | -           |
| Цена                  | -            | -            | •            | - | -            | •         | -            | -            | -            | •           | -            | -            | -            | -         | -            | -            | -            | -            | -           | -           | -           |
| Обратна връзка        | •            | -            | •            | - | -            | -         | •            | •            | -            | •           | -            | -            | •            | •         | •            | •            | •            | •            | •           | •           | •           |
| Референци и/източници | -            | •            | •            | - | -            | -         | -            | •            | -            | -           | -            | -            | -            | -         | -            | •            | -            | -            | -           | -           | -           |

Особено внимание е отделено на разширението на Базата със знания в платформата Online-CADCOM чрез създаване на стандартизирани характеристични паспорти за всеки инструмент. Тези паспорти включват както количествени, така и качествени параметри, които описват функционалните възможности, ограниченията и областите на приложение на инструментите. Чрез въвеждането на унифициран формат за представяне на информацията, Таблица 8, се постига по-лесна обработка на данните и се създават условия за автоматизирано сравнение и избор.

**Таблица 8. Универсален характеристичен паспорт на инструмент.**

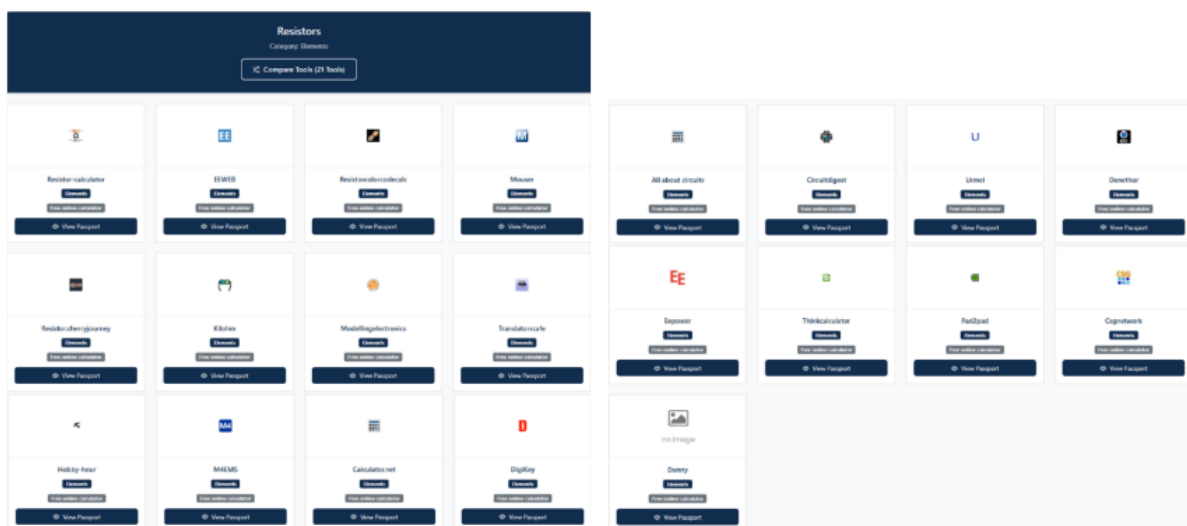
|  |  |
|--|--|
| <b>Име на инструмента</b>                                    | Икона на разглеждания инструмент   |
| <b>Унифициран локатор на ресурси</b>                         | URL  |
| <b>Тип CAD инструмент</b>                                    | Онлайн / Офлайн / Инсталационен инструмент   |
| <b>Панел / Категория</b>                                     | Поведенческо проектиране / Физическо проектиране   |
| <b>Област на приложение</b>                                  | Област на приложение (напр. силова електроника, обработка на сигнали)  |
| <b>Функции</b>   | Основни функции (напр. анализ, синтез, проектиране, верификация)   |
| <b>Покрито ниво на абстракция</b>                            | Ниво на абстракция в модела на Даниел - Гайски   |
| <b>Свързаност; вход, изход</b>                               | Поддръжка на симулации (Да/Не; съвместим софтуер), изходни формати (напр. CSV, SPICE, XML)   |
| <b>Инструмент за верификация</b>                             | Софтуер или система, използвана за валидиране и тестване на точността, производителността и функционалността на проект чрез симулиране на поведението му преди реализация (напр. PSpice, LTSpice)  |
| <b>Еквивалентност или покритие на областта на приложение</b> | Мярка за това доколко инструментът съответства на или може да замества други сходни инструменти, като осигурява съвместимост и приложимост при различни методологии за проектиране (напр. Webench Filter Designer спрямо Analog Filter Wizard) |
| <b>Качествени характеристики</b>                             | Потребителски интерфейс (напр. графичен / текстово-базиран), лекота на използване (напр. подходящ за начинаещи, разширени функции), визуален изход (напр. диаграми, графики, интерактивни симулации),  |

|                                    |  |
|------------------------------------|--|
|                                    | интерактивност (напр. симулация в реално време, поетапни указания)   |
| <b>Количествени характеристики</b> | Налични проектни опции (напр. линейни, импулсни, резонансни), типове филтри (ако е приложимо) (напр. нискочестотен, високочестотен), изчисления за захранващи блокове (напр. ефективност, спад на напрежение, регулиране при натоварване), възможности за анализ (напр. AC/DC анализ, преходен отклик) |

В рамките на Глава 4 е разработено и интегрирано разширено електронно съдържание за 6 ключови категории електронни компоненти и подсистеми в платформата Online-CADCOM. Целта на това разширение е да се осигури систематизирана, структурирана и съпоставима информация за наличните безплатни онлайн инструменти, подпомагащи проектирането на основни електронни елементи и системи.

За всяка от разглежданите категории са създадени и попълнени характеристични паспорти на онлайн CAD инструменти, следвайки унифициран шаблон.

На Фигура 4 е илюстрирано електронното съдържание за категорията резистори, като са показани наличните 21 инструменти.



*Фигура 4. Интерфейс на програмата Online-CADCOM за всички въведени онлайн CAD инструменти за резистори.*

В резултат на извършената разработка платформата Online-CADCOM се превръща в интегрирана среда, която съчетава база от знания, обучително съдържание и механизми за автоматизиран избор на инструменти. Това позволява не само подпомагане на процеса на проектиране, но и създаване на условия за ефективно обучение в областта на автоматизираното проектиране.

В заключение в платформата Online-CADCOM е внедрено електронно съдържание за подбор на общо 69 инструменти за АП. Всички характеристични паспорти са представени в Анекс 2. Чрез въвеждането на структурираните характеристични паспорти са интегрирани:

- 41 пасивни елементи - 21 за резистори, 11 за кондензатори и 9 за бобини;
- 10 за трансформатори;
- 8 за ключови захранвания;

- 10 за светодиодни матрици.

С тези подобрения Online-CADCOM продължава да се развива като мащабируема, ориентирана към потребителя система, подпомагаща както обучението, така и практиката в проектирането на електронни системи.

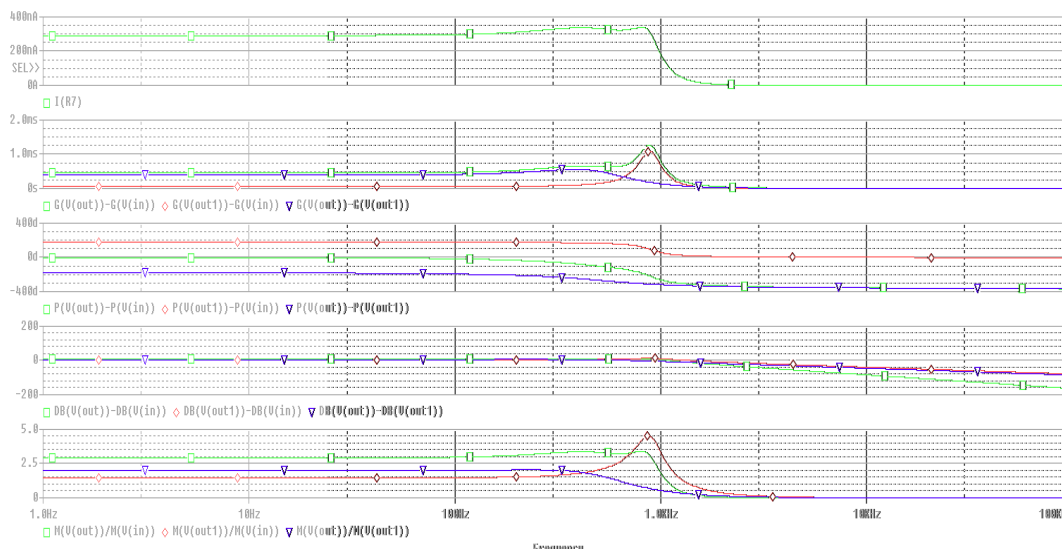
## ГЛАВА 5. Иновативни методи за използване на изкуствен интелект за подпомагане електронното обучение и автоматизираното проектиране.

В пета глава са разработени и експериментално изследвани иновативни методи за използване на изкуствен интелект, и по-специално генеративни езикови модели като ChatGPT, за подпомагане на електронното обучение в автоматизираното проектиране. Основният акцент е поставен върху интегрирането на ChatGPT като интелигентен асистент в процеса на обучение на студенти и инженерната дейност, с цел повишаване на ефективността, намаляване на времето за изпълнение на задачи и подобряване на разбирането на сложни технически концепции.

Предложен е двуфазов модел за използване на ChatGPT в обучението по автоматизирано проектиране. В първата фаза (фаза на обучение на ChatGPT) моделът се използва за подпомагане при разработване на лабораторни упражнения, включително формулиране на задачи, обяснение на теоретични зависимости и подготовка на инструкции за работа. Във втората фаза (фаза на приложение на ChatGPT в помощ на студентите) ChatGPT се използва като активен асистент при изпълнение на задачите, като подпомага студентите при решаване на конкретни проблеми, интерпретация на резултати и отстраняване на грешки.

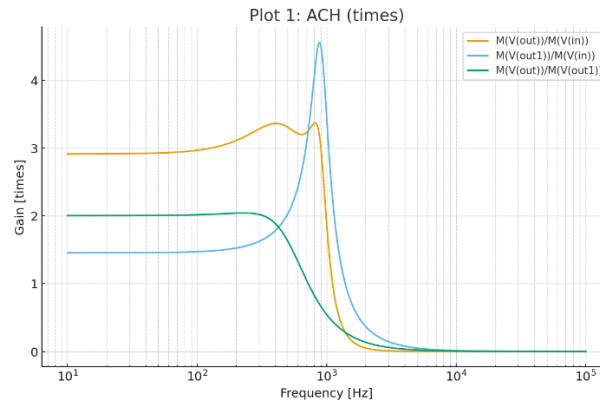
Направено е изследване на възможностите на ChatGPT за подпомагане и/или пълно разработване на реално лабораторно упражнение по автоматизирано проектиране на тема: „Изследване на нискочестотен филтър на Чебишев с PSpice”. Особено внимание е отделено на начина по който ChatGPT подпомага процеса на разбиране на задачата, формулиране на решения и проверка на резултатите.

На Фигура 5 е представен резултатът от честотния анализ на нискочестотен филтър на Чебишев, реализиран с операционни усилватели  $\mu A741$ , получен чрез симулация в средата OrCAD/PSpice. Показани са основните честотни характеристики на изследваната схема – амплитудно-честотна характеристика (АЧХ), фазово-честотна характеристика (ФЧХ) и групово време за закъснение (ГВЗ), изчислени за цялата схема и за отделните каскадни звена.

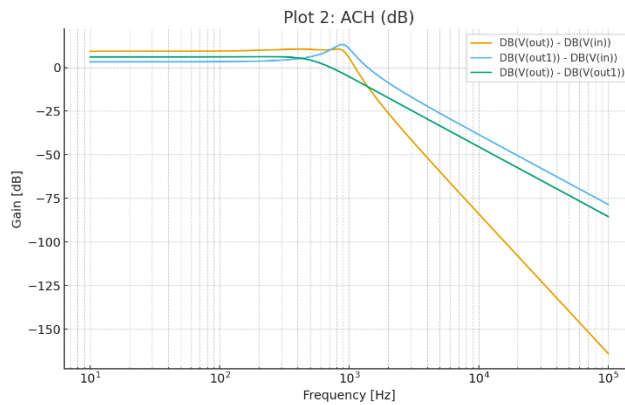


Фигура 5. Резултат от PSpice за АЧХ, ФЧХ и ГВЗ.

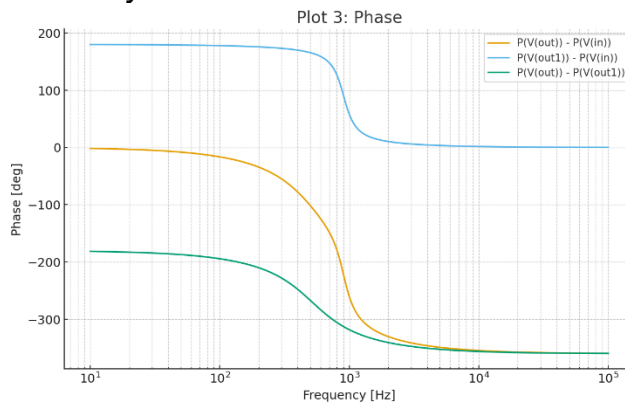
На Фигура 6, Фигура 7, Фигура 8 и Фигура 9 са представени резултатите от аналитично-числен анализ, извършен с помощта на ChatGPT в неговия интерфейс, при който амплитудно-честотната характеристика е получена чрез извеждане на предавателната функция и числено изчисление на усилването в честотната област. Графиката илюстрира поведението на филтъра в лентата на пропускане, преходната област и лентата на задържане, както и влиянието на отделните звена върху общата характеристика.



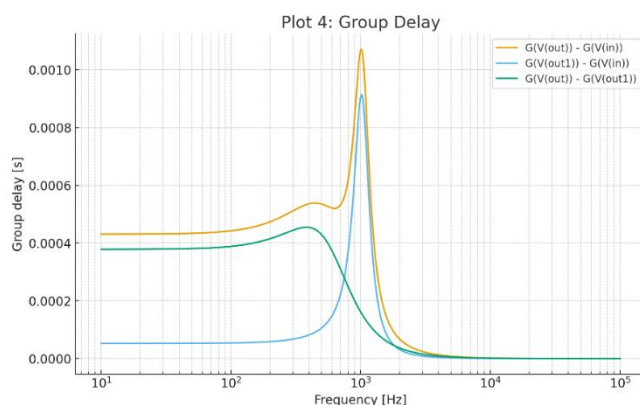
Фигура 6. Резултат от ChatGPT за АЧХ в пъти.



Фигура 7. Резултат от ChatGPT за АЧХ в децибели.



Фигура 8. Резултат от ChatGPT за ФЧХ.



Фигура 9. Резултат от ChatGPT за ГВЗ.

Съпоставянето на резултатите от OrCAD/PSpice и от ChatGPT показва добро качествено съвпадение на формата на честотните характеристики, позицията на граничната честота и наличието на характерните за филтър на Чебишев отскоци в лентата на пропускане. Наблюдаваните количествени разлики се дължат основно на използването на идеализиран модел при аналитичния анализ с ChatGPT и на включването на реалистични модели на операционните усилватели и паразитни ефекти в PSpice симулацията.

За всяка от задачите в лабораторното упражнение е извършен сравнителен анализ на резултатите при използване и без използване на ChatGPT, Таблица 9.

