

Aplikace pro návrh a řešení elektrických obvodů

Bc. Richard Fiš



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta aplikované informatiky

Ústav informatiky a umělé inteligence

Akademický rok: 2024/2025

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Bc. Richard Fil'o
Osobní číslo:	A22491
Studijní program:	N0613A140022 Informační technologie
Specializace:	Softwarové inženýrství
Forma studia:	Kombinovaná
Téma práce:	Aplikace pro návrh a řešení elektrických obvodů
Téma práce anglicky:	Application for the Design and Solving of Electrical Circuits

Zásady pro vypracování

- Popište hlavní součásti a pravidla pro fungování elektrických obvodů.
- Seznamte se s existujícími programy pro návrhy elektrických obvodů.
- Navrhněte vlastní aplikaci pro návrh elektrických obvodů s běžnými elektronickými součástkami.
- Aplikace bude umožňovat měnit parametry jeho součástek a měřit napětí a proud v libovolné části obvodu.
- Ověřte funkčnost aplikace na vybraných typových úlohách.
- Vytvořenou aplikaci v praktické části práce řádně zdokumentujte.

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**
Jazyk zpracování: **Slovenština**

Seznam doporučené literatury:

1. BENEŠOVÁ, Zdeňka; LEDVINOVÁ, Marcela. *Základy elektrických obvodů v příkladech*. Online. Západočeská univerzita v Plzni, 2014. ISBN 978-80-261-0432-2. Dostupné z: <https://www.pslib.cz/jiri.kubin/VOS/Z%C3%A1klady-Elektrick%C3%BDch-obvod%C5%AF-v-P%C5%99%C3%ADkladech.pdf>. [citováno 2023-11-03]
2. NATIONAL INSTRUMENTS. *NI Multisim™ User Manual*. Online. National Instruments Corporation, 2009. 374483D-01. Dostupné z: https://www.physics.wisc.edu/courses/home/spring2021/623/MultiSim_docs/NI-Multisim_manual.pdf [citováno 2023-11-03]
3. SELF, Douglas. *Small signal audio design*. Oxford: Focal Press, 2010. ISBN 978-0240521770.
4. MIKULEC, Milan a HAVLÍČEK, Václav. *Základy teorie elektrických obvodů*. Vyd. 2. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002. ISBN 80-01-02519-5.
5. MYSLÍK, Jiří. *Elektromagnetické pole: základy teorie*. Praha: BEN – technická literatura, 1998. ISBN 80-86056-43-0.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Martin Pospíšilík, Ph.D.**
Ústav elektroniky a měření

Datum zadání diplomové práce: **27. října 2024**
Termín odevzdání diplomové práce: **2. června 2025**



L.S.

doc. Ing. Jiří Vojtěšek, Ph.D. v.r.
děkan

prof. Mgr. Roman Jašek, Ph.D., DBA v.r.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 17. listopadu 2024

PROHLÁŠENÍ AUTORA DIPLOMOVÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že

- odevzdáním diplomové práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění bez ohledu na výsledek obhajoby;
- diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a bude dostupná k nahlédnutí;
- jedno vyhotovení diplomové práce v listinné podobě bude ponecháno Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně k uložení;
- na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou práci – nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá; neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji, že

- jsem na diplomové práci pracoval(a) samostatně a použitou literaturu jsem řádně citoval(a); v případě publikace výsledků budu uveden(a) jako spoluautor;
- odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně, dne

.....
podpis autora

ABSTRAKT

Táto diplomová práca sa zaoberá návrhom a implementáciou aplikácie na tvorbu a simuláciu elektrických obvodov. Cieľom je vytvoriť softvér, ktorý umožní užívateľom navrhovať obvody z elektronických súčiastok, nastavovať ich parametre a analyzovať ich správanie simuláciou. V teoretickej časti sú popísané princípy fungovania obvodov a analyzované existujúce riešenia ako NI Multisim a CircuitLab. Na základe analýzy je navrhnutá aplikácia v Pythone, využívajúca PySide6 a PySpice. Aplikácia umožňuje intuitívne vytváranie obvodov, editáciu parametrov a vizualizáciu simulovaných veličín. Funkčnosť je overená na vybraných príkladoch.

Kľúčová slova: elektrické obvody, simulácia, Python, PySpice, Qt, PySide6, návrh obvodov, softvérová aplikácia

ABSTRACT

This thesis deals with the design and implementation of an application for the creation and simulation of electrical circuits. The goal is to create software that allows users to design circuits from electronic components, set their parameters and analyze their behavior by simulation. The theoretical part describes the principles of circuit operation and analyzes existing solutions such as NI Multisim and CircuitLab. Based on the analysis, a Python application using PySide6 and PySpice is proposed. The application allows intuitive circuit creation, parameter editing and visualization of simulated quantities. The functionality is verified on selected examples.

Keywords: electrical circuits, simulation, Python, PySpice, Qt, PySide6, circuit design, software application

Chcel by som sa poďakovať svojmu vedúcemu práce, doc. Ing. Martinovi Pospíšilíkovi, Ph.D., za jeho odborné vedenie, cenné rady a podporu počas vypracovávania tejto diplomovej práce.

OBSAH

ÚVOD	11
I TEORETICKÁ ČÁST	12
1 ÚVOD DO ELEKTRICKÝCH OBVODOV	13
1.1 DEFINÍCIA A VÝZNAM ELEKTRICKÝCH OBVODOV	13
1.2 HISTORICKÝ VÝVOJ TEÓRIE OBVODOV	14
1.3 KLASIFIKÁCIA ELEKTRICKÝCH OBVODOV	14
2 ZÁKLADNÉ FYZIKÁLNE VELIČINY A ZÁKONY	16
2.1 ZÁKLADNÉ FYZIKÁLNE VELIČINY	16
2.2 ZÁKONY A PRINCÍPY	18
3 HLAVNÉ SÚČASTI ELEKTRICKÝCH OBVODOV	21
3.1 PASÍVNE PRVKY	21
3.2 AKTÍVNE PRVKY	23
3.3 POLOVODIČOVÉ PRVKY	24
4 TYPY ZAPOJENÍ A ICH VLASTNOSTI	26
4.1 SÉRIOVÉ ZAPOJENIE	26
4.2 PARALELNÉ ZAPOJENIE	26
4.3 KOMBINOVANÉ ZAPOJENIE	27
5 ANALÝZA ELEKTRICKÝCH OBVODOV	28
5.1 METÓDY VŠEOBECNEJ ANALÝZY OBVODOV	28
5.2 ZÁKLADNÉ TYPY ANALÝZ ELEKTRICKÝCH OBVODOV	35
6 EXISTUJÚCE SOFTVÉROVÉ RIEŠENIA	37
6.1 NI MULTISIM	37
6.2 LTSPICE	38
6.3 CIRCUITLAB	39
6.4 POROVNANIE DOSTUPNÝCH NÁSTROJOV	40
II PRAKTICKÁ ČÁST	41

7	DEFINÍCIA POŽIADAVIEK A ŠPECIFIKÁCIA APLIKÁCIE	42
7.1	POŽIADAVKY NA APLIKÁCIU	42
7.2	PODPOROVANÉ SÚČIASTKY	42
7.3	ŠPECIFIKÁCIA ROZHRANIA A VÝSTUPOV	43
8	VÝBER TECHNOLOGIÍ A NÁSTROJOV	44
8.1	ZVOLENÝ PROGRAMOVACÍ JAZYK	44
8.2	POUŽITÉ KNIŽNICE	44
8.3	ODÔVODNENIE VÝBERU	44
8.4	ALTERNATÍVNE MOŽNOSTI	45
9	NÁVRH A IMPLEMENTÁCIA APLIKÁCIE	46
9.1	ŠTRUKTÚRA APLIKÁCIE	46
9.2	GRAFICKÉ ROZHRANIE	48
9.3	DOKUMENTÁCIA	51
10	TESTOVANIE FUNKČNOSTI	52
10.1	SÉRIOVO-PARALELNÝ OBVOD S ODPORMI	52
10.2	OBVOD S DIÓDOU	54
10.3	JEDNODUCHÝ USMERŇOVAČ	55
10.4	JEDNODUCHÝ ZOSILŇOVAČ	57
10.5	DOLNÁ A HORNÁ PRIEPUST	58
11	ZHODNOTENIE A NÁVRHY NA ROZŠÍRENIE	60
11.1	ZHODNOTENIE VÝSLEDKOV	60
11.2	HODNOTENIE POUŽITEL'NOSTI	60
11.3	NÁVRHY NA VYLEPŠENIE	60
	ZÁVĚR	62
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	65
	SEZNAM OBRÁZKŮ	68
	SEZNAM TABULEK	70
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	71

ÚVOD

Táto diplomová práca sa zameriava na návrh, vývoj a testovanie simulačného nástroja OhmStudio, ktorý je určený na analýzu a simuláciu elektrických obvodov. Elektrické obvody predstavujú základ modernej elektrotechniky a ich pochopenie je kľúčové pre návrh zariadení v rôznych odvetviach, od spotrebnej elektroniky po priemyselné systémy. Simulácia obvodov sa stala neoceniteľným nástrojom, pretože umožňuje testovať teoretické koncepty a overovať návrhy bez potreby fyzických prototypov, čím šetrí čas aj zdroje. Napriek tomu, že existujúce simulačné programy, ako napríklad NI Multisim, LTspice či CircuitLab, ponúkajú pokročilé funkcie, ich využitie je často obmedzené vysokou cenou, zložitým ovládaním alebo nedostatočnou prispôbitel'nosťou. Tieto faktory vytvárajú priestor pre vývoj nového nástroja, ktorý by bol dostupný, intuitívny a zároveň dostatočne výkonný pre vzdelávacie aj praktické účely. Práve v tomto kontexte vznikla motivácia pre vytvorenie aplikácie OhmStudio, ktorá má za cieľ preklenúť medzery medzi dostupnosťou a funkcionalitou.