**Таблица 9. Сравнителен анализ на резултатите.**

| Параметър  | OrCAD/PSpice | ChatGPT | Отклонение / коментар   |
|--|--------------|---------|-------------------------|
| Усилване в плоската част А                       | 2.9138       | ≈ 2.95  | ≈ 1.2 %                 |
| Усилване при ( $f_{\text{grp}}$ )                | 2.0397       | ≈ 2.06  | ≈ 1.0 %                 |
| Горна гранична честота ( $f_{\text{grp}}$ ) [Hz] | 981.779      | ≈ 981   | < 0.1 %                 |
| Полюсна честота 1 [Hz]                           | 65.513       | ≈ 65.5  | Слабо изразен екстремум |
| Усилване при полюсна честота 1                   | 2.9374       | ≈ 2.94  | < 0.2 %                 |
| Полюсна честота 2 [Hz]                           | 409.492      | ≈ 409   | < 0.2 %                 |
| Усилване при полюсна честота 2                   | 3.3714       | ≈ 3.39  | ≈ 0.5 %                 |
| Полюсна честота 3 [Hz]                           | 629.970      | ≈ 643   | ≈ 2.1 %                 |
| Усилване при полюсна честота 3                   | 3.2251       | ≈ 3.21  | < 0.5 %                 |
| Полюсна честота 4 [Hz]                           | 815.764      | ≈ 816   | < 0.1 %                 |
| Усилване при полюсна честота 4                   | 3.4107       | ≈ 3.39  | ≈ 0.6 %                 |
| Стръмност S [dB/dec]                             | -79.243      | ≈ -79.3 | < 0.1 %                 |

От представения сравнителен анализ се наблюдава много добро съвпадение между резултатите, получени чрез симулация в OrCAD/PSpice и изчисленията с помощта на ChatGPT. Отклоненията между двата подхода са малки и във всички разгледани параметри не надвишават няколко процента, като в повечето случаи са под 1%.

Използването на ChatGPT като помощен инструмент значително намалява времето за изпълнение на лабораторното упражнение, без да компрометира

качеството на анализа, когато се използва съвместно със симулационна среда, показано в Таблица 10. Използването само на ChatGPT води до най-кратко време, но не може да замени необходимостта от практическа работа в OrCAD/PSpice, което подчертава ролята на ChatGPT като допълващо, а не заместващо средство в обучението по автоматизирано проектиране.

**Таблица 10. Обобщаваща таблица - сравнение на времената.**

| Подход                 | Приблизително време | Характеристика            |
|------------------------|---------------------|---------------------------|
| Само OrCAD/PSpice      | ≈ 135 мин           | Пълен симулационен анализ |
| OrCAD/PSpice + ChatGPT | ≈ 60–80 мин         | Оптимален учебен подход   |
| Само ChatGPT           | ≈ 15–30 мин         | Предварителен, аналитичен |

Извършен е анализ на взаимодействието между потребителя и ChatGPT, като са идентифицирани основните ползи и ограничения. При комбинирано използване на OrCAD/PSpice и ChatGPT, симулационната среда служи за получаване на числени и графични резултати, докато ChatGPT се използва като интелигентен помощен инструмент за аналитично тълкуване, проверка и структуриране на резултатите.

В хода на упражнението ChatGPT подпомага изпълнението по следните начини:

- **Аналитично обяснение на задачите** - предоставя ясно тълкуване на всяка подзадача от лабораторното упражнение, включително целта на анализа и очакваните резултати;
- **Подкрепа при настройка на симулациите** - указва правилния тип анализ (AC, Noise, DC Operating Point), необходимите настройки на симулационния профил и подходящите изрази за визуализация на резултатите;
- **Проверка и интерпретация на резултатите** - помага при разчитането на АЧХ, шумовите графики и SNR, като обяснява влиянието на честотния интервал, курсорите и параметрите на компонентите;
- **Числена верификация** - извършва независими аналитични изчисления (усилване, гранична честота, стръмност, мощност), които служат като сравнителна проверка на симулационните резултати;
- **Структуриране на информацията** - подпомага оформянето на резултатите в табличен и текстов вид, подходящи за лабораторен отчет;
- **Формулиране на изводи** - асистира при съставянето на технически и методологични изводи на базата на получените данни.

Благодарение на тази форма на взаимодействие, времето необходимо за анализ и интерпретация на резултатите е значително съкратено, като се избягват типични грешки при тълкуване на шумов анализ и честотни характеристики.

В този контекст ChatGPT не замества симулационната среда OrCAD/PSpice, а функционира като интелигентен асистент, който подпомага обучаемите при анализа, проверката и разбирането на получените резултати.

В главата е разработена методика за изследване на онлайн инструменти с помощта на ChatGPT. Разработена е нова методика за изследване на онлайн инструменти за автоматизирано проектиране с цел систематичното и обективно структуриране на информацията за съществуващи софтуерни средства. Методиката не включва оценяване, оптимизация или вземане на решения, а се фокусира изцяло върху установяване на наличието или отсъствието на определени функционални характеристики на инструментите.

Методиката се състои от три ясно разграничени етапа.

### 1. Идентифициране и подбор на онлайн инструменти.

Първият етап включва идентифициране и подбор на онлайн и/или зареждаеми инструменти, релевантни за разглеждания клас проектни задачи. Подборът се извършва чрез целенасочено търсене в публично достъпни източници и включва само инструменти, които предоставят реална инженерна функционалност. На този етап не се извършва анализ на качеството или сравнителна оценка, а се формира единствено множеството от инструменти, предмет на изследване.

### 2. Анализ на функционалните възможности и дефиниране на критерии.

Вторият етап е насочен към анализ на функционалните възможности на избраните инструменти с цел дефиниране на критерии, описващи тези възможности. Критериите се формулират като бинарни признаци, които са приложими за всички инструменти от изследваното множество.

На този етап:

- критериите са описателни, а не оценъчни;
- не се въвеждат теглови коефициенти;
- не се дефинира относителна важност между критериите.

### 3. Попълване на двоична (булева) таблица.

Третият етап представлява основния резултат на метода и включва попълване на двоична таблица, в която редовете съответстват на изследваните инструменти, а колоните – на дефинираните критерии. Стойност „•“ означава наличие на дадена функционалност, а стойност „-“ нейното отсъствие. Получената Таблица 6 представлява формализирана база знания и служи като вход за последващи експертни или автоматизирани методи за избор.

Извършен е сравнителен анализ между традиционния подход за изследване на инструменти и подхода, подпомогнат от ChatGPT, Таблица 11. Резултатите показват значително съкращаване на времето за събиране и обработка на информация, както и подобряване на структурата и качеството на анализа.

**Таблица 11. Сравнение на времето за ръчно и подпомогнато изследване с ChatGPT.**

| Етап от методиката                  | Ръчно изследване          | Подпомогнато изследване с ChatGPT |
|-------------------------------------|---------------------------|-----------------------------------|
| Ориентиране и достъп до инструмента | 5–10 минути               | 1–2 минути                        |
| Запознаване с функционалностите     | 15–30 минути              | 5–10 минути                       |
| Проверка на критерии (20–30 бр.)    | 40–60 минути              | 5–10 минути                       |
| Попълване на двоичната таблица      | 5–10 минути               | 2–3 минути                        |
| <b>Общо време за 1 инструмент</b>   | <b>60–120 минути</b>      | <b>10–20 минути</b>               |
| <b>Общо време за 10 инструмента</b> | <b>10–20 работни часа</b> | <b>2–4 работни часа</b>           |

Допълнително е разработена методика за автоматизирано попълване на характеристични паспорти с помощта на ChatGPT. Методиката позволява генериране на структурирана информация за инструментите въз основа на налични

данни и зададени критерии. Това води до значително ускоряване на процеса на създаване на база от знания. Процесът на създаване на паспортите с помощта на ChatGPT се реализира чрез следните последователни етапи:

### 1. Формализиране на входната информация.

Като вход към ChatGPT се използват:

- авторската таблица за изследване на онлайн инструменти;
- предварително дефинирани категории и панели;
- примерен попълнен паспорт, използван като референтен модел.

### 2. Генериране на съдържание чрез ChatGPT.

ChatGPT се използва за:

- генериране на текстово съдържание за всяко поле от паспорта;
- адаптиране на терминологията спрямо типа компонент;
- осигуряване на единен стил и техническа последователност.

### 3. Структуриране и експортиране.

Генерираното съдържание се структурира в:

- таблици със стандартизиран формат;
- Word документи (.docx), подходящи за директно използване;
- паспорти с добавени логотипи и хипервръзки.

### 4. Контрол и редакция от автора.

Авторът извършва:

- проверка на коректността;
- стилова и терминологична редакция;
- финална селекция и класификация на паспортите;
- ръчно въвеждане в платформата Online-CADCOM.

Резултатите от прилагането на тази методика са представени чрез сравнителен анализ на времето за създаване на паспорти при ръчен и автоматизиран подход.

В Таблица 12 е демонстрирана успешна интеграция на ChatGPT в научно-изследователска дейност, при която AI се използва не като заместител, а като интелигентен помощник на изследователя. Това допринася за повишаване на ефективността, мащабируемостта и качеството на резултатите в рамките на дисертационния труд. Намалението на времето е между 70% и 85%.

**Таблица 12. Обобщение на резултатите.**

| Метод     | Време за 1 паспорт | Време за 50 паспорта |
|-----------|--------------------|----------------------|
| Ръчно     | 30–45 мин          | 25–37 часа           |
| С ChatGPT | 5–10 мин           | 4–8 часа             |

В рамките на главата са анализирани и ограниченията и рисковете при използване на генеративни езикови модели. Те включват възможността за генериране на неточна или непълна информация, зависимост от правилна формулировка на въпросите и необходимостта от подробна проверка на резултатите. Въпреки това, при правилно използване, ChatGPT се утвърждава като мощен инструмент за подпомагане на обучението и инженерната практика.

В заключение може да се отбележи, че предложените в тази глава методи демонстрират значителен потенциал за интегриране на изкуствен интелект в процесите на обучение и проектиране. Те допринасят за създаването на по-интерактивна, ефективна и адаптивна обучителна среда, която отговаря на съвременните изисквания в областта на автоматизираното проектиране. ChatGPT

следва да се разглежда не като заместител на човешкия експерт, а като интелигентен асистент, способен да повиши продуктивността, но не и да гарантира валидността без човешка намеса.

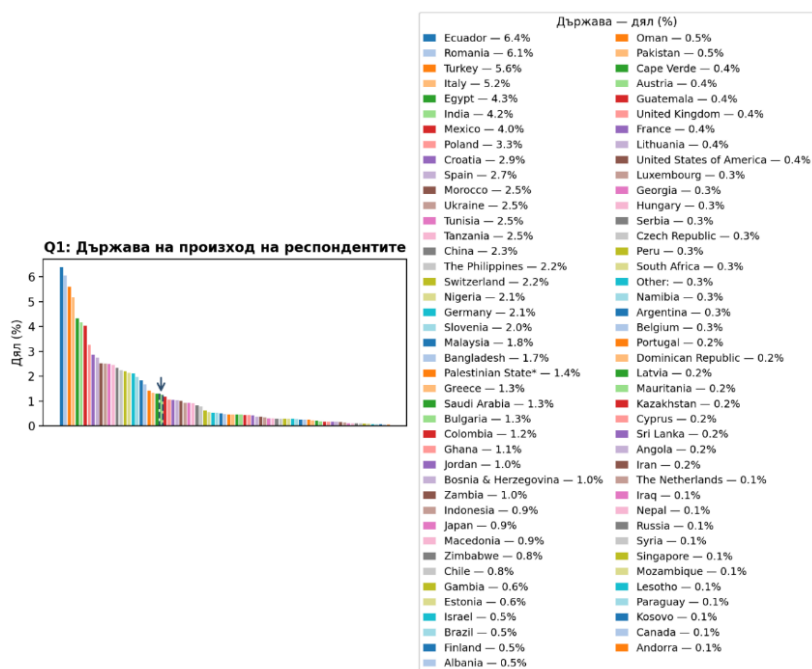
## **ГЛАВА 6. Изследване на възприятията на ChatGPT в ТУ-София.**

В шеста глава е представено участие в глобално изследване, насочено към анализ на възприятията на студенти и преподаватели относно използването на генеративни езикови модели, и по-специално ChatGPT, в обучението и инженерната практика. При стартиране на изследването за използването на ИИ в електронното обучение по АП, все още е нямало ясна представа за нагласите и очакванията на студентите в България и в частност Технически университет – София по този въпрос. Основната цел на изследването е да се оцени степента на използване, възприеманите ползи, ограниченията и влиянието на тези технологии върху учебния процес и развитието на професионални умения.

Първата вълна на глобално изследване проведено в интервала 9 октомври 2023 г. – 29 февруари 2024 г., включващо над 23 000 студенти от висшето образование в 109 държави (включително България), показва, че ChatGPT се използва предимно за генериране на идеи, обобщаване на текстове и достъп до информация. Студентите го намират за особено полезен при опростяване на сложен материал и повишаване на ефективността на обучението. Въпреки всички ползи, остават основните опасения, които са свързани с академичната почтеност и прекомерната зависимост от ИИ. Общите случаи на употреба сочат към потенциала на ChatGPT да подобрява дигиталната грамотност, достъпа до широк кръг от знания и академичните резултати.

В рамките на Втората вълна на глобалното студентско проучване за ChatGPT, проведено между октомври 2024 г. и февруари 2025 г., са събрани 22 963 отговора от студенти от 120 държави и територии. Проучването обхваща няколко аспекта, свързани с ChatGPT: социодемографски характеристики, начин на използване, възможности, регулации и етични въпроси, удовлетвореност и нагласи, учебни затруднения и резултати, развитие на умения, пазара на труда и несъответствието между умения и изисквания, емоции, учебна и лична информация, както и възприемане на ChatGPT. Проучването е насочено към студенти в акредитирани висши училища.

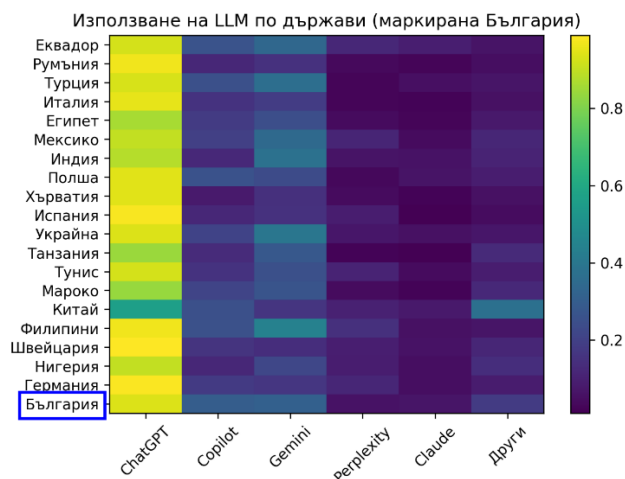
**Първата секция (Секция 1)** включва социодемографски въпроси, чиято основна функция е да определят профила на участниците и да осигурят контекст за всички следващи анализи. Въпросът за гражданството Q1, Фигура 10, измерва националния произход на участниците и позволява да се оцени степента на разпределение по държави. Анализът показва ясно изразено международно разнообразие, което потвърждава глобалния характер на изследването. България заема относително малък дял със само 260 броя анкети или 1.3% от всички анкетиранни.



Фигура 10. Разпределение по гражданство.

Втората секция (Секция 2) цели да покаже реалното използване на ChatGPT и други инструменти с ИИ. В нея са изследвани честотата, интензивността и контекста на употреба, което позволява да се направи разграничение между нередовно използване и системно използване.

Въпросът Q13, Фигура 11, определя използваните различни чатботове и ясно показва доминиращото място на ChatGPT спрямо алтернативни платформи. Това подчертава фокуса на изследването върху ChatGPT като водещ инструмент.



Фигура 11. Тежест на използването на отделните платформи за ИИ, сред всички анкетиранни.

Разпределението от Фигура 11 ясно индикира, че българските студенти са в крак с новите технологии и използват платформи за ИИ в еднаква тежест с технологично развитите държави. Впечатление прави факта, че в Азиатските държави, в частност Китай, тенденциите за използване на ИИ не съвпадат с останалите държави. Това най-вероятно е резултат от политиката на държавно ниво за усилено развитите на собствени платформи за ИИ и независимост от технологично развитите държави.

Въпросите в следващите секции са формулирани като твърдения, оценявани по Ликъртова скала. За разлика от въпросите, изискващи еднозначен отговор “да/не”, въпросите с Ликъртова скала дават възможност да бъде събрана по-прецизна и по-лична информация от студентите, а именно - различни степени на отношение и мнение, на съгласие или несъгласие с формулирания въпрос, използвайки симетрична скала, която регистрира различното мнение на анкетираните към въпроса. Ликъртовата скала предполага разстоянията между отделните възможни степени на отговорите да са еднакви, т.е. балансирани. Изведени са подробни графики за трите най-позитивно класирани въпроса.

**Третата секция (Секция 3)** разглежда как студентите възприемат възможностите на ChatGPT, като фокусът е върху функционалните и педагогическите характеристики на инструмента.

Въпрос Q19 обхваща способността на ChatGPT да разбира и генерира човешки език, да предоставя и обработва информация, както и да подпомага различни форми на обучение (традиционно, онлайн и смесено). По този начин въпросът измерва както техническите, така и педагогическите измерения на възприеманите възможности.

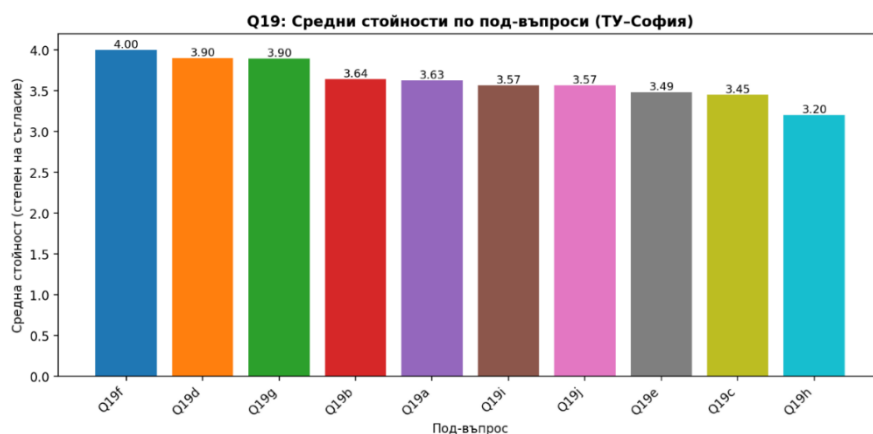
### **Q19**

**До каква степен сте съгласни със следните твърдения, свързани със способностите на ChatGPT?**

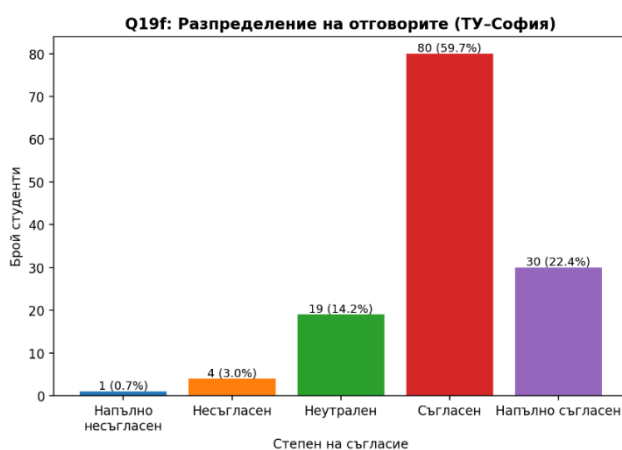
(Напълно несъгласен / Несъгласен / Неутрален / Съгласен / Напълно съгласен)  
ChatGPT може да...

- **Q19a** разбира указания, дадени на човешки език.
- **Q19b** отговаря на човешки език.
- **Q19c** води приятен разговор.
- **Q19d** предоставя информация ефективно.
- **Q19e** предоставя надеждна информация.
- **Q19f** обобщава обширна информация.
- **Q19g** опростява сложна информация.
- **Q19h** подпомага традиционното обучение (в класна стая).
- **Q19i** подпомага онлайн обучението (чрез дигитални технологии).
- **Q19j** подпомага смесеното (хибридно) обучение (комбинация от традиционно и онлайн обучение).

Анализът на резултатите за Q19, Фигура 12 и 13, ясно показва позитивното възприятие към езиковите способности на ChatGPT. Най-високи оценки се наблюдават при обобщаването на голям обем от информация, редовното отговаряне и опростяването на сложна информация. Това обяснява широкото използване на инструмента за академично писане, обобщения и подготовка за изпити, показано в Секция 2. По-умерените оценки за надеждността на предоставената информация при Q19e и за ролята на ChatGPT в традиционното обучение Q19h, показват наличието на критично и балансирано отношение на студентите, които ясно разпознават ограниченията на инструмента с ИИ и необходимостта от човешки контрол.



Фигура 12. Разпределение по честота на използване на ИИ за задачи от въпрос Q19 за студентите в ТУ-София.



Фигура 13. Разпределение по честота на използване на ИИ за да обобщава обширна информация за студентите в ТУ-София.

**Четвъртата секция (Секция 4)** анализира удовлетвореността и нагласите на студентите към ChatGPT. Чрез тези въпроси се изследва възприятието за полезност, удобство и контрол на ИИ, което е ключово за оценката на приемане и използване на ИИ в образователния процес.

Измерени са различни аспекти на удовлетвореността, включително полезност, яснота на информацията, удобство на взаимодействие и усещане за контрол. Чрез тези въпроси се изследва не само функционалната оценка, но и емоционалното отношение към ChatGPT.

Анализът показва висока степен на удовлетвореност и преобладаващо положителни нагласи. Особено важно е ясно изразеното положително усещане за взаимодействие и контрол върху използването на инструментите, което е ключов фактор за устойчиво и отговорно прилагане на технологията. Сравненията с преподаватели и колеги не показват стремеж към заместване на човешкото взаимодействие, а по-скоро подчертават различните роли, които ChatGPT и преподавателите изпълняват в учебния процес.

**Петата секция (Секция 5)** е фокусирана върху въздействието на ChatGPT с учебния процес и академичните резултати. Въпросите в тази секция правят връзка между използването на инструментите и конкретни образователни ефекти, като достъп до знания, ефективност на учене и качество на знанията.

Измерени са ефектите на ChatGPT върху достъпа до знания, ефективността на учене, качеството на заданията, мотивацията, личното и академичното развитие.

Чрез тези въпроси се прави връзка между използването на ChatGPT и реалните образователни резултати.

Резултатите показват, че студентите възприемат ChatGPT като инструмент за оптимизация на техните знания и на учебния процес. Най-силни ефекти се наблюдават при подобряване на текущите знания, ефективността на учене и изпитните оценки. По-умерената оценка на отговора за подобряване на мотивацията показва, че тези аспекти на личността зависят от по-широк педагогически и личностен контекст и не могат да бъдат обяснени единствено чрез използването на технологии с ИИ.

**Шестата секция (Секция 6)** разглежда ролята на ChatGPT в развитието на различни групи умения, включително комуникационни, дигитални, аналитични и др.

Измерено е възприятието за влиянието на ChatGPT върху комуникационните, дигиталните, аналитичните и ИИ-свързаните умения. Тези въпроси позволяват да се оцени не само непосредственият образователен ефект, но и дългосрочният потенциал за използване на ИИ.

Анализът показва, че ChatGPT подпомага най-силно развитието на писмените, програмните и аналитичните умения, както и грамотността за използване на ИИ. По-ограничено въздействие се наблюдава върху междуличностните и строго техническите умения, което подчертава необходимостта от комбиниране на инструменти за ИИ с традиционни педагогически методи и практическо обучение.

**Седмата секция (Секция 7)** свързва образователните ефекти на ChatGPT с пазара на труда. Въпросите в тази секция изследват влиянието на ChatGPT върху заетостта, трансформацията на труда с несъответствието на уменията.

Измерено е как студентите възприемат влиянието на ChatGPT върху заетостта, производителността, трансформацията на труда и способността на инструмента с ИИ да подобрява запълването на липси в уменията.

Резултатите показват, че студентите възприемат ChatGPT като фактор за трансформация, а не за разрушаване на пазара на труда. Изкуственият интелект се разглежда като помощно средство за адаптация към новите изисквания и подобряване на уменията, но не и като самостоятелно решение за проблемите на трудовата заетост.

## **НАУЧНО-ПРИЛОЖНИ И ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ**

**В дисертационния труд са получени следните научни приноси:**

1. Разработена е методика за автоматичен подбор, характеризирани и попълване на електронното съдържание за различни типове елементи и схеми към Експертния модул на Online-CADCOM.

2. Разработена е методика с използване на ChatGPT за подпомагане на студентите в лабораторните упражнения по автоматизация на проектирането в комуникациите в 2 фази – обучителна и приложна.

**В дисертационния труд са получени следните научно-приложни приноси:**

3. Дефинирани са критерии с различни теглови коефициенти за автоматичен избор чрез многокритериални методи на онлайн инструменти за подбор и проектиране на пасивни елементи (резистори, кондензатори и бобини), трансформатори, ключови захранвания и светодиодни матрици.

4. Извършен е обстоен анализ и систематизация на приложението на изкуствения интелект в системите за автоматизирано проектиране в телекомуникациите (CAD/EDA) и в електронното обучение. Отчетена е тенденцията за засилени инвестиции на водещите компании в научните изследвания в тази област, като е отчетена слабата информираност за нагласите на студентите и липсата на добри решения за реалното използване на изкуствения интелект.

5. Прилагайки новите методики е разработено и попълнено в системата Online-CADCOM, електронно съдържание за 69 онлайн инструменти за подбор и проектиране на елементи и схеми – резистори, кондензатори, бобини, трансформатори, ключови захранвания и светодиодни матрици.

6. Разработените методи и средства за електронно обучение по автоматизация на проектирането с използване на изкуствен интелект, като ChatGPT, за подпомагане на студентите в лабораторните упражнения са валидирани и оценени като ускорение и ефективност на обучителния процес, ограничения и обратна връзка.

7. Реализирано е емпирично изследване на нагласите, възприятията и влиянието на ChatGPT върху обучението на студентите в Технически университет - София в рамките на глобалното изследване „Students' Perception of ChatGPT“, като са приложени статистическа обработка и Ликъртови скали. Разработени са програми за обработка и визуализация на представените резултатите, които са представени и анализирани. На базата на техния анализ са направените изводи, които са в основата на разработените нови методики за прилагане на изкуствен интелект в обучението по автоматизирано проектиране.

**В дисертационния труд са получени следните приложни приноси:**

8. Решени са задачи за автоматичен избор на онлайн инструменти от разширената База със знания на платформата Online-CADCOM. Резултатите са валидирани с оценка от експерти в областта и е разработено задание за лабораторно упражнение пробирано в учебния процес. Представени са визуализации на електронното съдържание и работата на Експертния модул.

## СПИСЪК НА ПУБЛИКАЦИИТЕ ПО ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

| Статия No. | Публикувани статии  |
|------------|---|
| Статия 1   | K. Kostova, L. Menxhiqi, B. Zylfiu, G. Marinova, "Review of Artificial Intelligence Implementation in Electronic Design Automation Methods and Tools", 12th Annual International Conference on Computer Science and Communication Engineering, University for Business and Technology – UBT, Pristina, Kosovo, pp. 45–52, ISBN: 978-9951-982-00-9, Conference Статия, индексирана в:<br><a href="https://knowledgecenter.ubt-uni.net/conference/IC/CS/20/">https://knowledgecenter.ubt-uni.net/conference/IC/CS/20/</a>     |
| Статия 2   | K. Kostova, G. Marinova, "Knowledge-Base for Passive Elements Tools Selection in the Online CADCOM Platform", 2024 XXXIII International Scientific Conference "Electronics ET2024", 17–19 September 2024, DOI: 10.1109/ET63133.2024.10721545, ISBN:979-8-3503-7644-9, Conference Статия, индексирана в: IEEE Xplore<br><a href="https://ieeexplore.ieee.org/document/10721545">https://ieeexplore.ieee.org/document/10721545</a> , SCOPUS   |
| Статия 3   | K. Kostova, G. Marinova, "Automatic Transformer Design Tool Selection in the Online-CADCOM Platform", 13th UBT International Conference, Pristina, Kosovo, 25–27 October 2024, ISBN: 978-9951-982-19-1, DOI: 10.33107/ubt-ic.2024.402, Conference Статия, индексирана в:<br><a href="https://knowledgecenter.ubt-uni.net/conference/2024UBTIC/CS/18/">https://knowledgecenter.ubt-uni.net/conference/2024UBTIC/CS/18/</a>   |
| Статия 4   | Ravšelj D., ..., G. Marinova, K. Kostova, etal. "Higher education students' perceptions of ChatGPT: A global study of early reactions", PLOS ONE, 05.02.2025, ISSN (Electronic): 1932-6203, DOI: 10.1371/journal.pone.0315011, Journal Статия, индексирана в: Scopus, Web of Science<br><a href="https://doi.org/10.1371/journal.pone.0315011">https://doi.org/10.1371/journal.pone.0315011</a>   |
| Статия 5   | K. Kostova, G. Marinova, "E-content Development for Passive Elements and Transformers in Online-CADCOM platform", IEEE ICEST 2025 – 60th International Scientific Conference on Information, Communication and Energy Systems and Technologies, Ohrid, North Macedonia, 26–28 June 2025, ISBN:979-8-3315-2655-9, DOI: 10.1109/ICEST66328.2025.11098369, Conference Статия, индексирана в: IEEE Xplore<br><a href="https://ieeexplore.ieee.org/document/11098369">https://ieeexplore.ieee.org/document/11098369</a> , SCOPUS |
| Статия 6   | K. Kostova, "How ChatGPT Supports Students and Professionals in EDA systems", Electronics ET2025, Sozopol, Bulgaria, 16–18 September 2025, ISSN: 1847-358X, DOI:10.23919/SoftCOM66362.2025.11197403,<br><a href="https://ieeexplore.ieee.org/document/11197403">https://ieeexplore.ieee.org/document/11197403</a>   |
| Статия 7   | K. Kostova, G. Marinova, "Automatic Power Supply Design Tool Selection in the Online-CADCOM Platform", SoftCOM 2025, Split, Croatia, 18–20 September 2025, ISSN: 1847-358X, DOI: 10.1109/ET66806.2025.11204142,<br><a href="http://www.researchgate.net/publication/397112597">www.researchgate.net/publication/397112597</a> , SCOPUS  |



**TECHNICAL UNIVERSITY – SOFIA**

**Faculty of Telecommunications  
Department of “Technologies and Management of  
Communication Systems”**

**Katerina Metodieva Kostova, M.Sc. Eng.**

**Development of Methods and Tools for E-Learning in  
Electronic Design Automation Using Artificial Intelligence**

## **A B S T R A C T**

of a dissertation for acquiring the educational and scientific degree  
**“DOCTOR”**

Field: 5. Technical Sciences

Professional field: “5.3 Communication and Computer Engineering”

Scientific specialty: “Automation of Engineering Work and Computer-Aided  
Design Systems”

**Scientific supervisor: Assoc. Prof. Galya Marinova, PhD, Eng.**

Sofia, 2026

The dissertation was reviewed and approved for defence by the Departmental Council of the Department of “Technologies and Management of Communication Systems”

The public defence of the dissertation will take place on **23.07.2026** at **15:00** in the Conference Hall of the BIC of the Technical University – Sofia, at an open session of the scientific jury appointed by order №: **ОЖ-5.3-46** of **22.05.2026** by the Rector of TU-Sofia, comprising:

6. Assoc. Prof. Boyanka Marinova Nikolova, PhD, Eng – Chairman
7. Assoc. Prof. Rostislav Pavlov Rusev, PhD, Eng - Scientific Secretary
8. Assoc. Prof. Valentin Angelov Mutkov, PhD, Eng
9. Assoc. Prof. Adriana Naydenova Borodzhieva, PhD, Eng
10. Prof. Daniela Ivanova Borisova, D.Sc

Reviewers:

1. Assoc. Prof. Boyanka Nikolova, PhD, Eng
2. Prof. Daniela Borisova, D.Sc

The defence materials are available to interested parties at the office of the Faculty of Telecommunications, TU-Sofia, Block 1, Room No. 1306.