Hlavným cieľom práce je navrhnúť a implementovať aplikáciu OhmStudio, ktorá poskytne používateľom jednoduché grafické rozhranie na tvorbu elektrických schém a podporu rôznych typov analýz, vrátane jednosmernej, striedavej, tranzientnej a analýzy pracovného bodu. Proces vývoja zahŕňa analýzu požiadaviek, výber vhodných technológií, návrh štruktúry aplikácie, jej implementáciu a následné testovanie na vybraných obvodoch. Práca kombinuje teoretické základy analýzy obvodov s praktickým prístupom, čím sa snaží vytvoriť nástroj, ktorý bude prínosný nielen pre študentov a pedagógov, ale aj pre amatérskych konštruktérov. Dôležitou súčasťou je aj zhodnotenie dosiahnutých výsledkov a návrhy na budúce rozšírenia, ktoré by mohli ďalej rozšíriť možnosti aplikácie.

Práca je rozdelená do dvoch hlavných častí. Teoretická časť poskytuje prehľad o elektrických obvodoch, ich klasifikácii, fyzikálnych veličinách, zákonoch, súčiastkach a metódach analýzy, čím vytvára základ pre pochopenie problematiky. Okrem toho analyzuje existujúce softvérové riešenia a ich výhody aj limity. Praktická časť sa sústreďuje na definíciu požiadaviek, výber technológií, návrh a implementáciu aplikácie, testovanie jej funkčnosti a záverečné zhodnotenie. Význam práce spočíva v príspevku k rozvoju dostupných vzdelávacích nástrojov, ktoré môžu podporiť výučbu elektrotechniky a zároveň slúžiť ako platforma pre budúci výskum a rozšírenie v oblasti simulácie obvodov.

I TEORETICKÁ ČÁST

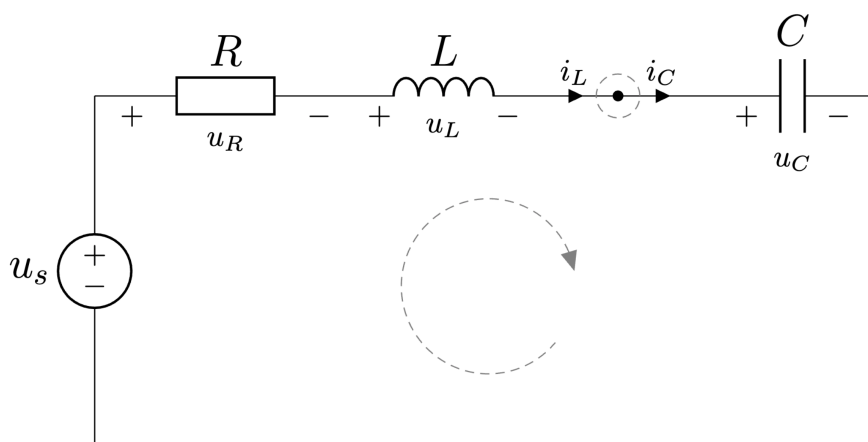
1 ÚVOD DO ELEKTRICKÝCH OBVODOV

Elektrické obvody tvoria základ elektrotechniky a sú kľúčové pre fungovanie moderných technológií. Táto kapitola poskytuje úvodný prehľad o ich definícii, historickom vývoji a klasifikácii elektrických obvodov. Cieľom kapitoly je vytvoriť teoretický rámec pre pochopenie elektrických obvodov a ich analýzy. Znalosti o ich fungovaní a historickom kontexte sú kľúčové pre ďalšie skúmanie princípov návrhu a fungovania obvodov.

1.1 Definícia a význam elektrických obvodov

Elektrický obvod je uzavretý systém, ktorý sa skladá z rôznych elektrických súčiastok, ako sú zdroje napätia, odpory, kondenzátory a ďalšie komponenty, ktoré sú prepojené vodičmi. Tento obvod umožňuje prechod elektrického prúdu, čo je tok elektrických nábojov v uzavretom kruhu. Obvody môžu slúžiť na rôzne účely, ako je prenos elektrickej energie, spracovanie signálov alebo riadenie zariadení[1]. Tento pohyb prúdu môže byť riadený prostredníctvom rôznych prvkov, ako sú spínače, senzory a ďalšie, ktoré regulujú tok energie v obvode.

Význam elektrických obvodov spočíva v ich nevyhnutnosti pre fungovanie moderných technológií. Používajú sa vo všetkých oblastiach elektrotechniky, od jednoduchých domácich spotrebičov až po zložité elektronické systémy v priemysle, komunikáciách a výpočtovej technike. Bez riadnych znalostí o elektrických obvodoch nie je možné efektívne navrhovať a testovať zariadenia, ktoré sú súčasťou každodenného života.



Obrázek 1.1 Příklad elektrického obvodu.

(zdroj: [2])

1.2 Historický vývoj teórie obvodov

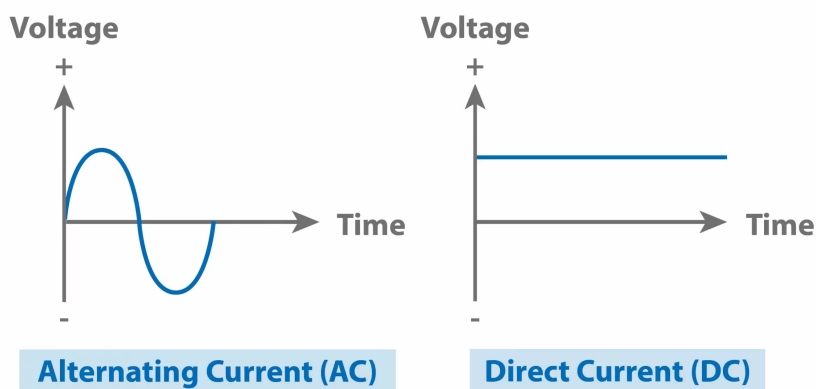
Vývoj teórie elektrických obvodov sa začal formovať v 18. a 19. storočí. Prvé pokusy s elektrinou uskutočnil Benjamin Franklin, ktorý v roku 1752 demonštroval povahu blesku, čím položil základy pre štúdium elektrických javov. Kľúčový moment nastal v roku 1827, keď Georg Simon Ohm formuloval Ohmov zákon, definujúci vzťah medzi napätím, prúdom a odporom. Neskôr, v roku 1845, Gustav Kirchhoff rozpracoval zákony zachovania prúdu a napätia, známe ako Kirchhoffove zákony, ktoré umožnili systematickú analýzu zložitých obvodov[3]. Tieto objavy vytvorili teoretický rámec pre elektrotechniku.

1.3 Klasifikácia elektrických obvodov

Elektrické obvody sa klasifikujú podľa viacerých kritérií, ktoré určujú ich vlastnosti a použitie. Pre účely tejto práce sa zameriame na jednosmerné lineárne obvody s bežnými súčiastkami.

Klasifikácia podľa charakteru prúdu

Jednosmerné obvody (DC) sú charakteristické konštantným prúdom a napätím, kde elektrický náboj tečie jedným smerom. Príkladom je zapojenie batérie s odporom, kde prúd nezmení polaritu. Naopak, striedavé obvody (AC) pracujú s periodicky sa meniacimi veličinami, pričom prúd a napätie oscilujú v čase, často v sínusovom priebehu[4]. Takéto obvody sú typické pre prenos elektrickej energie v domácnostiach.

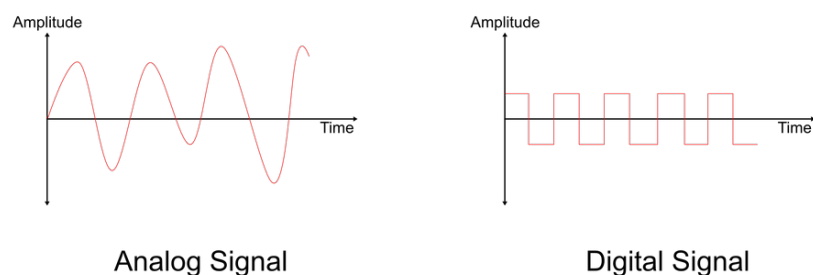


Obrázek 1.2 Porovnanie priebehu prúdu v DC a AC obvodoch.

(zdroj: [5])

Klasifikácia podľa typu signálu

Analógové obvody spracúvajú spojité signály, ktorých hodnota sa mení plynule, napríklad v zosilňovačoch zvuku. Digitálne obvody operujú s diskretnými hodnotami, zvyčajne reprezentovanými binárnymi stavmi (0 a 1), a nachádzajú uplatnenie v počítačoch a logických systémoch[6].



Obrázek 1.3 Analógový vs. digitálny signál.

(zdroj: [7])

Klasifikácia podľa štruktúry

Lineárne obvody obsahujú súčiastky, ktorých parametre (napr. odpor) sa nemenia v závislosti od prúdu či napätia, a ich správanie je opísateľné lineárnymi rovnicami. Nelineárne obvody, naopak, zahŕňajú prvky ako diódy či tranzistory, kde vzťah medzi prúdom a napätím nie je priamoúmerný[1].