The doctoral candidate is a full-time PhD student in the Department of “Technologies and Management of Communication Systems” at the Faculty of Telecommunications of TU-Sofia. The research for the dissertation was carried out by the author, with some of it supported by scientific research projects.

**Author:** Katerina Metodieva Kostova, M.Sc. Eng.

**Title:** Development of Methods and Tools for E-Learning in Electronic Design Automation Using Artificial Intelligence

**Print run:** 10 copies

**Printed at the Publishing and Printing Complex, Technical University – Sofia**

# **I. GENERAL CHARACTERISTICS OF THE DISSERTATION**

## **Relevance of the Problem.**

Modern electronic device design is characterized by increasing complexity, driven by higher component density, demanding signal speed requirements, and the need to optimize operational characteristics. These factors significantly complicate computer-aided design (CAD) processes, increase development time, and raise the likelihood of errors.

In this context, the integration of methods and tools of artificial intelligence (AI) into CAD systems has established itself as an effective approach for increasing the degree of automation, optimizing design decisions, and reducing development time. In addition, the development of generative language models such as ChatGPT creates new opportunities for supporting both engineering practice and education in the field of CAD.

Despite the availability of powerful software tools, learning to work with them remains challenging for both students and professionals. The lack of integrated intelligent learning environments, insufficient interactivity, and the complexity of existing platforms necessitate the development of new AI-based e-learning methods and tools.

This defines the relevance of the present dissertation, aimed at developing innovative approaches for integrating AI into the processes of education and automated design.

## **Aim, Main Tasks, and Research Methods.**

The primary aim of the dissertation is to develop methods and tools for e-learning in electronic design automation based on the use of artificial intelligence, with the goal of improving learning effectiveness and supporting design processes.

To achieve this aim, the following main tasks have been formulated:

- Analysis of existing methods and tools for automated design and e-learning, and the role of AI in them;
- Investigation and systematization of mathematical and AI methods applicable in automated design;
- Definition of criteria and models for automatic tool selection in the Online-CADCOM platform;
- Creation and expansion of a knowledge base to support tool selection and development of e-content;
- Development of methodologies for using generative language models such as ChatGPT in education in automated design;
- Conducting research and analyzing the effectiveness of the proposed methods;
- Investigation of students' perceptions and attitudes toward using ChatGPT in an academic environment.

The following research methods are used in the dissertation:

- Multi-criteria decision analysis (MCDA) methods, including Multi-Attribute Utility Theory (MAUT), Decision Matrix, and PROMETHEE;
- Criteria-based binary matrix method for comparative analysis of investigated tools;
- Mathematical method for completing characterization passports;
- Mathematical methods for processing, analyzing, and visualizing survey data;
- AI methods used in automated design programs;

## **Scientific Novelty.**

The scientific novelty of the dissertation is expressed in the following:

- A comprehensive approach for integrating AI into e-learning for automated design is proposed;
- New methodologies, including those using AI, have been developed for the automatic selection, characterization, and population of e-content for different types of elements and circuits in the Expert Module of Online-CADCOM;
- E-content for tool selection for new types of elements and circuits has been added to expand the Knowledge Base of the Expert Module in Online-CADCOM, using multi-criteria methods to support automated design;
- New methodologies have been developed for using AI, such as ChatGPT, as a supporting tool in CAD education and engineering practice;
- Validation of the developed methodologies has been carried out through real laboratory exercises, case studies, and empirical data analysis;
- Students' attitudes, perceptions, and the impact of ChatGPT on their learning, skill development, and preparation for the labor market have been investigated through collection and statistical analysis of data.

## **Practical Applicability.**

The practical applicability of the dissertation results is expressed in:

- Expansion and enhancement of the Online-CADCOM platform's functionalities;
- Creation of practically applicable knowledge bases for the selection of tools for designing electronic components and circuits;
- A laboratory exercise has been created, carried out within the course "Computer-Aided Design in Communications";
- Supporting students and engineers with ChatGPT when working with automated design tools;
- Reduction of design time and improvement of design quality by accelerating early design decisions, supporting troubleshooting, and automating time-consuming tasks;
- Implementation of the developed methodologies in educational and engineering practices.

## **Approbation.**

The main results of the dissertation have been approbated through participation in international scientific conferences and publication in peer-reviewed journals indexed in databases such as IEEE Xplore and Scopus. The research was conducted within four successfully completed scientific research projects – one funded by the Scientific Research Fund, one doctoral support project at TU-Sofia, and two with international participation. A laboratory exercise has been developed and approbated in the educational process at the Faculty of Telecommunications of TU-Sofia.

## **Publications.**

Seven publications at international conferences have been produced as part of the dissertation, of which six are indexed in Scopus. One publication is sole-authored; the rest are co-authored. The publications are presented at international conferences and in scientific journals indexed in IEEE Xplore and Scopus.

## **Structure and Volume of the Dissertation.**

The dissertation consists of 206 pages, including an introduction, six chapters, a conclusion, a bibliography, and lists of publications and citations. A separate appendix of 95 pages has been prepared, containing a description of the developed laboratory exercise, characterization passports of elements in the created knowledge base, and code for processing data from the statistical study. A total of 135 references are cited. The dissertation includes a total of 73 figures and 51 tables.

## **II. CONTENTS OF THE DISSERTATION**

### **CHAPTER 1. Analytical Review of the Application of Artificial Intelligence for E-Learning in Automated Design.**

In Chapter 1, an in-depth analytical review of the application of AI in automated design (AD) and e-learning is presented. Contemporary approaches to integrating AI at various design stages – from schematic design and simulation to layout and verification – are examined. The analysis covers a broad spectrum of methods, including machine learning, neural networks, evolutionary algorithms, and hybrid approaches. The application of AI in AD – for analog circuits, RF circuits, and PCBs – is systematized along four directions, covering design tasks from behavioral, structural, and topological domains, the corresponding AI approaches (machine learning, neural networks, multi-objective optimization, hybrid methods), mathematical methods (ANN, BNN, GA, SPEA2, NSGA-II, MOEA/D, Bayesian optimization, ReLU, and regression methods) and the specific AD tools (SPICE simulator, Continuity, CELUS, JITX, Circuit Tree, Circuit Mind, Zuken).

A comparative analysis of leading automated design platforms is presented, including Siemens EDA, Cadence OrCAD X, Flux.ai, Quilter.ai, DeepPCB.ai, and Zuken CR-8000. Their functionalities, degree of automation, and AI integration are analyzed. The platforms are compared on three indicators: AI functionality focus, scope of automation, and licensing model. The comparative analysis shows that the platforms cover the entire design cycle, from schematic design to layout verification and optimization. They combine natural language and machine learning approaches with reinforcement learning). The licensing model varies from corporate paid solutions (Siemens, Cadence, Zuken, Quilter) to monthly subscription access (Flux.ai, DeepPCB.ai).

The capabilities of generative language models, such as ChatGPT, for supporting engineering work and education are examined. It is shown that ChatGPT can support the processes of requirements definition, component selection, results interpretation, and documentation creation. The role of ChatGPT in various stages of automated design is described as a complementary tool covering seven key stages, from requirements definition and schematic design to documentation and training. It is established that ChatGPT does not replace specialized AD software but complements it through specification generation, data analysis, error interpretation, and automated documentation creation.

An analysis of e-learning tools for automated design is performed, and the main problems are identified – steep learning curve, lack of intuitive documentation, insufficient error feedback, difficulty in connecting theory and practice, and limited access to instructors or assistants.

The Online-CADCOM platform is presented as a tool for supporting design and education. Its architecture and functionality are described, illustrated in Figure 1.

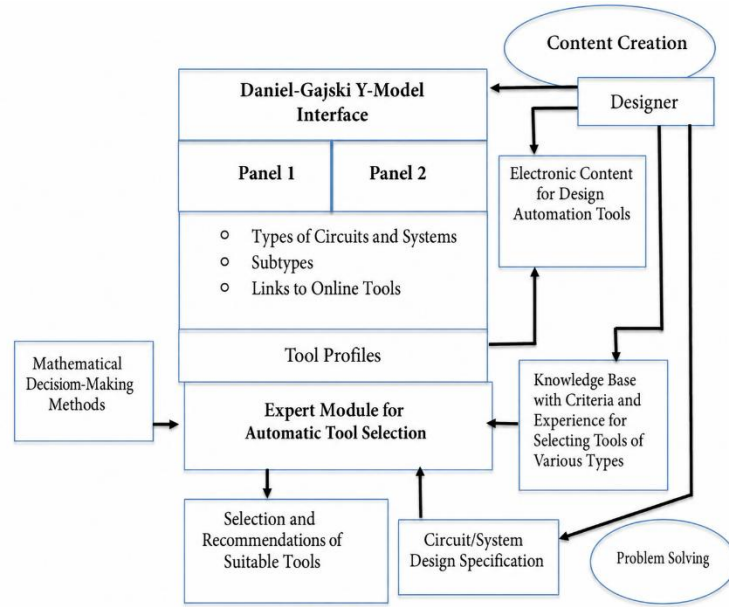


Figure 2. Architecture of the cloud-based Online-CADCOM platform.

At the end of the chapter, conclusions are formulated summarizing the main shortcomings of existing solutions and justifying the need to develop new AI-based e-learning methods and tools. On this basis, the aim of the dissertation is formulated and the main tasks are defined.

## CHAPTER 2. Mathematical Methods and Tools for Decision-Making and Statistical Processing. AI Methods and Methods for Component and Circuit Selection and Design.

Chapter 2 presents mathematical methods and tools for decision-making, statistical data processing, and AI methods applicable in automated design.

Multi-criteria analysis methods are examined in detail, including Multi-Attribute Utility Theory (MAUT) and the PROMETHEE method. Their mathematical models and formalizations are presented through the corresponding relationships.

Multi-attribute utility function:

$$(1) F(a_j) = \sum_{i=1}^k w_i u_{ij}, j = 1, 2, \dots, n$$

For each criterion, a preference function is considered:

$$(2) P_j(a, b) = H_j[d_j(a, b)]$$

where the difference between alternatives is:

$$(3) d_j(a, b) = f_j(a) - f_j(b)$$

The aggregated preference index is defined as:

$$(4) \pi(a, b) = \sum_{j=1}^k w_j P_j(a, b)$$

This function expresses the degree to which alternative  $a$  is preferred over alternative  $b$ , and is used to calculate flows in the PROMETHEE method.

A criteria-based binary matrix method for comparative analysis of automated design tools is developed, represented as a matrix structure:

$$(5) \mathbf{M} = \begin{bmatrix} \phi(T_1, C_1) & \phi(T_2, C_1) & \dots & \phi(T_n, C_1) \\ \phi(T_1, C_2) & \phi(T_2, C_2) & \dots & \phi(T_n, C_2) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \phi(T_1, C_m) & \phi(T_2, C_m) & \dots & \phi(T_n, C_m) \end{bmatrix} \in \{0,1\}^{m \times n},$$

Mathematical methods for creating and populating characterization passports of tools are proposed. The process of populating the passport for a specific tool  $t$  is described as a deterministic function:

$$(6) P(t) = (f_1(t), f_2(t), \dots, f_n(t)),$$

Methods for statistical processing and visualization of survey data are used, illustrated through graphs.

The primary analysis method is the calculation of absolute frequencies, defined as:

$$(7) f_i = \text{number of responses in a category } i$$

In addition, relative frequencies (in percentages) are calculated, forming the basis of all graphical visualizations:

$$(8) p_i = \frac{f_i}{N} \times 100$$

The arithmetic mean is used to summarize attitudes:

$$(9) \bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$$

This indicator is applied to ordinal scales.

Comparative analysis between different groups is realized by grouping data by demographic characteristics. The relative frequencies difference is used for quantitative comparison between groups:

$$(10) \Delta p = p_A - p_B$$

The AI methods used in automated design systems are examined, including machine learning, Bayesian optimization, evolutionary algorithms, multi-objective optimization, generative AI, and large language models. Their applicability in modeling, optimization, and process automation is analyzed, emphasizing their role in improving the efficiency and accuracy of automated design.

Basic types of electronic components and circuits are examined – passive elements (resistors, capacitors, and inductors), transformers, LED arrays, and switching power supplies. The specifics of each component or circuit and the need for specialized automated design tools are analyzed. The importance of selecting the right tool as a key factor for the quality and efficiency of the automated design process is emphasized.

### **CHAPTER 3. Defining Criteria for Automatic Tool Selection for New Types of Components, Circuits, and Devices in Online-CADCOM.**

Chapter 3 develops an approach for automated selection of CAD tools based on evaluation criteria and knowledge base construction within the Online-CADCOM platform. The main focus is on creating a structured environment that enables objective comparison

of various tools and supports the decision-making process in both student education and engineering practice.

The research is based on the need to systematize the variety of available online and downloadable CAD tools, which differ significantly in functionality, degree of automation, and accessibility. Criteria and tool evaluation options have been listed, covering both technical characteristics and usability. These criteria are structured in tabular form with assigned weight coefficients reflecting their significance.

Based on the selected criteria and options, a study and classification of existing CAD tools was performed. The analysis includes tools for passive elements (resistors, capacitors, inductors), transformers, switching power supplies, and LED arrays. The results are presented in summary, Tables 1, 2, and 3, enabling visual and analytical comparison.

**Table 1. Classification of tools for resistor selection and design by mandatory criteria.**

| Criterion   | Options                                    | Tools  | Weight Coefficient |
|---|--|--|--------------------|
| Determining the resistor value / online tool type | Color code resistor calculator             | All except M4EMS   | 1                  |
|   | SMD resistor calculator                    | Hobby-hour, DigiKey, M4EMS, Kiloohm, Modellingelectronics, Calculator.net, All About Circuits, Resistor.cherryjourney, Mouser, EEpower, Thinkcalculator, Pad2Pad, Csgnetwork |                    |
|   | LED series resistor calculator             | Hobby-hour, DigiKey, M4EMS, Kiloohm, Modellingelectronics, Calculator.net, All About Circuits, Resistor.cherryjourney, Mouser  |                    |
|   | Standard resistance value calculator (SRV) | Pad2Pad  |                    |
|   | Parallel resistor calculator               | DigiKey, AllAboutCircuits, OmniCalculator, CircuitDigest   |                    |
|   | Series resistor calculator                 | DigiKey, AllAboutCircuits, OmniCalculator, CircuitDigest   |                    |
|   | Wirewound resistor calculator              | Calculator.net   |                    |

**Table 2. Classification of tools for resistor selection and design by optional criteria with weight coefficient 0.5.**

| Criterion                                    | Options   | Tools  | Weight Coefficient |
|--|---|--|--------------------|
| Number of bands (R value, digits, tolerance, | 3 bands (CCR, R value with 2 digits and multiplier, | Hobby-hour, DigiKey, M4EMS, Kiloohm, Modellingelectronics, Calculator.net, All About Circuits, | 0,5                |

|  |   |   |  |
|--|---|---|--|
| temperature coefficient, failure rate) | default tolerance 20%)  | Resistor.Cherryjourney, Mouser, Resistor-calculator, Resistorcolorcodecalc, Translatorscafe, Dannyg, EEpower  |  |
|  | 4 bands (CCR, R value with 2 digits and multiplier, tolerance value)                                      | All except: M4EMS, EEpower, Thinkcalculator, Pad2Pad, Csgnetwork  |  |
|  | 5 bands (CCR, R value with 3 digits and multiplier, tolerance value)                                      | All except: M4EMS, Modellingelectronics, Dannyg, EEpower, Thinkcalculator, Pad2Pad, Csgnetwork  |  |
|  | 6 bands (CCR, R value with 2 digits and multiplier, tolerance value and temperature coefficient in ppm/K) | EEWEB, Hobby-hour, DigiKey, M4EMS, Kiloohm, Modellingelectronics, Calculator.net, All About Circuits, Resistor.cherryjourney, Mouser, Resistor-calculator, Resistorcolorcodecalc, Translatorscafe, Dannyg, CircuitDigest, Utmel, Denethor |  |
|  | 7 bands / military standard (CCR, additional band with failure rate % per 1000 hours)                     | –   |  |
| SMD code                               | 3-digit SMD   | Hobby-hour, DigiKey, M4EMS, Kiloohm, Mouser, Translatorscafe, EEpower, Thinkcalculator, Pad2Pad, Csgnetwork   |  |
|  | 4-digit SMD   | Hobby-hour, DigiKey, M4EMS, Kiloohm, Mouser, Translatorscafe, EEpower, Thinkcalculator, Pad2Pad, Csgnetwork   |  |
|  | EIA-96 SMD  | Hobby-hour, DigiKey, M4EMS, Kiloohm, Mouser, Utmel, EEpower, Thinkcalculator, Pad2Pad, Csgnetwork   |  |


**Table 3. Classification of tools for resistor selection and design by optional criteria with weight coefficient 0.33.**

| Criterion          | Options      | Tools   | Weight Coefficient |
|--------------------|--------------|---|--------------------|
| Tolerance (CCR), % | ±0.05 to ±10 | DigiKey, Resistor.cherryjourney, Resistor-calculator, Resistorcolorcodecalc | 0,33               |
|                    | ±0.05 to ±20 | Hobby-hour, Kiloohm, All About Circuits, Denethor                           |                    |
|                    | ±0.25 to ±20 | EEpower   |                    |

|                         |                         |   |
|-------------------------|-------------------------|---|
|                         | $\pm 1$ to $\pm 10$     | Modellingelectronics  |
|                         | $\pm 0.01$ to $\pm 20$  | Calculator.net  |
|                         | $\pm 0.1$ to $\pm 10$   | Mouser  |
|                         | $\pm 0.5$ to $\pm 20$   | Thinkcalculator, Pad2Pad, Csgnetwork  |
|                         | $\pm 5$ to $\pm 20$     | Dannyg  |
| Product catalog         | Product catalog         | DigiKey, Modellingelectronics, Mouser, Utmel  |
| Price                   | Price                   | DigiKey, Modellingelectronics, Mouser   |
| Feedback                | Feedback                | EEWEB, DigiKey, Calculator.net, All About Circuits, Translatorscafe, Dannyg, Mouser, CircuitDigest, Utmel, Denethor, EEpowers, Thinkcalculator, Pad2Pad, Csgnetwork |
| References              | References              | Hobby-hour, DigiKey, All About Circuits, Utmel  |
| Rated power             | Rated power             | OmniCalculator, EEpowers, CircuitDigest   |
| Error calculation (SRV) | Error calculation (SRV) | Pad2Pad   |
| Illustrations           | Illustrations           | All   |
| Theory                  | Theory                  | All   |

An essential element of the proposed methodology is the construction of a knowledge base in which each tool is described through a “characterization passport”. This passport is a structured description of the main characteristics of the tool, including its functionalities, limitations, parameters, and application areas. This ensures a uniform representation of information that facilitates research into the relevant online or downloadable tool. An example is shown in tabular form in Table 4.

**Table 4. Characterization passport for a resistor calculator tool.**

|                              |  |
|------------------------------|--|
| EEWEB                        |   |
| Link:                        | <a href="http://www.eeweb.com/toolbox/6-band-resistor-calculator">http://www.eeweb.com/toolbox/6-band-resistor-calculator</a>          |
| Type of online CAD tool      | Free online calculator   |
| Panel/Category               | Panel 2/Elements   |
| Application area             | Subcategory Resistors  |
| Functions                    | Color code decoding and resistance calculation   |
| Level of abstraction covered | Transistor/Analog design   |
| Connections Input/Output     | PCB design tools, analog filter design, prototyping  |
| Verification tool            | Internal or third-party validation   |
| Equivalence                  | Other resistor color code calculators  |
| Qualitative features         | User-friendly interface<br>Interactive color bands<br>Real-time feedback<br>Tolerance and coefficient display<br>No 3D<br>No animation |
| Quantitative features        | <b>Supports:</b><br>4-Band   |

|  |   |
|--|---|
|  | 5-Band<br>6-Band<br><b>Outputs:</b><br>Resistance<br>Tolerance<br>Temperature coefficient |
|--|---|

Within Chapter 3, individual categories of electronic components and circuits are examined, and for each, criteria and options for AD tools are listed and corresponding categories in the knowledge base are created.

Based on the criteria, options with different weight coefficients, and the passports, the dynamic expert module in Online-CADCOM can select the most suitable tools for a given specification. Depending on user requirements, the system evaluates available tools and proposes the most appropriate solution.

The evaluation is performed using a Decision Matrix (DM) and the Multi-Attribute Utility Theory (MAUT) model, which determines a combined value reflecting the overall utility of each alternative, accounting for different attributes.

MAUT standardizes the performance values of alternatives to reflect the decision-maker's preferences. The process involves defining a utility function for each criterion and option. The total utility of an alternative is calculated as the sum of utilities across all criteria and options, where the weight of each criterion or option determines its significance.

The weight coefficients are incorporated in the MAUT model for ranking the alternatives.

The Decision Matrix is a table stored in the knowledge base, containing information about the alternatives. Each row represents one alternative, and the columns contain the values of the various criteria. This approach streamlines the decision-making process and provides a structured, quantitative method for selecting the most appropriate tool.

Based on criteria with various weight coefficients and passports for 10 LED matrix design tools, the dynamic expert module in Online-CADCOM can select the most suitable tools for a given specification.

The automatic tool selection is illustrated with an example. The LED matrix specification and desirable tool criteria are:

- Number of LEDs;
- Parallel configuration;
- Feedback;
- LED matrix editor;
- Product catalog;
- Price;
- Theory.

The evaluation of tools uses MAUT (Multi Attribute Utility Theory).

The capability of all considered LED matrix design tools satisfying the user-defined criteria has been evaluated. The results are presented in Table 5.

**Table 5. Evaluation of criteria for LED matrix design tools in Online-CADCOM.**

| Tools satisfying mandatory criteria and options | EVERYCIRCUIT | AMPLIFIEDPARTS | LEDZ.COM    | TRANSLATORSCLAFE | DIGIKEY     | ALLABOUTCIRCUITS | HEBEILTD    | OHMS LAW CALCULATOR | Weight Coefficient |
|---|--------------|----------------|-------------|------------------|-------------|------------------|-------------|---------------------|--------------------|
| Optional criteria                               |              |                |             |                  |             |                  |             |                     |                    |
| Supply voltage                                  | 1            | 1              | 1           | 1                | 1           | 1                | 1           | 1                   | 1.0                |
| Number of LEDs                                  | 1            | 1              | 1           | 1                | 0           | 1                | 1           | 0                   | 0.5                |
| Parallel configuration                          | 1            | 1              | 1           | 1                | 0           | 0                | 1           | 0                   | 0.5                |
| Feedback  | 1            | 1              | 1           | 1                | 1           | 1                | 0           | 1                   | 0.33               |
| LED matrix editor                               | 1            | 0              | 0           | 0                | 0           | 0                | 0           | 0                   | 0.33               |
| Product catalog                                 | 1            | 1              | 1           | 0                | 1           | 0                | 1           | 0                   | 0.33               |
| Price   | 1            | 1              | 1           | 0                | 1           | 0                | 1           | 0                   | 0.33               |
| Theory  | 1            | 1              | 1           | 1                | 0           | 1                | 0           | 0                   | 0.33               |
| <b>F(Ok)</b>                                    | <b>2.65</b>  | <b>2.32</b>    | <b>2.32</b> | <b>1.33</b>      | <b>1.32</b> | <b>1.16</b>      | <b>1.00</b> | <b>0.33</b>         | -                  |

All values in the first row of Table 5 for the mandatory option “Supply voltage” are “1”, indicating that all investigated tools can design an LED matrix. All tools satisfy the mandatory criterion, therefore it can be omitted when calculating the utility function. Online-CADCOM ranks the tools using the MAUT method based on the utility function F(Ok) as follows:

- EVERYCIRCUIT – 2.65 (Rank 1);
- AMPLIFIEDPARTS and LEDZ.COM – 2.32 (Ranks 2 and 3);
- TRANSLATORSCLAFE – 1.33 (Rank 3);
- DIGIKEY – 1.32 (Rank 5);
- ALLABOUTCIRCUITS – 1.16 (Rank 6);
- HEBEILTD – 1.00 (Rank 7);
- OHMS LAW CALCULATOR – 0.33 (Rank 8).

As shown in Figure 2, the tool characteristics and links are included in Online-CADCOM and the designer can directly launch the recommended.

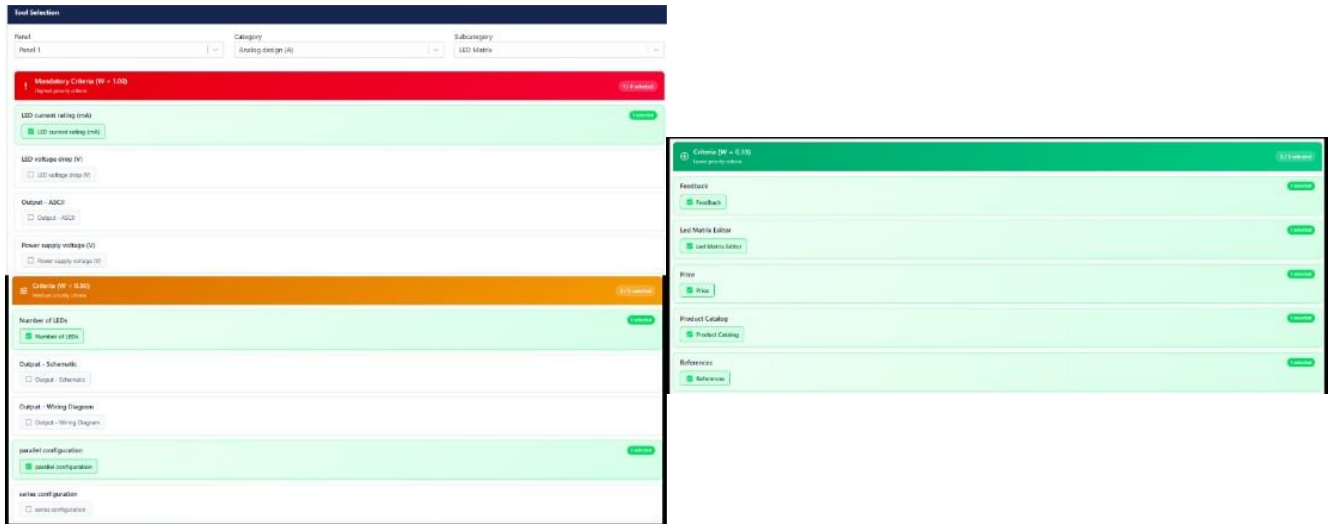


Figure 2. Tool selection settings in Online-CADCOM.

Figures 2 and 3 illustrate the automatic selection and ranking of LED matrix design tools. Figure 2 shows the tool selection settings, while Figure 3 shows the final tool ranking result.

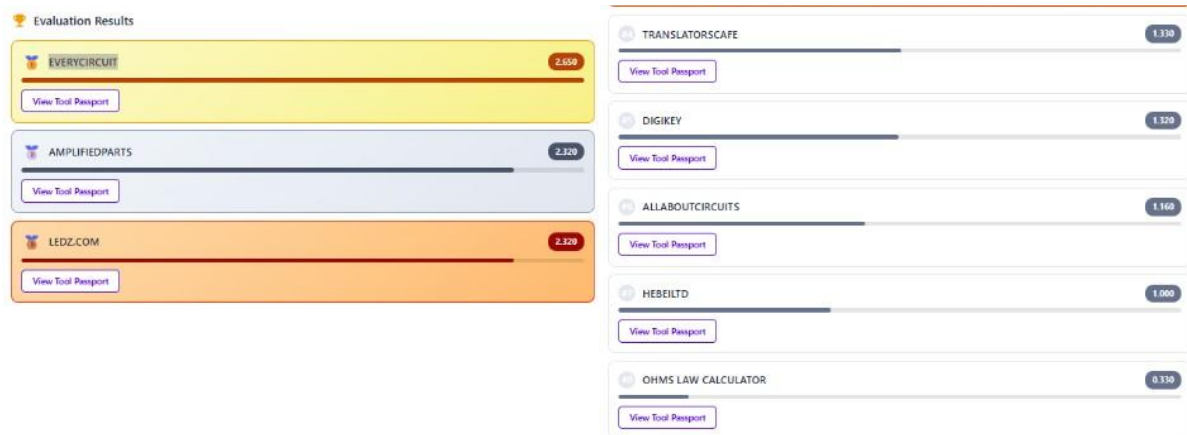


Figure 3. Results of automatic tool selection and ranking in Online-CADCOM.

The results in Figure 3 fully match those in Table 5.

The developed approach ensures not only automation of the selection process but also enhances its objectivity and repeatability. This is particularly important both in student education and in engineering practice, where selecting an inappropriate tool can lead to significant waste of time and resources.

The new functionality has been implemented in the academic course “Computer-Aided Design in Communications” in the fourth year of the bachelor’s program at the Faculty of Telecommunications of TU-Sofia. Twenty students were organized into five groups of four and developed various SMPS projects as coursework using the new functionality in Online-CADCOM. The projects were presented and approved by a panel of SMPS design experts at TU-Sofia. The students themselves provided feedback, confirming that the new functionality helped them complete their projects more quickly.

## CHAPTER 4. Creating New Content in the Knowledge Base and Expert Module of Online-CADCOM.

Chapter 4 presents the expansion of the Online-CADCOM platform’s functionality through the creation of new knowledge base content and the development of a methodology for systematizing and presenting information about CAD tools.

A methodology for creating and populating comparative tables for online CAD tools has been developed. The methodology defines the sequence of actions for collecting, analyzing, and structuring information about tools, as well as the method for evaluating them by pre-selected criteria and options. It encompasses the following stages:

**Step 1: Preparation for tool investigation.**

A unified list of evaluation criteria is defined, applicable in an identical manner to all investigated tools of the relevant class. An inspection order is established and followed sequentially for each tool. The goal is to ensure comparability of results and eliminate errors in the tool investigation process.

**Step 2: Initial review of the tool.**

For each investigated tool, a detailed review of available functionalities and user settings is performed. The goal is to obtain a general understanding of the architecture and scope of the tool before proceeding with targeted inspection against each individual criterion.

**Step 3: Targeted inspection against criteria.**

Each criterion from the unified list is checked individually through analysis of the tool’s functionalities, without additional modification of the respective functionality.

**Step 4: Coding of results.**

Results are coded using a binary scheme and entered directly into the comparative table, as follows:

“●” – criterion is present in the tool;

“–” – criterion is absent in the tool;

**Step 5: Recording of parametric values.**

For criteria that cannot be adequately described by a binary value, the observed functionalities are recorded. No additional interpretation or normalization is applied.

**Step 6: Completing the comparative table.**

Results from Steps 4 and 5 are systematized in a unified comparative table, Table 6, covering all investigated tools and criteria. The table serves as the main instrument for comparative and statistical data processing.