2 ZÁKLADNÉ FYZIKÁLNE VELIČINY A ZÁKONY

Fungovanie elektrických obvodov je založené na fyzikálnych veličinách a zákonoch, ktoré popisujú správanie prúdu, napätia a súčiastok. Táto kapitola uvádza základné pojmy a princípy nevyhnutné pre analýzu a návrh obvodov. Pochopenie týchto konceptov tvorí teoretický základ pre ďalšie časti práce.

2.1 Základné fyzikálne veličiny

Základom analýzy elektrických obvodov sú fyzikálne veličiny, ktoré charakterizujú ich vlastnosti a správanie.

Napätie

Napätie (U) je rozdiel elektrického potenciálu medzi dvoma bodmi v obvode, meraný vo voltoch (V)[1]. Predstavuje hnaciu silu, ktorá poháňa elektrický prúd cez súčiastky. Vzniká pôsobením zdroja, ako je batéria alebo generátor. V jednosmerných (DC) obvodoch je napätie konštantné, zatiaľ čo v striedavých (AC) obvodoch sa mení v čase.

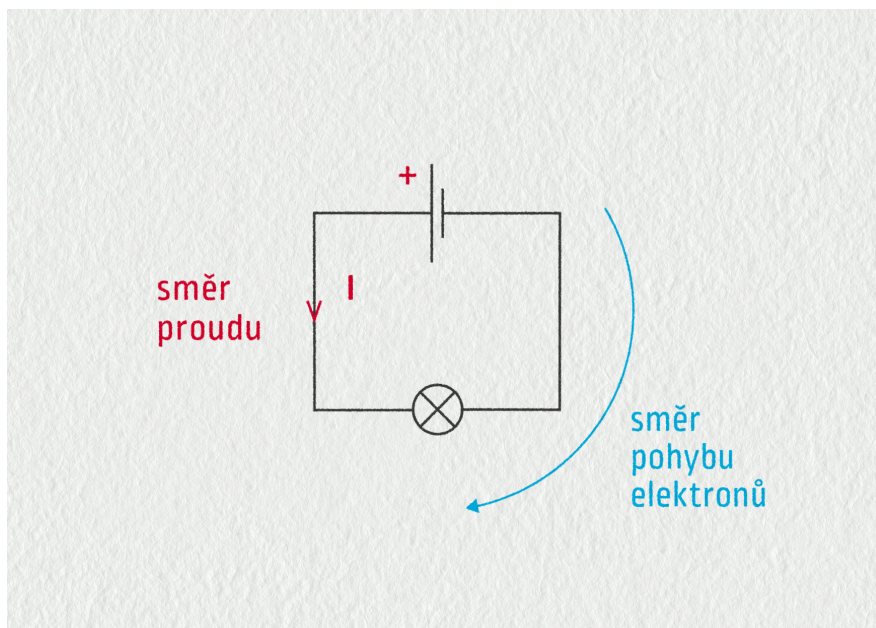
Pri AC obvodoch sa zavádzajú pojmy stredná hodnota napätia, ktorá je priemer napätia za jednu periódu (pre sínusový priebeh zvyčajne 0 V), a efektívna hodnota napätia (RMS – Root Mean Square), ktorá udáva ekvivalentnú hodnotu DC napätia produkujúceho rovnaký výkon. Pre sínusový priebeh platí $U_{\text{eff}} = \frac{U_{\text{max}}}{\sqrt{2}}$, kde U_{max} je maximálna hodnota napätia.

Prúd

Elektrický prúd (I) je tok elektrického náboja cez vodič, meraný v ampéroch (A)[1]. Vyjadruje intenzitu pohybu nabitých častíc, pričom jeho smer je definovaný ako pohyb kladného náboja. V DC obvodoch má konštantnú hodnotu, v AC obvodoch osciluje.

Výkon

Výkon (P) je rýchlosť, akou sa energia prenáša v obvode, meraná vo wattoch (W)[1]. Vypočíta sa vzťahom $P = U \times I$, kde napätie a prúd určujú energiu dodanú alebo spotrebovanú súčiastkou za jednotku času.



Obrázek 2.1 Základné veličiny v obvode.

(zdroj: [8])

Odpor

Odpor (R) je vlastnosť materiálu brániaca toku prúdu, meraná v ohmoch (Ω)[1]. Závisí od typu materiálu, jeho dĺžky a prierezu. V lineárnych obvodoch je odpor konštantný a určuje, ako veľmi súčiastka obmedzuje prúd.

Kapacita

Kapacita (C) je schopnosť súčiastky (kondenzátora) uchovávať elektrický náboj, meraná vo faradoch (F)[1]. Určuje, koľko náboja dokáže kondenzátor akumulovať pri danom napätí podľa vzťahu $Q = C \times U$, kde Q je náboj v coulomboch. Kapacita závisí od geometrie kondenzátora a dielektrika medzi jeho doskami.

Indukčnosť

Indukčnosť (L) je vlastnosť súčiastky (cievky), ktorá odporuje zmene prúdu vytváraním spätného napätia, meraná v henroch (H)[9]. Súvisí s magnetickým poľom vznikajúcim pri prechode prúdu cievkou a je opísaná vzťahom $U = L \times \frac{dI}{dt}$, kde $\frac{dI}{dt}$ je rýchlosť zmeny prúdu. Indukčnosť ovplyvňuje dynamické správanie obvodov.

2.2 Zákony a princípy

Fyzikálne zákony umožňujú kvantitatívnu analýzu elektrických obvodov a sú základom ich výpočtov.

Ohmov zákon

Ohmov zákon je jedným z najzákladnejších a najdôležitejších zákonov v elektrotechnike. Tento zákon vyjadruje lineárny vzťah medzi napätím, prúdom a odporom v elektrickom obvode. Ohmov zákon znie:

$$U = R \times I \quad (2.1)$$

kde:

- U je napätie v obvode (vo voltoch, V),
- R je odpor (v ohmoch, Ω),
- I je elektrický prúd (v ampéroch, A).

Tento zákon sa vzťahuje na pasívne lineárne obvody, ktoré sa skladajú zo súčiastok, ako sú odpory. Ohmov zákon hovorí, že prúd v obvode je priamo úmerný napätiu a nepriamo úmerný odporu. Ak sa napätie zvýši, prúd tiež vzrastie, ak sa nezmení odpor[4].

Pre nelineárne súčiastky, ako sú diódy alebo tranzistory, Ohmov zákon nie je priamo aplikovateľný.

Kirchhoffove zákony

Kirchhoffove zákony sú dôležité princípy v teórii elektrických obvodov, ktoré umožňujú analýzu zložitých obvodov s viacerými uzlami a slučkami. Tieto zákony sú založené na zákonoch zachovania elektrického náboja a energie.

Kirchhoffove zákony sú základom pre metódu slučkových prúdov a metódu uzlových napätí, ktoré sú bežne používané na analýzu elektrických obvodov pomocou systémov rovníc.

Existujú dva hlavné Kirchhoffove zákony.

Prvý Kirchhoffov zákon (uzlový)

Tento zákon hovorí, že súčet všetkých prúdov, ktoré vtekajú do uzla (spojenie vodičov), je rovný súčtu všetkých prúdov, ktoré z uzla vytekajú. Inými slovami, celkový prúd prúdiaci do

uzla je rovný celkovému prúdu, ktorý z uzla odchádza.

Matematicky sa tento zákon vyjadruje ako:

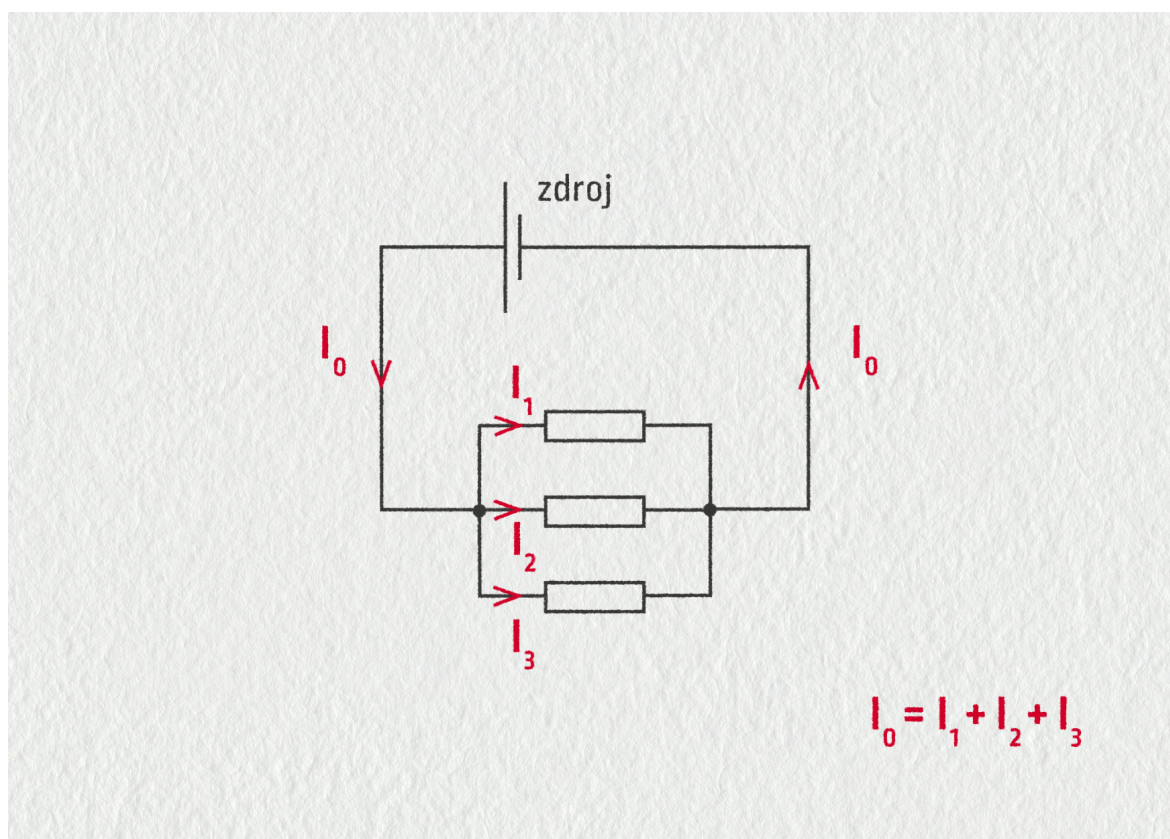
$$\sum I_{\text{in}} = \sum I_{\text{out}} \quad (2.2)$$