**Table 6. Unified structure of a table for investigating online CAD tools.**

| Criteria      | Tool 1 | Tool 2 | Tool n | ..... | Tool n+1 |
|---------------|--------|--------|--------|-------|----------|
| Criterion 1   | ●      | -      | ●      | ..... | ●        |
| Criterion m   | -      | -      | -      | ..... | -        |
| ....          | .....  | .....  | .....  | ..... | .....    |
| Criterion m+1 | ●      | ●      | ●      | ..... | ●        |

In accordance with the developed methodology, a significant number of online and downloadable CAD tools were selected and classified. The analysis covers various categories of electronic components, including resistors, capacitors, inductors, transformers, switching power supplies, and LED arrays. Comparative tables have been created for each category. An example is shown in Table 7.

**Table 7. Comparative table of online tools for resistor analysis and calculation.**

| Tools \ Criteria               | EEWEB        | Hobby-hour   | DigiKey      | M4EMS | Kiloohm      | Modellingelectronics | Calculator.net | All about circuits | Resistor.cherryjourne | Mouser      | Resistor-calculator | Resistorcolorcodecalc | Translatorscafe | Dannyg    | Circuitdigest | Utmel       | Denethor    | Eepower     | Thinkcalculator | Rad2pad    | Csgnetwork |
|--------------------------------|--------------|--------------|--------------|-------|--------------|----------------------|----------------|--------------------|-----------------------|-------------|---------------------|-----------------------|-----------------|-----------|---------------|-------------|-------------|-------------|-----------------|------------|------------|
| Color code resistor calculator | •            | •            | •            | -     | •            | •                    | •              | •                  | •                     | •           | •                   | •                     | •               | •         | •             | •           | •           | •           | -               | -          | -          |
| SMD resistor code calculator   | -            | •            | •            | •     | •            | -                    | -              | -                  | -                     | •           | -                   | -                     | -               | -         | -             | -           | -           | •           | •               | •          | •          |
| LED series resistor calculator | -            | •            | •            | -     | -            | •                    | -              | -                  | -                     | •           | -                   | -                     | -               | -         | -             | -           | -           | -           | -               | -          | -          |
| 3 bands                        | -            | •            | -            | -     | •            | -                    | •              | -                  | -                     | -           | -                   | •                     | •               | •         | -             | -           | -           | •           | -               | -          | -          |
| 4 bands                        | •            | •            | •            | -     | •            | •                    | •              | •                  | •                     | •           | •                   | •                     | •               | •         | •             | •           | •           | •           | -               | -          | -          |
| 5 bands                        | •            | •            | •            | -     | •            | -                    | •              | •                  | •                     | •           | •                   | •                     | •               | -         | •             | •           | •           | -           | -               | -          | -          |
| 6 bands                        | •            | •            | •            | -     | •            | -                    | •              | •                  | -                     | •           | -                   | •                     | -               | -         | •             | •           | •           | -           | -               | -          | -          |
| 3-digit SMD                    | -            | •            | •            | •     | •            | -                    | -              | -                  | -                     | •           | -                   | -                     | •               | -         | -             | -           | -           | •           | •               | •          | •          |
| 4-digit SMD                    | -            | •            | •            | •     | •            | -                    | -              | -                  | -                     | •           | -                   | -                     | •               | -         | -             | -           | -           | •           | •               | •          | •          |
| EIA-96 SMD                     | -            | •            | •            | •     | •            | -                    | -              | -                  | -                     | •           | -                   | -                     | -               | -         | -             | •           | -           | •           | •               | •          | •          |
| Tolerance (%)                  | ±0.05 to ±10 | ±0.05 to ±20 | ±0.05 to ±10 | -     | ±0.05 to ±20 | ±1 to ±10            | ±0.01 to ±20   | ±0.05to ±10        | ±0.05 to ±20          | ±0.1 to ±10 | ±0.05to ±10         | ±0.05to ±10           | ±0.05to ±10     | ±5 to ±20 | ±0.05to ±10   | ±0.05to ±10 | ±0.05to ±20 | ±0.25to ±20 | ±0.5to ±20      | ±0.5to ±20 | ±0.5to ±20 |
| Product catalog                | -            | -            | •            | -     | -            | •                    | -              | -                  | -                     | •           | -                   | -                     | -               | -         | -             | •           | -           | -           | -               | -          | -          |
| Price                          | -            | -            | •            | -     | -            | •                    | -              | -                  | -                     | •           | -                   | -                     | -               | -         | -             | -           | -           | -           | -               | -          | -          |
| Feedback                       | •            | -            | •            | -     | -            | -                    | •              | •                  | -                     | •           | -                   | -                     | •               | •         | •             | •           | •           | •           | •               | •          | •          |
| Reference s/sources            | -            | •            | •            | -     | -            | -                    | -              | •                  | -                     | -           | -                   | -                     | -               | -         | -             | •           | -           | -           | -               | -          | -          |

Special attention is given to expanding the knowledge base in Online-CADCOM through standardized characteristic passports for each tool. These passports include both quantitative and qualitative parameters describing the functional capabilities, limitations, and application areas of the tools. By introducing a unified format (Table 8) for presenting information, easier data processing is achieved and conditions for automated comparison and selection are created.

**Table 8. Universal characterization passport.**

|   |   |
|---|---|
| <b>Tool Name</b>                                | Icon of the tool under review   |
| <b>Uniform Resource Locator</b>                 | URL   |
| <b>Type of CAD tool</b>                         | Online / Offline / Installation tool  |
| <b>Panel / Category</b>                         | Behavioral design / Physical design   |
| <b>Application area</b>                         | Application area (e.g. power electronics, signal processing)  |
| <b>Functions</b>                                | Main functions (e.g. analysis, synthesis, design, verification)   |
| <b>Level of abstraction covered</b>             | Level of abstraction in the Daniel Gajski model   |
| <b>Connectivity; input, output</b>              | Simulation support (Yes/No; compatible software), output formats (e.g. CSV, SPICE, XML)   |
| <b>Verification tool</b>                        | Software or system used for validating and testing the accuracy, performance, and functionality of a design by simulating its behavior prior to implementation (e.g. PSpice, LTSpice)   |
| <b>Equivalence or application area coverage</b> | Measure of how well the tool matches or can replace other similar tools, ensuring compatibility and applicability across different design methodologies (e.g. Webench Filter Designer vs. Analog Filter Wizard)   |
| <b>Qualitative characteristics</b>              | User interface (e.g. graphical / text-based), ease of use (e.g. beginner-friendly, advanced features), visual output (e.g. diagrams, graphs, interactive simulations), interactivity (e.g. real-time simulation, step-by-step guidance)                             |
| <b>Quantitative characteristics</b>             | Available design options (e.g. linear, switched-mode, resonant), filter types if applicable (e.g. low-pass, high-pass), power supply calculations (e.g. efficiency, voltage drop, load regulation), analysis capabilities (e.g. AC/DC analysis, transient response) |

Within Chapter 4, expanded e-content for 6 key categories of electronic components and subsystems has been developed and integrated into Online-CADCOM. The goal is to provide systematized, structured, and comparable information about available free online tools supporting the design of basic electronic elements and systems.

For each of the examined categories, characterization passports of online CAD tools have been created and populated following a unified template.

Figure 4 illustrates the e-content for the resistor category, showing the available 21 tools.

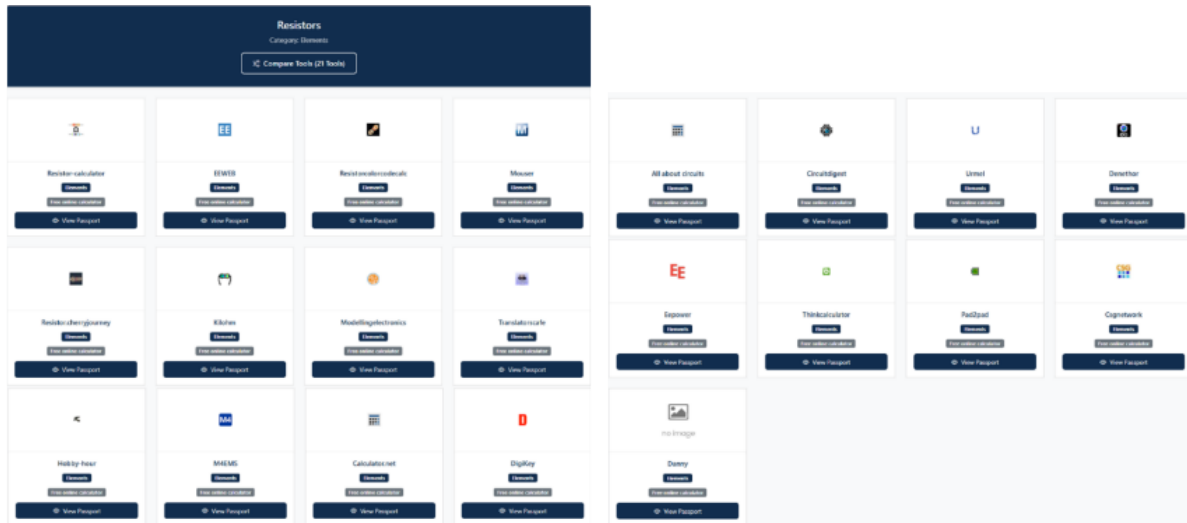


Figure 4. Interface of Online-CADCOM showing all entered online CAD tools for resistors.

As a result of the development, Online-CADCOM becomes an integrated environment combining a knowledge base, training content, and mechanisms for automated tool selection. This enables not only support of the design process but also conditions for effective education in automated design.

In conclusion, e-content for the selection of a total of 69 AD tools has been implemented in Online-CADCOM. All characterization passports are presented in Annex 2. Through the introduction of structured characterization passports, the following have been integrated:

- 41 passive elements – 21 for resistors, 11 for capacitors, and 9 for inductors;
- 10 for transformers;
- 8 for switching power supplies;
- 10 for LED arrays.

With these improvements, Online-CADCOM continues to develop as a scalable, user-oriented system supporting both education and practice in the design of electronic systems.

## CHAPTER 5. Innovative Methods for Using Artificial Intelligence to Support E-Learning and Automated Design.

Chapter 5 develops and experimentally investigates innovative methods for using AI, and specifically generative language models such as ChatGPT, to support e-learning in automated design. The main focus is on integrating ChatGPT as an intelligent assistant in the student learning process and engineering practice, with the goal of improving efficiency, reducing task completion time, and enhancing understanding of complex technical concepts.

A two-phase model for using ChatGPT in CAD education is proposed. In the first phase (ChatGPT training phase), the model is used to assist in developing laboratory exercises, including task formulation, explanation of theoretical relationships, and preparation of work instructions. In the second phase (ChatGPT application phase for student support), ChatGPT is used as an active assistant during task execution, helping students solve specific problems, interpret results, and troubleshoot errors.

A study was conducted on ChatGPT's capabilities to support and/or fully develop a real laboratory exercise in automated design on the topic: "Investigation of a Chebyshev

Low-Pass Filter with PSpice”. Special attention is given to how ChatGPT supports the process of understanding the task, formulating solutions, and verifying results.

Figure 5 presents the result of the frequency analysis of a Chebyshev low-pass filter realized with  $\mu A741$  operational amplifiers, obtained through simulation in OrCAD/PSpice. The main frequency characteristics of the investigated circuit are shown – amplitude-frequency response (AFR), phase-frequency response (PFR), and group delay (GD), calculated for the entire circuit and for the individual cascaded stages.

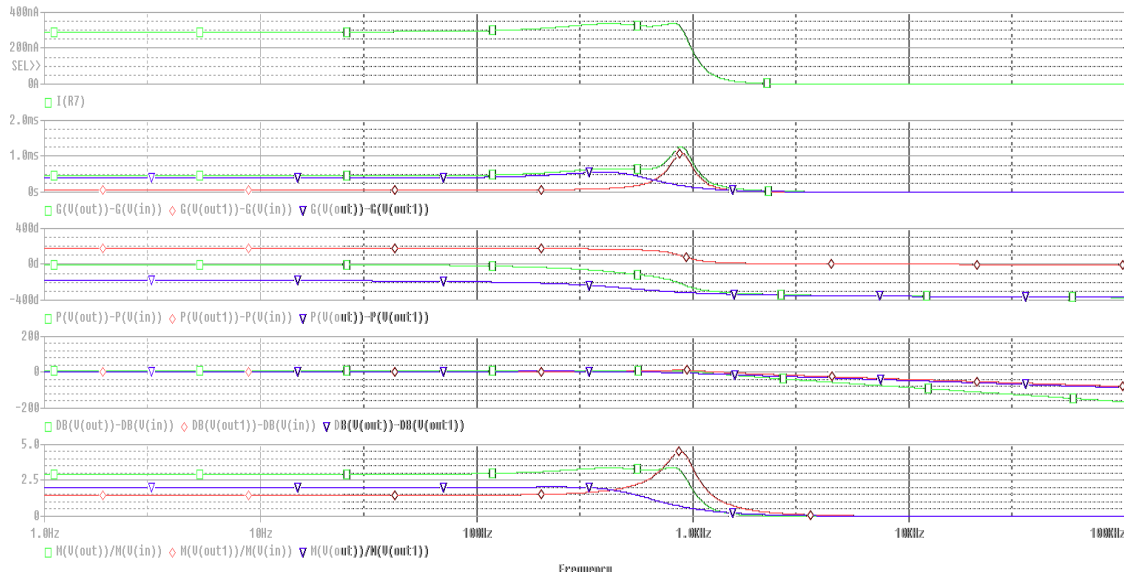


Figure 5. PSpice result for AFR, PFR, and GD.

Figures 6, 7, 8, and 9 present the result of the analytical-numerical analysis performed using ChatGPT in its interface, where the amplitude-frequency response was obtained by deriving the transfer function and numerically calculating the gain in the frequency domain. The graph illustrates the filter behavior in the passband, transition band, and stopband, as well as the influence of individual stages on the overall characteristic.

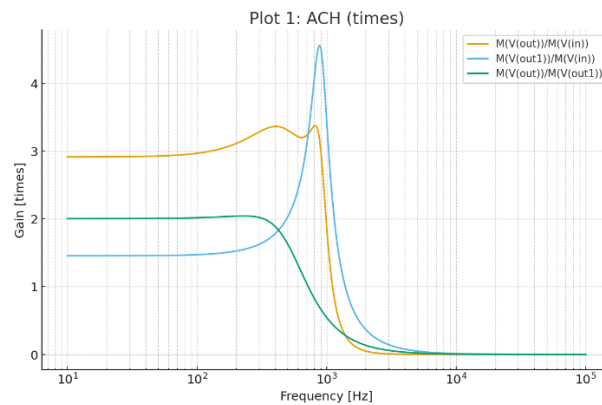


Figure 6. ChatGPT result for AFR in linear scale.

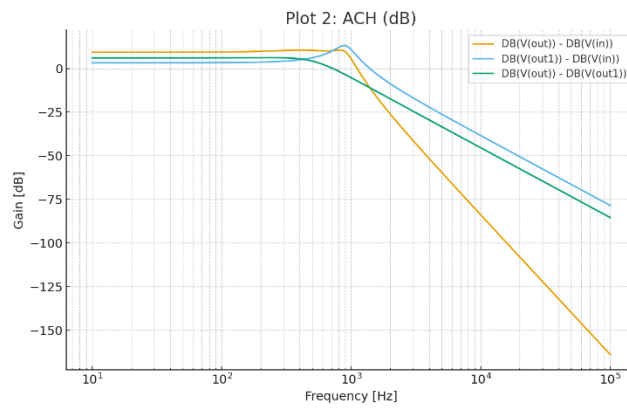


Figure 7. ChatGPT result for AFR in decibels.