alebo ekvivalentne:

$$\sum_k I_k = 0 \quad (2.3)$$

kde I_k predstavuje jednotlivé prúdy prichádzajúce do alebo vychádzajúce z uzla. Tento zákon vychádza zo zákona zachovania náboja, ktorý hovorí, že náboj sa nemôže "stratiť", ale môže sa len presúvať z jedného miesta na iné. Tento zákon je platný pre všetky elektrické obvody bez ohľadu na ich zložitosť [4].

Používa sa na výpočet neznámych prúdov v obvodoch, ktoré obsahujú viacero uzlov. Pri analýze zložitých obvodov s viacerými vetvami, kde sa stretáva viacero prúdov, môžeme aplikovať tento zákon pre každý uzol.



Obrázek 2.2 Príklad aplikácie 1. Kirchhoffového zákona.

(zdroj: [10])

Druhý Kirchhoffov zákon (očkový)

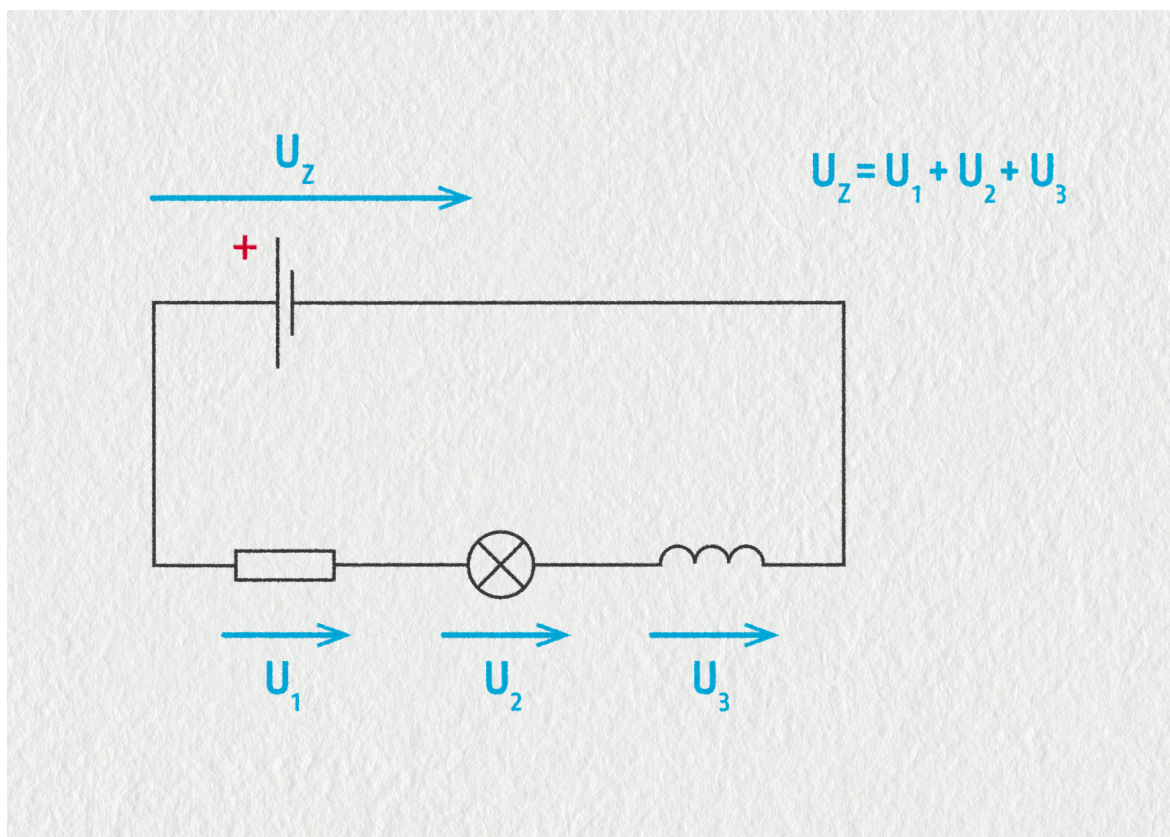
Tento zákon hovorí, že súčet všetkých napätí v uzavretej slučke (obvode) je nulový. Inými slovami, energia, ktorá sa dodá do slučky (napríklad z batérie), je vyvážená energiou spotrebovanou alebo uvoľnenou súčiastkami v obvode (ako sú odpory, kondenzátory, induktory a pod.).

Matematicky sa tento zákon vyjadruje ako:

$$\sum U = 0 \quad (2.4)$$

Tento zákon vyplýva zo zákona zachovania energie, ktorý hovorí, že energia v uzavretom systéme nemôže vzniknúť ani zaniknúť, iba sa transformuje medzi rôznymi formami. V obvodoch sa energia dodávaná zdrojmi napätia rovná energii absorbovanej pasívnymi prvkami, ako sú odpory[4].

Je nevyhnutný pri analýze obvodov so zdrojmi napätia (ako sú batérie alebo generátory), kde je potrebné vypočítať napätia v rôznych častiach obvodu. Pomocou tohto zákona môžeme nájsť neznáme napätia alebo prúdy v slučkách.



Obrázek 2.3 Príklad aplikácie 2. Kirchhoffového zákona.

(zdroj: [11])

3 HLAVNÉ SÚČASTI ELEKTRICKÝCH OBVODOV

Elektrické obvody sú tvorené súčiastkami, ktoré určujú ich funkčnosť a správanie. Táto kapitola popisuje hlavné typy súčastí, ich vlastnosti a úlohu v obvodoch. Pochopenie týchto prvkov je nevyhnutné pre analýzu a návrh obvodov, ako aj pre pochopenie ich praktického využitia.

3.1 Pasívne prvky

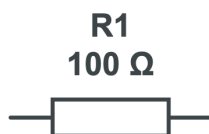
Pasívne súčiastky predstavujú skupinu prvkov, ktoré nevyžadujú externý zdroj energie na svoje fungovanie a zohrávajú kľúčovú úlohu pri riadení toku prúdu a napätia v elektrických obvodoch. Tieto komponenty absorbujú alebo rozptyľujú energiu, čím ovplyvňujú dynamiku obvodu bez toho, aby ju samy generovali. Ich význam spočíva v jednoduchosti použitia a širokej škále aplikácií, od regulácie prúdu až po filtrovanie signálov. Historicky boli pasívne prvky, ako odpory a kondenzátory, medzi prvými súčiastkami použitými v elektrotechnike, čím položili základy pre vývoj zložitejších systémov.

Odpory

Odpory sú súčiastky charakterizované odporom R , meraným v ohmoch Ω , ktorý závisí od materiálu (napr. uhlík, kovový film), dĺžky a prierezu vodiča[12]. Vyrábajú sa v rôznych formách – pevné odpory majú fixnú hodnotu, zatiaľ čo potenciometre umožňujú nastavenie odporu. Ich správanie je lineárne a popisuje ho Ohmov zákon:

$$U = R \cdot I. \quad (3.1)$$

Funkčne obmedzujú tok elektrického prúdu a premieňajú elektrickú energiu na teplo. Používajú sa na reguláciu prúdu, rozdelenie napätia alebo ochranu citlivých komponentov pred preťažením. Sú základom mnohých obvodov vďaka ich jednoduchosti a spoľahlivosti[6].



Obrázek 3.1 Symbol odporu v schémach.

(zdroj: vlastný)

Kondenzátory

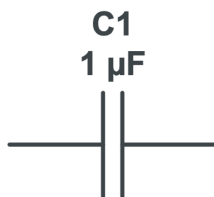
Kondenzátory sú súčiastky s kapacitou C , meranou vo faradoch (F), určujúcou ich schopnosť uchovávať náboj[12]. Skladajú sa z dvoch vodivých dosiek oddelených dielektrikom (napr. keramika, plast), pričom kapacita závisí od plochy dosiek, vzdialenosti medzi nimi a vlastností dielektrika:

$$Q = C \cdot U. \quad (3.2)$$

Ich správanie je dynamické, ovplyvnené časovou konštantou:

$$\tau = R \cdot C. \quad (3.3)$$

Funkčne slúžia na filtrovanie signálov (napr. vylúčenie šumu), ukladanie energie (napr. v bleskoch fotoaparátov) alebo blokovanie jednosmerného prúdu pri prepúšťaní striedavých signálov (napr. v reproduktoroch). V obvodoch vytvárajú časové oneskorenie, čo ich robí neoceniteľnými v časovačoch a oscilátoroch[6].



Obrázek 3.2 Symbol kondenzátora v schémach.