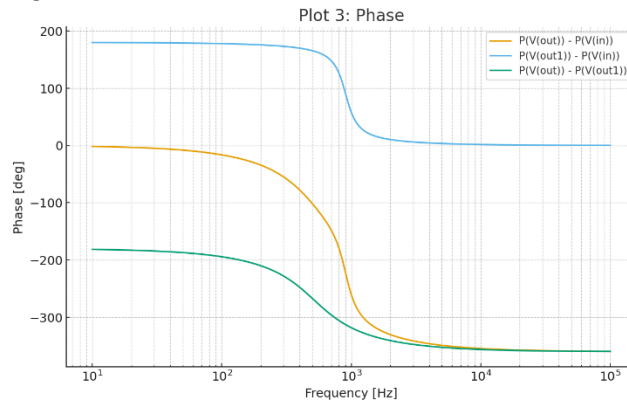


Figure 8. ChatGPT result for PFR.

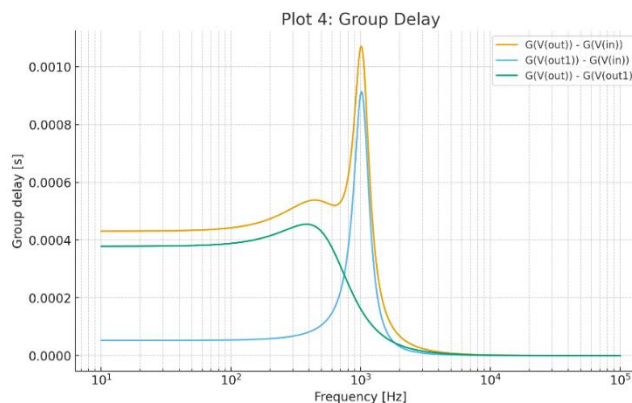


Figure 9. ChatGPT result for GD.

The comparison of results from OrCAD/PSpice and ChatGPT shows good qualitative agreement in the shape of the frequency characteristics, the position of the cutoff frequency, and the presence of Chebyshev ripple in the passband. Observed quantitative differences are primarily due to the use of an idealized model in the ChatGPT analytical analysis and the inclusion of realistic operational amplifier models and parasitic effects in the PSpice simulation.

A comparative analysis of results with and without ChatGPT was performed for each task in the laboratory exercise, Table 9.

**Table 9. Comparative analysis of results.**

| Parameter              | OrCAD/PSpice | ChatGPT | Deviation / Comment |
|------------------------|--------------|---------|---------------------|
| Gain in flat section A | 2.9138       | ≈ 2.95  | ≈ 1.2 %             |
| Gain at ( $f_{rpp}$ )  | 2.0397       | ≈ 2.06  | ≈ 1.0 %             |

|   |         |         |                           |
|---|---------|---------|---------------------------|
| Upper cutoff frequency ( $f_{rpp}$ ) [Hz] | 981.779 | ≈ 981   | < 0.1 %                   |
| Pole frequency 1 [Hz]                     | 65.513  | ≈ 65.5  | Weakly expressed extremum |
| Gain at pole frequency 1                  | 2.9374  | ≈ 2.94  | < 0.2 %                   |
| Pole frequency 2 [Hz]                     | 409.492 | ≈ 409   | < 0.2 %                   |
| Gain at pole frequency 2                  | 3.3714  | ≈ 3.39  | ≈ 0.5 %                   |
| Pole frequency 3 [Hz]                     | 629.970 | ≈ 643   | ≈ 2.1 %                   |
| Gain at pole frequency 3                  | 3.2251  | ≈ 3.21  | < 0.5 %                   |
| Pole frequency 4 [Hz]                     | 815.764 | ≈ 816   | < 0.1 %                   |
| Gain at pole frequency 4                  | 3.4107  | ≈ 3.39  | ≈ 0.6 %                   |
| Roll-off S [dB/dec]                       | -79.243 | ≈ -79.3 | < 0.1 %                   |

The presented comparative analysis shows very good agreement between the results obtained through simulation in OrCAD/PSpice and those calculated using ChatGPT. The deviations between the two approaches are small and in all examined parameters do not exceed a few percent, being under 1% in most cases.

The use of ChatGPT as a supporting tool significantly reduces task completion time without compromising analysis quality when used together with a simulation environment, Table 10. Using only ChatGPT leads to the shortest time, but cannot replace the need for practical work in OrCAD/PSpice, which underscores the role of ChatGPT as a complementary rather than a replacement tool in CAD education.

**Table 10. Summary table – times comparison.**

| Approach               | Approximate time | Characteristic            |
|------------------------|------------------|---------------------------|
| OrCAD/PSpice only      | ≈ 135 min        | Full simulation analysis  |
| OrCAD/PSpice + ChatGPT | ≈ 60–80 min      | Optimal learning approach |
| ChatGPT only           | ≈ 15–30 min      | Preliminary, analytical   |

An analysis of the interaction between the user and ChatGPT was performed, identifying the main benefits and limitations. When OrCAD/PSpice and ChatGPT are used in combination, the simulation environment provides numerical and graphical results, while ChatGPT serves as an intelligent supporting tool for analytical interpretation, verification, and structuring of results.

During the exercise, ChatGPT supports execution in the following ways:

- **Analytical explanation of tasks** – provides clear interpretation of each subtask, including analysis objectives and expected results;
- **Support with simulation setup** – indicates the correct analysis type (AC, Noise, DC Operating Point), required simulation profile settings, and appropriate result visualization expressions;
- **Verification and interpretation of results** – assists in reading frequency responses, noise graphs, and SNR, explaining the influence of frequency intervals, cursors, and component parameters;
- **Numerical verification** – performs independent analytical calculations (gain, cutoff frequency, roll-off, power) serving as a cross-check of simulation results;
- **Structuring information** – assists in formatting results in tabular and text form suitable for a lab report or dissertation;
- **Formulating conclusions** – assists in composing technical and methodological conclusions based on obtained data.

Thanks to this form of interaction, the time required for analysis and interpretation of results is significantly reduced, avoiding typical errors in interpreting noise analysis and frequency characteristics.

In this context, ChatGPT does not replace the OrCAD/PSpice simulation environment, but functions as an intelligent assistant that supports the learner in analyzing, verifying, and understanding the obtained results.

In the chapter, a methodology for investigating online tools using ChatGPT was developed. A new methodology for investigating online CAD tools has been developed with the goal of systematically and objectively structuring information about existing software tools. The methodology does not include evaluation, optimization, or decision-making, but focuses entirely on establishing the presence or absence of certain functional characteristics of the tools.

The methodology consists of three clearly defined stages.

### **1. Identification and selection of online tools.**

The first stage involves identifying and selecting online and/or downloadable tools relevant to the examined class of design tasks. Selection is performed through targeted search in publicly available sources and includes only tools providing real engineering functionality. At this stage no quality analysis or comparative evaluation is performed; only the set of tools to be investigated is established.

### **2. Analysis of functional capabilities and definition of criteria.**

The second stage focuses on analyzing the functional capabilities of the selected tools in order to define criteria describing those capabilities. The criteria are formulated as binary attributes applicable to all tools in the investigated set.

At this stage:

- the criteria are descriptive, not evaluative;
- no weight coefficients are introduced;
- no relative importance between criteria is defined.

### **3. Completing a binary (Boolean) table.**

The third stage represents the main result of the method and involves completing a binary table in which rows correspond to the investigated tools and columns to the defined criteria. A value “•” indicates the presence of a functionality, and “–” indicates its absence. The resulting Table 6 represents a formalized knowledge base and serves as input for subsequent expert or automated selection methods.

A comparative analysis was performed between the traditional tool investigation approach and the ChatGPT-assisted approach, Table 11. The results show a significant reduction in information gathering and processing time, as well as improvement in the structure and quality of the analysis.

**Table 11. Comparison of time for manual and ChatGPT-assisted tool investigation.**

| <b>Methodology stage</b>               | <b>Manual investigation</b> | <b>ChatGPT-assisted investigation</b> |
|--|-----------------------------|---------------------------------------|
| Orientation and tool access            | 5–10 minutes                | 1–2 minutes                           |
| Familiarization with functionalities   | 15–30 minutes               | 5–10 minutes                          |
| Criteria verification (20–30 criteria) | 40–60 minutes               | 5–10 minutes                          |
| Completing the binary table            | 5–10 minutes                | 2–3 minutes                           |

|                                |                            |                          |
|--------------------------------|----------------------------|--------------------------|
| <b>Total time for 1 tool</b>   | <b>60–120 minutes</b>      | <b>10–20 minutes</b>     |
| <b>Total time for 10 tools</b> | <b>10–20 working hours</b> | <b>2–4 working hours</b> |

A methodology for automated population of characteristic passports using ChatGPT has also been developed. The methodology enables the generation of structured information about tools based on available data and defined criteria. This leads to significant acceleration of the knowledge base creation process. The process of creating passports using ChatGPT is realized through the following sequential stages:

### 1. Formalization of input information.

The following are used as input to ChatGPT:

- the author’s table for investigating online tools;
- pre-defined categories and panels;
- a completed example passport, used as a reference model.

### 2. Content generation using ChatGPT.

ChatGPT is used for:

- generating text content for each field of the passport;
- adapting the terminology to the component type;
- ensuring a uniform style and technical consistency.

### 3. Structuring and export.

The generated content is structured in:

- tables with a standardized format;
- Word documents (.docx), suitable for direct inclusion in the dissertation;
- passports with added logos and hyperlinks.

### 4. Review and editing by the author.

The author performs:

- verification of correctness;
- stylistic and terminological editing;
- final selection and classification of passports;
- manual entry into the Online-CADCOM platform.

The results of applying this methodology are presented through a comparative analysis of the time for creating passports using the manual and automated approach.

Table 12 demonstrates successful integration of ChatGPT in scientific research activity, where AI is used not as a replacement but as an intelligent assistant to the researcher. This contributes to improving the efficiency, scalability, and quality of results within the dissertation. Time reduction is between 70% and 85%.

**Table 12. Summary of results.**

| <b>Method</b> | <b>Time for 1 passport</b> | <b>Time for 50 passports</b> |
|---------------|----------------------------|------------------------------|
| Manual        | 30–45 min                  | 25–37 hours                  |
| With ChatGPT  | 5–10 min                   | 4–8 hours                    |

The chapter also analyzes the limitations and risks of using generative language models. They include the possibility of generating inaccurate or incomplete information, dependence on correct question formulation, and the need for thorough verification of results. Despite this, when used correctly, ChatGPT proves to be a powerful tool for supporting education and engineering practice.

In conclusion, the methods proposed in this chapter demonstrate significant potential for integrating artificial intelligence into education and design processes. They contribute

to creating a more interactive, efficient, and adaptive learning environment that meets the modern requirements of automated design. ChatGPT should be seen not as a replacement for a human expert, but as an intelligent assistant capable of increasing productivity, though unable to guarantee validity without human intervention.

## **CHAPTER 6. Investigation of ChatGPT Perceptions at TU-Sofia.**

Chapter 6 presents participation in a global study aimed at analyzing students' and teachers' perceptions of the use of generative language models, and specifically ChatGPT, in education and engineering practice. When the study on AI use in e-learning for CAD was initiated, there was no clear picture of the attitudes and expectations of students in Bulgaria, and specifically at TU-Sofia, on this topic. The main objective of the study is to assess the degree of use, perceived benefits, limitations, and the impact of these technologies on the learning process and professional skill development.

The first wave of the global study, conducted between 9 October 2023 and 29 February 2024, involving over 23,000 higher education students from 109 countries (including Bulgaria), shows that ChatGPT is primarily used for idea generation, text summarization, and information access. Students find it particularly useful for simplifying complex material and improving learning efficiency. Main concerns remain related to academic integrity and excessive dependence on AI. General usage patterns point to ChatGPT's potential to improve digital literacy, access to a wide range of knowledge, and academic outcomes.

In the second wave of the Global Student Survey on ChatGPT, conducted between October 2024 and February 2025, 22,963 responses were collected from students in 120 countries and territories. The survey covers several aspects related to ChatGPT: sociodemographic characteristics, usage patterns, capabilities, regulations and ethical issues, satisfaction and attitudes, learning difficulties and outcomes, skill development, the labor market and skills mismatch, emotions, academic and personal information, as well as perceptions of ChatGPT. The survey is directed at students in accredited higher education institutions

**Section 1** includes sociodemographic questions whose main function is to determine the participant profile and provide context for all subsequent analyses. Question Q1, Figure 10, measures the national origin of participants and allows assessing the distribution by country. The analysis shows clearly expressed international diversity, confirming the global character of the study. Bulgaria accounts for a relatively small share with only 260 responses, or 1.3% of all respondents.

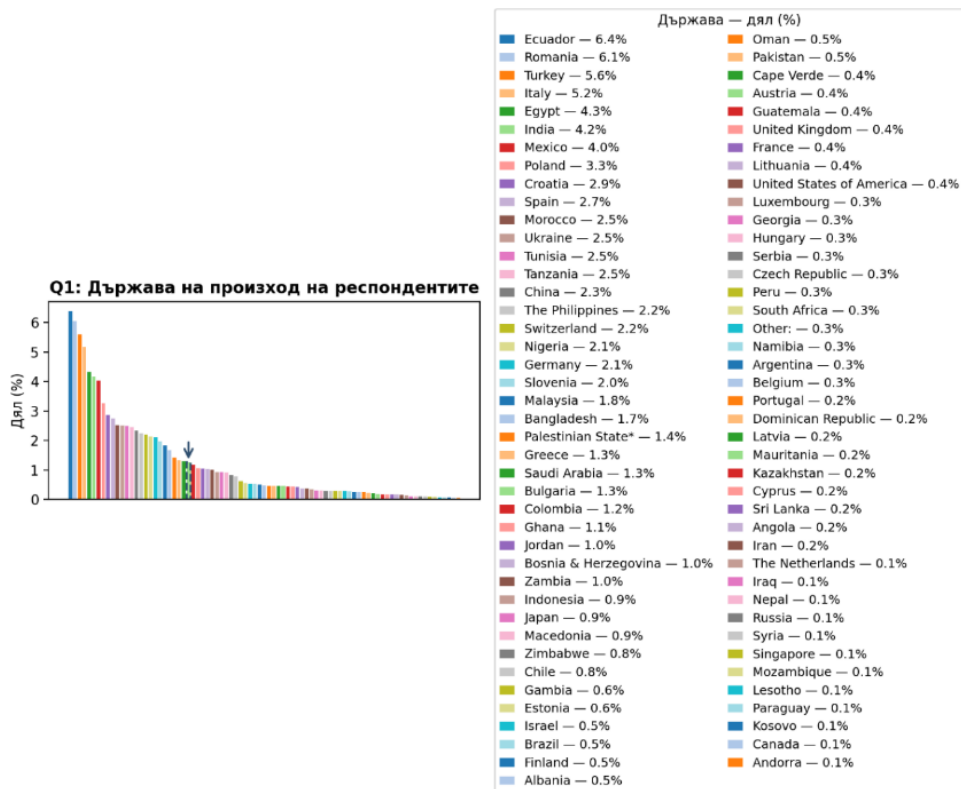


Figure 10. Distribution by citizenship.

**Section 2** aims to show the actual use of ChatGPT and other AI tools. It investigates the frequency, intensity, and context of use, enabling a distinction between irregular and systematic use.

Question Q13, Figure 11, identifies the chatbots used and clearly shows the dominant position of ChatGPT compared to alternative platforms. This underscores the study's focus on ChatGPT as the leading tool.