(zdroj: vlastní)

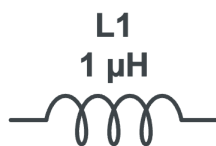
Cievky

Cievky sú súčiastky s indukčnosťou (L), meranou v henroch (H), ktorá súvisí s vytváraním magnetického poľa[12]. Skladajú sa z vinutia vodiča (často okolo jadra, napr. feritu), pričom indukčnosť závisí od počtu závitov a materiálu jadra. Indukčnosť a napätie súvisia s prúdom pomocou rovnice:

$$U = L \times \frac{dI}{dt}. \quad (3.4)$$

Energia sa ukladá v magnetickom poli.

Funkčne odporujú rýchlym zmenám prúdu, čím chránia obvody pred náhlymi skokmi. Používajú sa na filtrovanie vysokofrekvenčných signálov (napr. v napájacích zdrojoch) alebo v oscilátoroch (napr. v rádiách). Ich spätné napätie ich robí vhodnými na stabilizáciu prúdových zmien[9].



Obrázek 3.3 Symbol cievky v schémach.

(zdroj: vlastní)

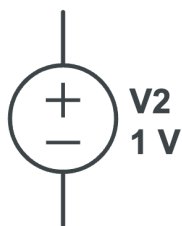
3.2 Aktívne prvky

Aktívne súčiastky sú základom napájania elektrických obvodov, pretože dodávajú energiu potrebnú na ich fungovanie. Na rozdiel od pasívnych prvkov, ktoré energiu iba spotrebúvajú alebo transformujú, aktívne prvky generujú elektrický prúd alebo napätie, čím umožňujú prevádzku celého systému. Ich vývoj, od jednoduchých batérií až po moderné generátory, zásadne ovplyvnil elektrotechniku a umožnil vytvorenie prenosných zariadení aj veľkých energetických sietí. V praxi sú aktívne prvky nenahraditeľné, pretože bez nich by obvody nemohli vykonávať svoje úlohy.

Zdroje napätia

Zdroje napätia produkujú napätie (U), merané vo voltoch (V), a udržujú konštantný rozdiel potenciálov[12]. Patria sem batérie (chemické zdroje, napr. lítiové, alkalické) pre DC napätie a generátory (napr. alternátory) pre AC napätie. Kapacita batérií (v Ah) určuje dobu prevádzky, zatiaľ čo generátory sú navrhnuté na trvalý výkon.

Funkčne napájajú obvody – od jednoduchých svietidiel (batérie) po komplexné systémy (generátory v elektrárnach). Ich stabilita je kritická pre spoľahlivosť, a v prenosných zariadeniach sú nenahraditeľné pre mobilitu. Používajú sa všade, kde je potrebné dodať energiu[6].



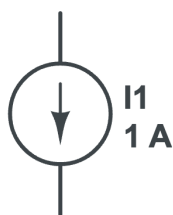
Obrázek 3.4 Symbol zdroja napätia v schémach.

(zdroj: vlastní)

Zdroje prúdu

Zdroje prúdu udrôujú konštantný prúd (I), meraný v ampéroch (A), nezávisle od odporu[12]. Sú menej beôné a ôasto realizované kombináciou zdroja napätia a regulaôných obvodov (napr. tranzistorami). Ich konštrukcia je zaloôená na spätnej väzbe.

Funkône sa používajú v meracích obvodoch (napr. testovanie polovodiôov) alebo stabilizovaných zdrojoch v laboratóriách. Zaisôujú presné prúdové podmienky tam, kde je napätie variabilné, a sú kľúčové pre ôpecifické technické aplikácie[6].



Obrázek 3.5 Symbol zdroja prúdu v schémach.

(zdroj: vlastní)

3.3 Polovodiôové prvky

Polovodiôové súôastky tvoria základ modernej elektroniky vôaka ich schopnosti riadiť prúd a napätie s vysokou presnosťou a efektivitou. Vyuôívajú polovodiôové materiály, predovôetkým kremík, ktorých elektrické vlastnosti sa dajú meniť dopovaním a vonkajšími podmienkami. Ich vývoj v 20. storočí umožnil revolúciu v technológiách, od tranzistorových rádií až po počítaôe a smartfóny. V obvodoch plnia funkcie od usmerňovania prúdu po zosilňovanie signálov, čím rozôirujú možnosti návrhu a aplikácií.

Diódy

Diódy sú polovodiôové prvky s PN prechodom, kde dopovanie vytvára jednosmernú bariéru[12]. Umoôňujú tok prúdu jedným smerom po prekročení prahovej hodnoty (cca 0,7 V pre Si) a majú nelineárnu charakteristiku – prúd rastie exponenciálne s napätím. Typy zahŕňajú PN diódy, LED ôi Zenerove diódy.

Funkône slúôia na usmerňovanie AC prúdu na DC (napr. v napájacích zdrojoch), ochranu obvodov pred prepätím (Zenerove diódy) alebo indikáciu (LED). Sú kľúčové v energetických a signalizaôných systémoch vôaka ich jednosmernej vodivosti[6].



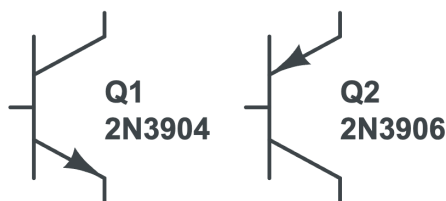
Obrázek 3.6 Symbol diódy v schémach.

(zdroj: vlastní)

Tranzistory

Tranzistory sú polovodičové súčiastky s tromi vrstvami – BJT (emitor, báza, kolektor) sú prúdovo riadené, FET (gate, source, drain) napäťovo riadené[12]. Ich konštrukcia umožňuje riadenie prúdu dopovaním a vonkajšími signálmi. Výkon závisí od materiálu (napr. Si, GaAs).

Funkčne slúžia ako zosilňovače (napr. v audio zosilňovačoch) alebo spínače (napr. v procesoroch). Umožňujú zväčšovať signály alebo prepínať stavy (0/1), čím sú základom logických obvodov a modernej elektroniky[6].



Obrázek 3.7 Symboly tranzistorov v schémach.

(zdroj: vlastní)

4 TYPY ZAPOJENÍ A ICH VLASTNOSTI

Zapojenie súčiastok určuje rozdelenie prúdu a napätia v obvode a jeho celkové správanie. Táto kapitola popisuje sériové, paralelné a kombinované zapojenia, ich charakteristiky a využitie. Pochopenie týchto princípov je dôležité pre návrh a analýzu obvodov.

4.1 Sériové zapojenie

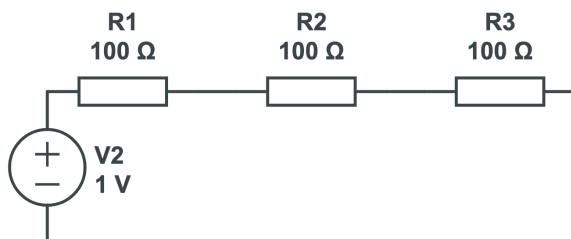
Sériové zapojenie má súčiastky za sebou v jednom prúdovom okruhu[4]. Je jednoduché a používa sa tam, kde je potrebný rovnomerný prúd.

Všetky súčiastky tvoria jednu cestu, prúd (I) je rovnaký, napätie (U) sa rozdeľuje podľa odporu. Celkový odpor je

$$R_{\text{celk}} = R_1 + R_2 + \dots + R_n. \quad (4.1)$$

Slúži na reguláciu napätia (napr. deliče) alebo v reťazcoch (napr. vianočné svetlá). Nevýhodou je, že pri prerušení zlyhá celý obvod. Napätie na odpore je

$$U_i = I \times R_i. \quad (4.2)$$



Obrázek 4.1 Sériové zapojenie s troma odpormi.

(zdroj: vlastní)

4.2 Paralelné zapojenie

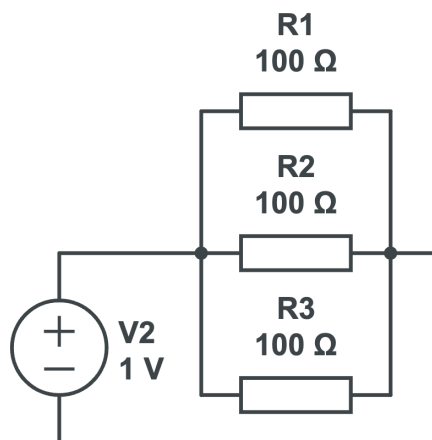
Paralelné zapojenie má súčiastky vedľa seba, vytvára viac ciest pre prúd[4]. Je spoľahlivé a bežné v napájacích systémoch.

Súčiastky sú spojené na spoločné uzly, napätie (U) je rovnaké, prúd (I) sa delí podľa odporu. Celkový odpor je

$$\frac{1}{R_{\text{celk}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}. \quad (4.3)$$

Umožňuje nezávislú prevádzku vetiev (napr. zásuvky), prúd je

$$I_{\text{celk}} = I_1 + I_2 + \dots + I_n. \quad (4.4)$$



Obrázek 4.2 Paralelné zapojenie s tromi odpormi.