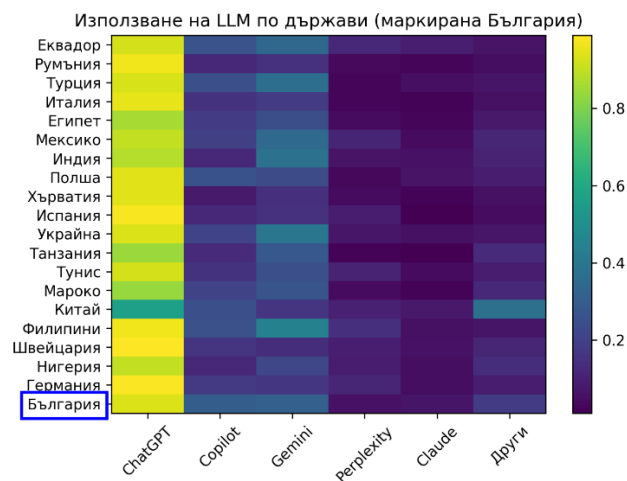


Figure 11. Weight of usage of individual AI platforms among all respondents.

The distribution in Figure 11 clearly indicates that Bulgarian students are keeping pace with new technologies and use AI platforms to the same extent as technologically advanced countries. Notably, in Asian countries, particularly China, AI usage trends differ from other countries. This is most likely the result of state-level policies for the intensive development of own AI platforms and independence from technologically advanced countries.

The questions in subsequent sections are formulated as statements rated on a Likert scale. Unlike yes/no questions, Likert scale questions allow more precise information to be gathered, covering different degrees of agreement or disagreement, using a symmetric scale. The Likert scale assumes equal distances between possible response levels, i.e. balanced. Detailed graphs are presented for the three most positively ranked questions.

**Section 3** examines how students perceive the capabilities of ChatGPT, with the focus on the functional and pedagogical characteristics of the tool.

Question Q19 covers the ability of ChatGPT to understand and generate human language, to provide and process information, and to support various forms of learning (traditional, online, and hybrid). In this way the question measures both the technical and pedagogical dimensions of perceived capabilities.

### Q19

#### To what extent do you agree with the following statements related to the capabilities of ChatGPT?

(Strongly disagree / Disagree / Neutral / Agree / Strongly agree)

ChatGPT can...

- **Q19a** understand instructions given in human language.
- **Q19b** respond in human language.
- **Q19c** carry on a pleasant conversation.
- **Q19d** provide information effectively.
- **Q19e** provide reliable information.
- **Q19f** summarize extensive information.
- **Q19g** simplify complex information.
- **Q19h** support traditional learning (in the classroom).
- **Q19i** support online learning (through digital technologies).
- **Q19j** support blended (hybrid) learning (combination of traditional and online learning).

The analysis of Q19 results (Figures 12 and 13) clearly shows positive perceptions of ChatGPT's language capabilities. The highest ratings are observed for summarizing large volumes of information, providing consistent responses, and simplifying complex information. This explains the widespread use of the tool for academic writing, summarization, and exam preparation shown in Section 2. More moderate ratings for reliability of information (Q19e) and ChatGPT's role in traditional classroom learning (Q19h) indicate a critical and balanced attitude of students who clearly recognize the limitations of the AI tool and the need for human oversight.

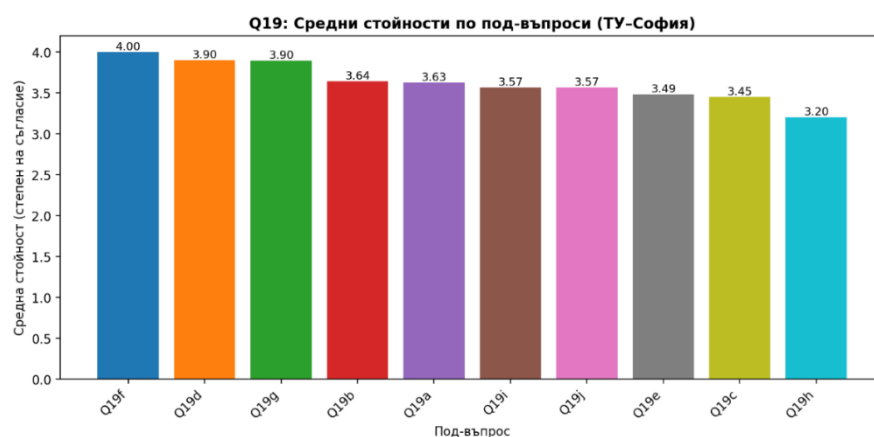
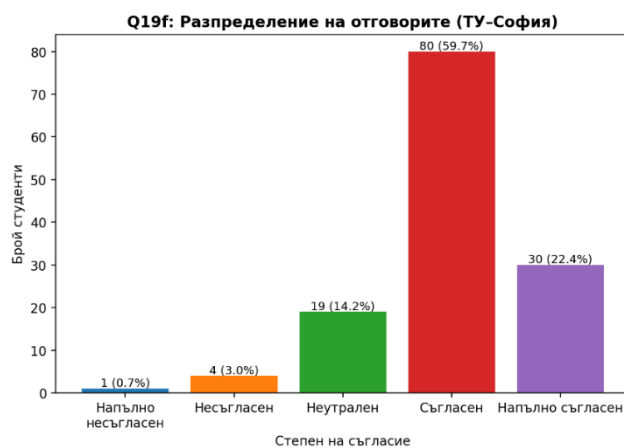


Figure 12. Distribution of AI usage frequency for Q19 tasks among TU-Sofia students.



*Figure 13. Distribution of AI usage frequency for summarizing extensive information among TU-Sofia students.*

**Section 4** analyzes student satisfaction and attitudes toward ChatGPT. These questions investigate the perception of usefulness, comfort, and control of AI, which is key for assessing the acceptance and use of AI in the educational process.

Various aspects of satisfaction are measured, including usefulness, clarity of information, ease of interaction, and sense of control. These questions investigate not only the functional evaluation but also the emotional relationship with ChatGPT.

The analysis shows a high degree of satisfaction and predominantly positive attitudes. Particularly important is the clearly expressed positive sense of interaction and control over tool use, a key factor for sustainable and responsible application of the technology. Comparisons with teachers and peers do not show a desire to replace human interaction, but rather emphasize the different roles of ChatGPT and teachers in the educational process.

**Section 5** focuses on the impact of ChatGPT on the learning process and academic outcomes. The questions in this section link tool use to specific educational effects, such as access to knowledge, learning efficiency, and quality of knowledge.

The effects of ChatGPT on access to knowledge, learning efficiency, quality of assignments, motivation, and personal and academic development are measured. These questions establish a link between ChatGPT use and real educational outcomes.

The results show that students perceive ChatGPT as a tool for optimizing their knowledge and the learning process. The strongest effects are observed in improving current knowledge, learning efficiency, and grades. The more moderate assessment regarding motivation improvement indicates that these personal aspects depend on a broader pedagogical and personal context and cannot be explained solely through AI technology use.

**Section 6** examines the role of ChatGPT in the development of various skill groups, including communication, digital, analytical, and others.

The perception of ChatGPT's influence on communication, digital, analytical, and AI-related skills is measured. These questions allow assessing not only the immediate educational effect but also the long-term potential for AI use.

The analysis shows that ChatGPT most strongly supports the development of written, programming, and analytical skills, as well as AI literacy. More limited impact is observed on interpersonal and strictly technical skills, underscoring the need to combine AI tools with traditional pedagogical methods and practical training.

**Section 7** links the educational effects of ChatGPT to the labor market. The questions in this section investigate the influence of ChatGPT on employment, transformation of labor, and skills mismatch.

It is measured how students perceive the influence of ChatGPT on employment, productivity, transformation of labor, and the ability of the AI tool to address skills gaps.

The results show that students perceive ChatGPT as a transformative rather than a disruptive factor for the labor market. AI is seen as a supporting tool for adapting to new requirements and improving skills, but not as an autonomous solution to employment problems.

## **SCIENTIFIC, SCIENTIFIC-APPLIED, AND APPLIED CONTRIBUTIONS**

**The following scientific contributions have been obtained in the dissertation:**

1. A methodology has been developed for automatic selection, characterization, and population of e-content for different types of elements and circuits in the Expert Module of Online-CADCOM.

2. A methodology has been developed using ChatGPT to support students in laboratory exercises in design automation in communications in 2 phases – training and applied.

**The following scientific-applied contributions have been obtained in the dissertation:**

3. Criteria with different weight coefficients have been defined for the automatic selection of online tools for passive element (resistors, capacitors, inductors), transformers, switching power supplies, and LED arrays using multi-criteria methods.

4. A comprehensive analysis and systematization of AI application in CAD/EDA systems in telecommunications and in e-learning has been performed. It is accounted the trend of increased investment by leading companies in research in this field, while noting the weak awareness of student attitudes and the lack of good solutions for the real use of AI.

5. Applying the new methodologies, e-content for 69 online tools for the selection and design of elements and circuits – resistors, capacitors and inductors, transformers, switching power supplies, and LED arrays – has been developed and populated in Online-CADCOM.

6. The developed methods and tools for e-learning in CAD using AI (ChatGPT) for student support in laboratory exercises have been validated and evaluated for acceleration and effectiveness of the learning process, limitations, and feedback.

7. An empirical study of the attitudes, perceptions, and impact of ChatGPT on student learning at TU-Sofia has been conducted within the global “Students’ Perception of ChatGPT” study, applying statistical processing and Likert scales. Programs for processing and visualizing the results have been developed, presented, and analyzed. Based on their analysis, conclusions were drawn that form the basis for the new methodologies for applying AI in CAD education.

**The following applied contributions have been obtained in the dissertation:**

8. Tasks for automatic selection of online tools from the expanded Knowledge Base of the Online-CADCOM platform have been solved. The results have been validated by domain experts, and a laboratory exercise assignment has been developed and approved in the educational process. Visualizations of the e-content and the operation of the Expert Module are presented.

## LIST OF PUBLICATIONS RELATED TO THE DISSERTATION

| Article No. | Published Articles  |
|-------------|---|
| Article 1   | K. Kostova, L. Menxhiqi, B. Zylfiu, G. Marinova, “ <i>Review of Artificial Intelligence Implementation in Electronic Design Automation Methods and Tools</i> ”, 12th Annual International Conference on Computer Science and Communication Engineering, University for Business and Technology – UBT, Pristina, Kosovo, pp. 45–52, ISBN: 978-9951-982-00-9, Conference Article, indexed at:<br><a href="https://knowledgecenter.ubt-uni.net/conference/IC/CS/20/">https://knowledgecenter.ubt-uni.net/conference/IC/CS/20/</a>      |
| Article 2   | K. Kostova, G. Marinova, “ <i>Knowledge-Base for Passive Elements Tools Selection in the Online CADCOM Platform</i> ”, 2024 XXXIII International Scientific Conference “Electronics ET2024”, 17–19 September 2024, DOI: 10.1109/ET63133.2024.10721545, ISBN: 979-8-3503-7644-9, Conference Article, indexed in: IEEE Xplore<br><a href="https://ieeexplore.ieee.org/document/10721545">https://ieeexplore.ieee.org/document/10721545</a> , SCOPUS   |
| Article 3   | K. Kostova, G. Marinova, “ <i>Automatic Transformer Design Tool Selection in the Online-CADCOM Platform</i> ”, 13th UBT International Conference, Pristina, Kosovo, 25–27 October 2024, ISBN: 978-9951-982-19-1, DOI: 10.33107/ubt-ic.2024.402, Conference Article, indexed at:<br><a href="https://knowledgecenter.ubt-uni.net/conference/2024UBTIC/CS/18/">https://knowledgecenter.ubt-uni.net/conference/2024UBTIC/CS/18/</a>  |
| Article 4   | Ravšelj D., ..., G. Marinova, K. Kostova, etal. “ <i>Higher education students’ perceptions of ChatGPT: A global study of early reactions</i> ”, PLOS ONE, 05.02.2025, ISSN (Electronic): 1932-6203, DOI: 10.1371/journal.pone.0315011, Journal Article, indexed in: Scopus, Web of Science<br><a href="https://doi.org/10.1371/journal.pone.0315011">https://doi.org/10.1371/journal.pone.0315011</a>  |
| Article 5   | K. Kostova, G. Marinova, “ <i>E-content Development for Passive Elements and Transformers in Online-CADCOM platform</i> ”, IEEE ICEST 2025 – 60th International Scientific Conference on Information, Communication and Energy Systems and Technologies, Ohrid, North Macedonia, 26–28 June 2025, ISBN: 979-8-3315-2655-9, DOI: 10.1109/ICEST66328.2025.11098369, Conference Article, indexed in: IEEE Xplore<br><a href="https://ieeexplore.ieee.org/document/11098369">https://ieeexplore.ieee.org/document/11098369</a> , SCOPUS |
| Article 6   | K. Kostova, “ <i>How ChatGPT Supports Students and Professionals in EDA systems</i> ”, Electronics ET2025, Sozopol, Bulgaria, 16–18 September 2025, ISSN: 1847-358X, DOI:10.23919/SoftCOM66362.2025.11197403,<br><a href="https://ieeexplore.ieee.org/document/11197403">https://ieeexplore.ieee.org/document/11197403</a>  |
| Article 7   | K. Kostova, G. Marinova, “ <i>Automatic Power Supply Design Tool Selection in the Online-CADCOM Platform</i> ”, SoftCOM 2025, Split, Croatia, 18–20 September 2025, ISSN: 1847-358X, DOI: 10.1109/ET66806.2025.11204142,<br><a href="http://www.researchgate.net/publication/397112597">www.researchgate.net/publication/397112597</a> , SCOPUS   |

## SUMMARY

**Title:** Development of Methods and Tools for E-Learning in Electronic Design Automation Using Artificial Intelligence

**Author:** Katerina Metodieva Kostova, M.Sc. Eng.

This dissertation addresses the development of methods and tools for e-learning in the field of Electronic Design Automation (EDA) through the integration of artificial intelligence (AI). The increasing complexity of modern electronic systems and the growing demand for efficient design processes require advanced approaches not only in engineering practice but also in engineering education.

The research focuses on the application of AI techniques, including machine learning methods and generative language models such as ChatGPT, to support both automated design and the learning process. A comprehensive analysis of existing EDA tools and e-learning environments is conducted, identifying key challenges such as high system complexity, steep learning curves, fragmented documentation, and lack of intelligent user support.

A structured approach for automated tool selection is proposed, based on multi-criteria decision-making methods. A knowledge-based framework is developed and implemented within the Online-CADCOM platform, where design tools are described using standardized characteristic passports. This enables objective comparison, classification, and automated selection of appropriate tools according to user-defined requirements.

The dissertation further introduces innovative methodologies for integrating ChatGPT into engineering education and design processes. A two-phase model is proposed, where the language model is used both for the preparation of learning content and for real-time assistance during task execution. Experimental validation demonstrates that the use of ChatGPT significantly reduces task completion time and improves the overall efficiency of the learning and design process.

Additional methodologies are developed for automated analysis of design tools and generation of structured knowledge, including the automated creation of characteristic passports using ChatGPT. These approaches contribute to faster knowledge acquisition and improved organization of technical information.

An empirical study is conducted to evaluate students' perceptions of ChatGPT in an academic environment. The results indicate a high level of acceptance and perceived usefulness, particularly in understanding complex concepts, supporting problem-solving, and improving productivity. At the same time, the study highlights the need for critical evaluation of AI-generated content and awareness of potential limitations.

In conclusion, the developed e-learning content for the selection of a total of 69 EDA tools has been successfully implemented within the Online-CADCOM platform. All characteristic passports are presented in Annex 2. Through the introduction of structured characteristic passports, the following tool categories have been integrated: 41 tools for passive elements (21 for resistors, 11 for capacitors, and 9 for inductors), 10 tools for transformer design, 8 tools for power supply design, and 10 tools for LED matrix design.

The results of the dissertation demonstrate that the integration of artificial intelligence into EDA and e-learning environments leads to improved efficiency, enhanced user support, and more adaptive and interactive learning processes. The proposed methods and tools contribute to the development of intelligent educational systems and support the advancement of modern engineering practices.