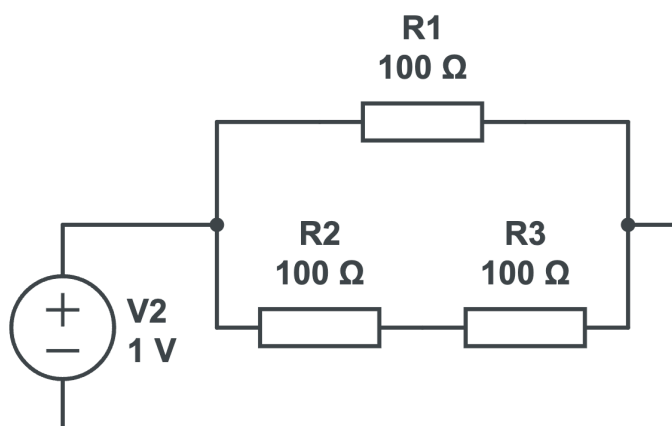
(zdroj: vlastní)

4.3 Kombinované zapojenie

Kombinované zapojenie spája sériové a paralelné usporiadanie pre komplexné obvody[4]. Je bežné v praxi na optimalizáciu vlastností.

Obsahuje sériové aj paralelné časti, prúd a napätie sa delia podľa štruktúry. Celkový odpor sa počíta zjednodušením (paralelné vetvy, potom sériové súčty).

Používa sa na kombináciu regulácie napätia a rozdelenia prúdu (napr. rozvodné siete, audio). Analýza je zložitejšia, často vyžaduje Kirchhoffove zákony.



Obrázek 4.3 Kombinované zapojenie s tromi odpormi.

(zdroj: vlastní)

5 ANALÝZA ELEKTRICKÝCH OBVODOV

Analýza elektrických obvodov umožňuje stanoviť hodnoty prúdov a napätí v jednotlivých častiach obvodu. Táto kapitola popisuje metódy analýzy, typy simulácií a význam simulačných nástrojov.

5.1 Metódy všeobecnej analýzy obvodov

Táto kapitola predstavuje základné metódy na úplnú alebo čiastočnú analýzu elektrických obvodov, ktoré majú všeobecné využitie. Pre lepšie pochopenie sú najprv demonštrované na jednosmerných obvodoch. Ku každej metóde je uvedený postup analýzy spolu s ukázkovým príkladom a jeho riešením. Medzi hlavné patria tieto metódy.

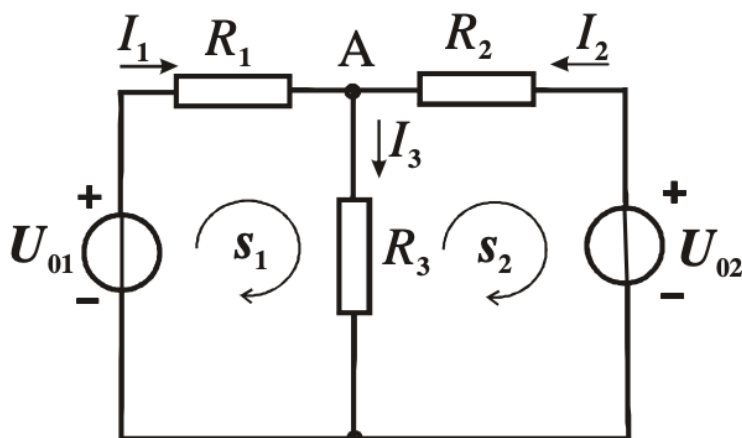
Priama aplikácia Kirchhoffových zákonov

Metóda priamej aplikácie Kirchhoffových zákonov umožňuje analýzu obvodov zostavením rovníc na základe prvého a druhého Kirchhoffovho zákona[4]. Tieto rovnice popisujú prúdy v uzloch a napätia v slučkách, čím sa určujú vetvové veličiny.

1. V obvode sa definujú a orientujú vetvové prúdy.
2. Pre každý nezávislý uzol sa zostavia rovnice podľa prvého Kirchhoffovho zákona.
3. Pre nezávislé slučky sa formulujú rovnice na základe druhého Kirchhoffovho zákona.
4. Riešením sústavy rovníc sa vypočítajú hodnoty vetvových prúdov.

Na nasledujúcom príklade si ukážeme riešenie obvodu metódou priamej aplikácie Kirchhoffových zákonov. Toto je zadanie pre daný obvod:

- Zdroj U_{01} a odpory R_1, R_3 v slučke s_1 ; zdroj U_{02} a odpory R_2, R_3 v slučke s_2 (viď obrázok 5.1).
- $R_1 = 10 \, \Omega, \quad R_2 = 20 \, \Omega, \quad R_3 = 30 \, \Omega$
- $U_{01} = 60 \, \text{V}, \quad U_{02} = 40 \, \text{V}$
- Obvod obsahuje vetvy s prúdmi I_1, I_2, I_3



Obrázek 5.1 Schéma obvodu s tromi vetvami a dvoma slučkami.

(zdroj: [4])

Postup riešenia ukážkového príkladu je nasledujúci:

1. Definujú sa tri vetvové prúdy (I_1 , I_2 , I_3) s určenou orientáciou.
2. Pre nezávislý uzol a sa zapíše rovnica podľa prvého Kirchhoffovho zákona:

$$-I_1 - I_2 + I_3 = 0 \quad (5.1)$$

3. Pre nezávislé slučky s_1 a s_2 sa zostavia rovnice podľa druhého Kirchhoffovho zákona:

$$R_1 I_1 + R_3 I_3 = U_{01} \quad (5.2)$$

$$R_2 I_2 + R_3 I_3 = U_{02} \quad (5.3)$$

4. Riešením sústavy rovníc sa získajú vetvové prúdy:

$$I_1 = 1,65 \text{ A}, \quad I_2 = -0,2 \text{ A}, \quad I_3 = 1,45 \text{ A} \quad (5.4)$$

Metóda je univerzálna a vhodná pre jednoduché obvody, ako sú sériové alebo paralelné zapojenia. Pri zložitejších obvodoch je však výpočtovo náročná kvôli vysokému počtu rovníc.

Metóda slučkových prúdov

Metóda slučkových prúdov analyzuje obvody pomocou fiktívnych prúdov v nezávislých slučkách. Na základe druhého Kirchhoffovho zákona sa zostavujú rovnice, ktoré umožňujú výpočet týchto prúdov a následne vetvových veličín[4].

1. V obvode sa určia nezávislé slučky a v každej sa definuje fiktívny slučkový prúd s orientáciou zhodnou so smerom slučky.
2. Pre každú nezávislú slučku sa vytvorí rovnica na základe druhého Kirchhoffovho zákona.
3. Riešením sústavy rovníc sa vypočítajú slučkové prúdy.
4. Vetvové veličiny, ako prúdy a napätia, sa získajú zo slučkových prúdov.

Na nasledujúcom príklade si ukážeme formuláciu rovníc metódou slučkových prúdov pre daný obvod. Toto je zadanie pre daný obvod:

- Tri nezávislé slučky s označenými prúdmi I'_1, I'_2, I'_3 (viď obrázok 5.2).
- Obvod obsahuje odpory $R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6$, zdroje U_{03}, U_{05} a vetvy s prúdmi $I_1, I_2, I_3, I_4, I_5, I_6$.

Riešenie príkladu prebieha podľa nasledujúceho postupu:

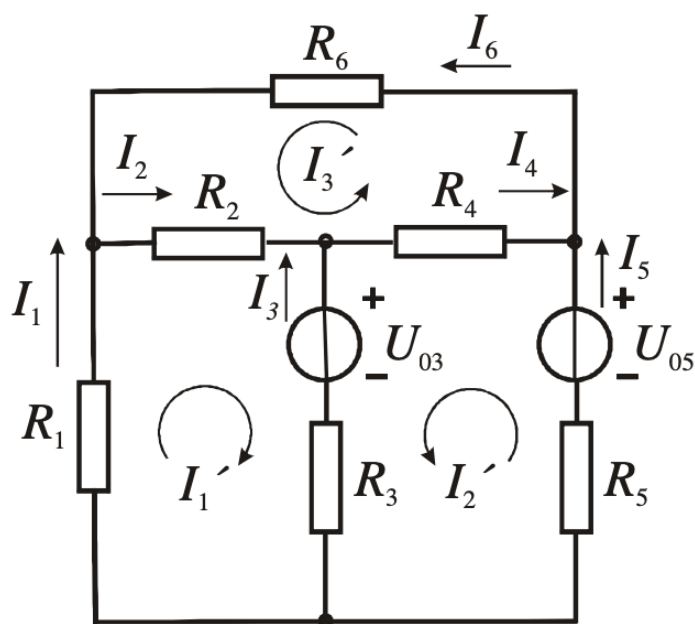
1. V obvode sú identifikované tri nezávislé slučky, pre ktoré sa určia slučkové prúdy I'_1, I'_2 a I'_3 .
2. Pomocou druhého Kirchhoffovho zákona sa zostavia tri rovnice pre slučkové prúdy:

$$R_1 I'_1 + R_2 (I'_1 + I'_3) + R_3 (I'_1 + I'_2) + U_{03} = 0 \quad (5.5)$$

$$U_{03} + R_2 (I'_3 - I'_1) + R_5 I'_2 + R_4 (I'_2 - I'_3) - U_{05} = 0 \quad (5.6)$$

$$R_2 (I'_3 + I'_1) + R_4 (I'_3 - I'_2) + R_6 I'_3 = 0 \quad (5.7)$$

3. Riešením sústavy rovníc (5.7) sa vypočítajú slučkové prúdy.



Obrázek 5.2 Schéma obvodu s tromi nezávislými slučkami a slučkovými proudmi.

(zdroj: [4])

4. Po určení orientácie vetvových prúdov sa tieto vyjadria zo slučkových prúdov:

$$I_1 = I_1' \quad (5.8)$$

$$I_2 = I_1' + I_3' \quad (5.9)$$

$$I_3 = -(I_1' + I_2') \quad (5.10)$$

$$I_4 = I_3' - I_2' \quad (5.11)$$

$$I_5 = I_2' \quad (5.12)$$

$$I_6 = I_3' \quad (5.13)$$

Orientáciu vetvových prúdov je možné definovať už na začiatku riešenia. Smer prúdov neovplyvňuje kroky 1 až 3, ale prejaví sa pri určení vzťahov medzi vetvovými a slučkovými prúdmi.

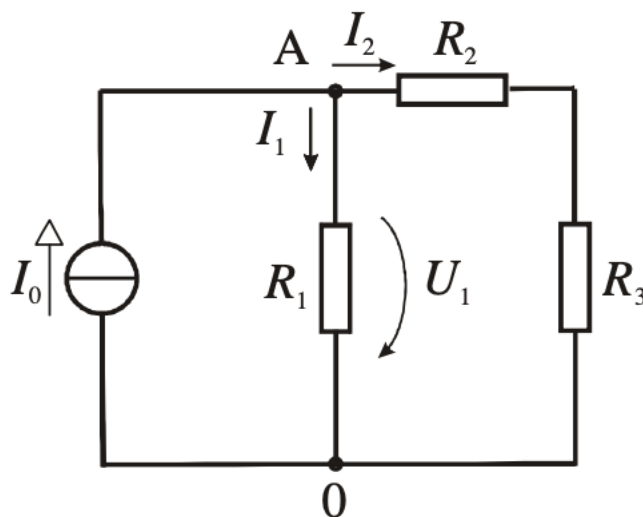
Metóda uzlových napätí

Metóda uzlových napätí slúži na určenie napätí v uzloch obvodu voči zvolenému referenčnému uzlu. Na základe prvého Kirchhoffovho zákona sa zostavujú rovnice popisujúce prúdy vychádzajúce z uzlov[4]. Postup analýzy obvodu metódou uzlových napätí je nasledujúci.

1. V obvodu sa vyberie referenčný uzol (spravidla s potenciálom 0 V) a označia sa napätia ostatných uzlov vzhľadom naň.
2. Pre každý uzol (okrem referenčného) sa zostavia rovnice na základe prvého Kirchhoffovho zákona, kde súčet prúdov vychádzajúcich z uzla sa rovná nule.
3. Riešením sústavy rovníc sa vypočítajú napätia v jednotlivých uzloch.
4. z vypočítaných napätí sa určia vetvové prúdy a ďalšie veličiny, ak je to potrebné.

Na nasledujúcom príklade si ukážeme formuláciu rovníc metódou uzlových napätí pre daný obvod. Toto je zadanie pre daný obvod:

- Obvod obsahuje jeden nezávislý uzol a (uzol 0 je referenčný), zdroj prúdu I_0 , jednu vetvu s odporom R_1 a druhú vetvu s odpormi R_2 a R_3 zapojenými sériovo (viď obrázok 5.3).



Obrázek 5.3 Schéma obvodu s jedným nezávislým uzlom a tromi vetvami.

(zdroj: [4])

Riešenie príkladu prebieha podľa nasledujúceho postupu:

- Uzol 0 je zvolený ako referenčný (s potenciálom 0 V) a napätie uzla a (U_A) sa určí vzhľadom naň.

- Pomocou prvého Kirchhoffovho zákona sa pre uzol a zostaví rovnica:

$$I_1 = \frac{U_A}{R_1}, \quad I_2 = \frac{U_A}{R_2 + R_3}, \quad (5.14)$$

takže

$$-I_0 + \frac{U_A}{R_1} + \frac{U_A}{R_2 + R_3} = 0. \quad (5.15)$$

- Vypočíta sa napätie uzla A:

$$U_A = \frac{I_0}{\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2 + R_3}\right)}. \quad (5.16)$$

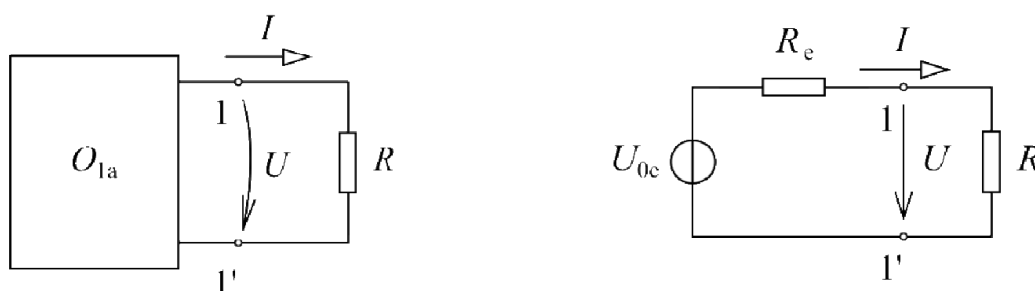
- z napätia U_A sa určia vetvové prúdy:

$$I_1 = \frac{U_A}{R_1}, \quad I_2 = \frac{U_A}{R_2 + R_3}. \quad (5.17)$$

Metóda uzlových napätí je vhodná na analýzu paralelných a zložitých obvodov, ako sú napríklad rozvodné siete. Efektívne sa uplatňuje v obvodoch s väčším počtom uzlov a menším počtom slučiek.

Metóda náhradného zdroja

Metóda náhradného zdroja nahrádza zdroje napätia a prúdu ekvivalentným obvodom podľa Théveninovej alebo Nortonovej vety. Obvod sa redukuje na jeden zdroj a ekvivalentný odpor.



Obrázek 5.4 Príklad určenia Théveninovho ekvivalentu.

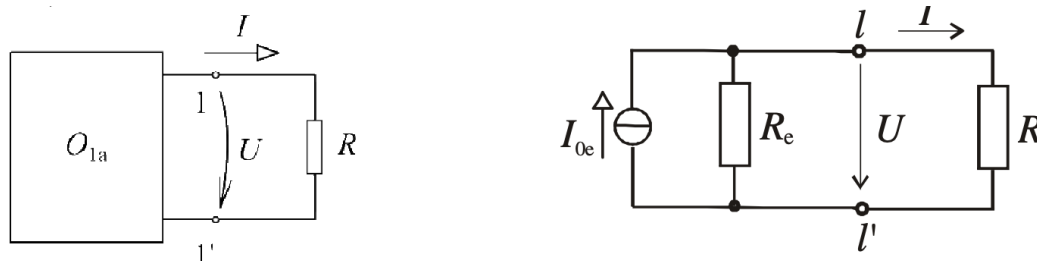
(zdroj: [4])

Toto je postup použitia Théveninovej vety:

- Obvod na svorkách 1 – 1' (kde je pripojený odpor R) sa nahradí zdrojom napätia U_{0e} a sériovo zapojeným odporom R_e .

- Napätie U_{0e} sa určí ako napätie na svorkách $1 - 1'$ pri odpojenom odpore R .
- Odpor R_e sa vypočíta ako ekvivalentný odpor obvodu pri nahradení zdrojov (napät'ové zdroje sa skratujú, prúdové zdroje sa rozpoja).
- Prúd I cez odpor R sa vypočíta podľa vzťahu:

$$I = \frac{U_{0e}}{R_e + R}. \quad (5.18)$$



Obrázek 5.5 Príklad určenia Nortonovho ekvivalentu.

(zdroj: [4])

Toto je postup použitia Nortonovej vety:

- Obvod na svorkách $1 - 1'$ sa nahradí zdrojom prúdu I_{0e} a paralelne zapojeným odporom R_e .
- Prúd I_{0e} sa určí ako prúd, ktorý by tiekol svorkami $1 - 1'$ pri ich skratovaní.
- Odpor R_e sa vypočíta rovnako ako pri Théveninovej vete.
- Prúd I cez odpor R sa vypočíta podľa vzťahu:

$$I = I_{0e} \times \frac{R_e}{R_e + R}. \quad (5.19)$$

Metóda náhradného zdroja nachádza široké uplatnenie v rôznych oblastiach elektrotechniky. Pri polovodičových súčiastkach, ako sú tranzistory alebo diódy, sa často využíva na zjednodušenie analýzy nelineárnych obvodov. Používajú sa takisto na analýzu väčších obvodov, napríklad pri skúmaní správania zát'aže. Uľahčuje výpočty v obvodoch s viacerými vetvami.

5.2 Základné typy analýz elektrických obvodov

Táto podkapitola sa venuje základným typom analýz elektrických obvodov, ktoré sa využívajú na štúdium ich správania. Analýzy sa delia na tri hlavné kategórie: jednosmernú (DC), striedavú (AC) a tranzientnú analýzu, pričom každá z nich ponúka možnosti rozšírenia a ďalšieho vylepšenia[13]. Nasledujúci text popisuje jednotlivé typy a ich využitie.

Analýza v jednosmernom režime (DC)

Jednosmerná analýza (DC) slúži na vyhodnotenie obvodov s konštantnými zdrojmi napätia alebo prúdu. Jej cieľom je určiť ustálené hodnoty prúdov a napätí, pričom sa nezohľadňujú časovo premenné javy[13]. Tento typ analýzy napodobňuje funkciu charakterografu a umožňuje analyzovať vlastnosti súčiastok alebo celých obvodov, napríklad voltampérovú charakteristiku diódy.

Medzi rozšírenia DC analýzy patria analýzy prenosovej funkcie a citlivosti, ktoré sa dajú spúšťať nezávisle od základnej analýzy. Prenosová funkcia určuje pomer zmeny výstupnej veličiny k „malej“ zmene vstupného zdroja, čo umožňuje vypočítat' napríklad diferenciálny odpor tranzistora v okolí pracovného bodu pri nízkych frekvenciách[13]. Citlivostná analýza hodnotí vplyv zmien parametrov obvodu, ako je odpor rezistora, na výstupné veličiny, napríklad zmenu napätia na kolektore tranzistora pri zvýšení kolektorového odporu o 1 %.

Analýza v striedavom režime (AC)

Striedavá analýza (AC), označovaná aj ako kmitočtová analýza, sa zameriava na štúdium obvodov so striedavými zdrojmi[13]. Napodobňuje obvodový analyzátor a umožňuje merať kmitočtové charakteristiky, napríklad amplitúdovú charakteristiku zosilňovača alebo rozloženie striedavých napätí a prúdov v harmonickom ustálenom stave pre danú frekvenciu buďiaceho signálu.

Štandardným rozšírením AC analýzy je šumová analýza (NOISE), ktorá skúma kmitočtové rozloženie výkonu šumu generovaného vnútornými súčiastkami a odvodzuje ďalšie šumové charakteristiky[13]. Tento nástroj sa dá použiť napríklad na analýzu spektrálnej hustoty výkonu šumu, čo je užitočné pri návrhu vysoko kvalitných zariadení.

Tranzientná analýza

Tranzientná analýza, známa aj ako prechodová alebo časová analýza, sleduje časový priebeh veličín v obvode po zmene stavu, ako je zapnutie zdroja alebo zmena zát'aže[13]. Funguje ako softvérová náhrada osciloskopu a umožňuje merať prechodové charakteristiky obvodov.

Bežnou súčasťou je spektrálna analýza časových priebehov (FOURIER), ktorá umožňuje analyzátoru plniť funkciu spektrálneho analyzátora[13].

Niektoré programy na analýzu elektrických obvodov ponúkajú aj pokročilé typy analýz, ako Dynamic DC a Dynamic AC, ktoré sú obľúbené medzi používateľmi[13]. Umožňujú sledovať hodnoty prúdov, napätí a ďalších veličín priamo vo schéme v reálnom čase, pričom sa tieto hodnoty dynamicky aktualizujú podľa zmien v zapojení, hodnotách súčiastok alebo ich úpravách. Tieto funkcie sú výhodné pri postupnom navrhovaní a ladení obvodov.

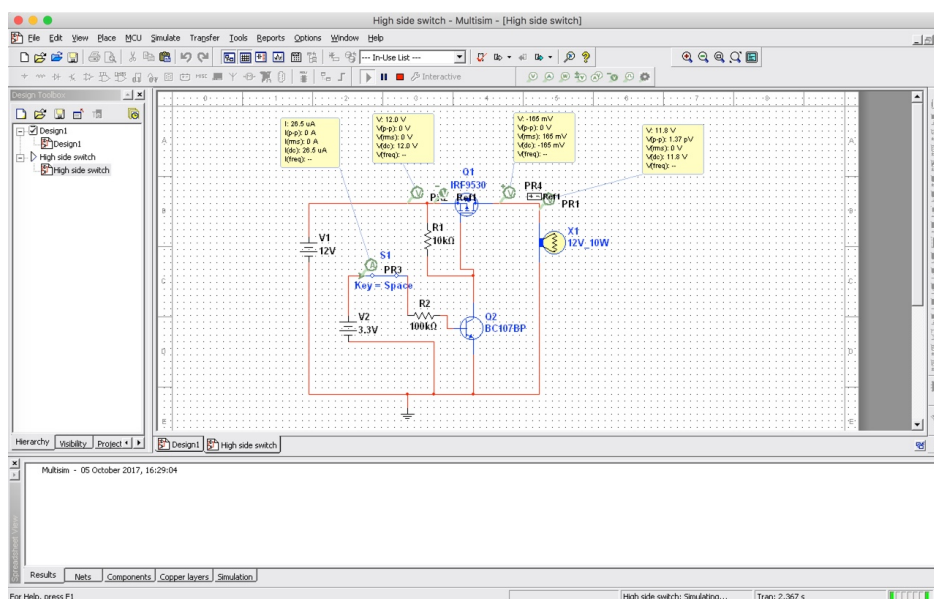
Ďalším prínosom je mód PROBE, ktorý predstavuje interaktívny spôsob analýzy[13]. V tomto móde je možné kliknutím na súčiastky v schéme simulovať priloženie meracej sondy a okamžite zobrazit' grafy, napríklad časový priebeh prúdu cez danú súčiastku.

6 EXISTUJÚCE SOFTVÉROVÉ RIEŠENIA

Táto kapitola sa zaoberá prehľadom existujúcich softvérových nástrojov na simuláciu elektrických obvodov, ktoré sú bežne využívané v elektrotechnickej praxi. Zameriava sa na tri vybrané programy NI Multisim, LTspice a CircuitLab. Pre každý nástroj budú uvedené jeho hlavné vlastnosti, výhody a nevýhody, pričom záverečná časť poskytne ich stručné porovnanie z hľadiska použiteľnosti a funkcionality.

6.1 NI Multisim

NI Multisim[14] je simulačný softvér vyvinutý spoločnosťou National Instruments, ktorý je súčasťou sady Electronics Workbench. Tento nástroj je navrhnutý na návrh, analýzu a simuláciu elektrických obvodov, pričom je široko využívaný v akademickom prostredí aj v profesionálnej praxi. Medzi jeho hlavné vlastnosti patrí intuitívne používateľské rozhranie, ktoré umožňuje jednoduché kreslenie schém a pridávanie súčiastok z rozsiahlej databázy. Multisim podporuje rôzne typy analýz, ako sú jednosmerné (DC), striedavé (AC) a tranzientné simulácie, a obsahuje virtuálne meracie prístroje, napríklad multimeter, osciloskop či funkčný generátor, ktoré napodobňujú reálne zariadenia. Databáza súčiastok je štruktúrovaná a umožňuje podrobnú klasifikáciu, správu rodín súčiastok a aktualizáciu komponentov, čo zjednodušuje prácu s nominálnymi hodnotami a toleranciami.



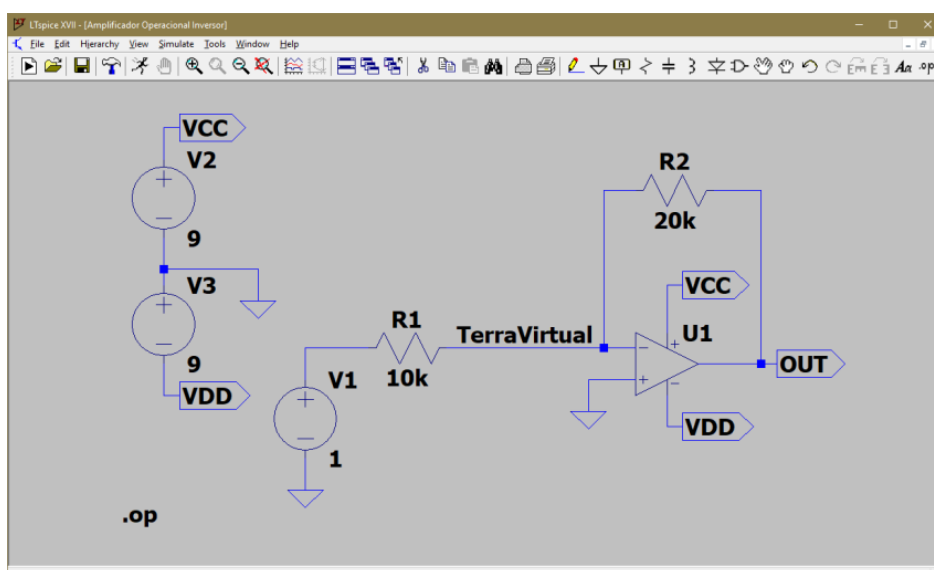
Obrázek 6.1 NI Multisim.

(zdroj: [15])

Medzi výhody NI Multisim patrí jeho jednoduché ovládanie, ktoré je vhodné pre začiatočníkov aj pokročilých používateľov, a vysoká úroveň integrácie s reálnymi meracími zariadeniami od National Instruments, čo je užitočné pri praktickom overovaní simulovaných obvodov. Program je obľúbený v pedagogickom prostredí, pretože poskytuje vizuálne atraktívne rozhranie a podporuje učenie prostredníctvom simulácie reálnych experimentov. Nevýhodou však môže byť vyššia cena licencií, najmä pre komerčné využitie, čo môže byť prekážkou pre jednotlivcov alebo menšie firmy. Okrem toho je Multisim menej flexibilný pri práci s pokročilými simulačnými modelmi v porovnaní s niektorými alternatívami, a jeho výkon pri väčších a zložitejších obvodoch môže byť obmedzený.

6.2 LTspice

LTspice[16] je simulačný softvér vyvinutý spoločnosťou Linear Technology (dnes súčasť Analog Devices), ktorý je zameraný na analýzu elektrických obvodov s dôrazom na polovodičové súčiastky a integrované obvody. Tento nástroj je dostupný zadarmo, čo ho robí obľúbeným medzi širokým spektrom používateľov. LTspice umožňuje vytváranie schém cez jednoduché editačné okno, kde používateľ pridáva súčiastky, ako sú rezistory, kondenzátory či diódy, a spája ich pomocou funkcie kreslenia spojov. Podporuje jednosmerné, striedavé aj tranzientné analýzy a je optimalizovaný na rýchle a presné simulácie, najmä pri práci s analógovými obvodmi.



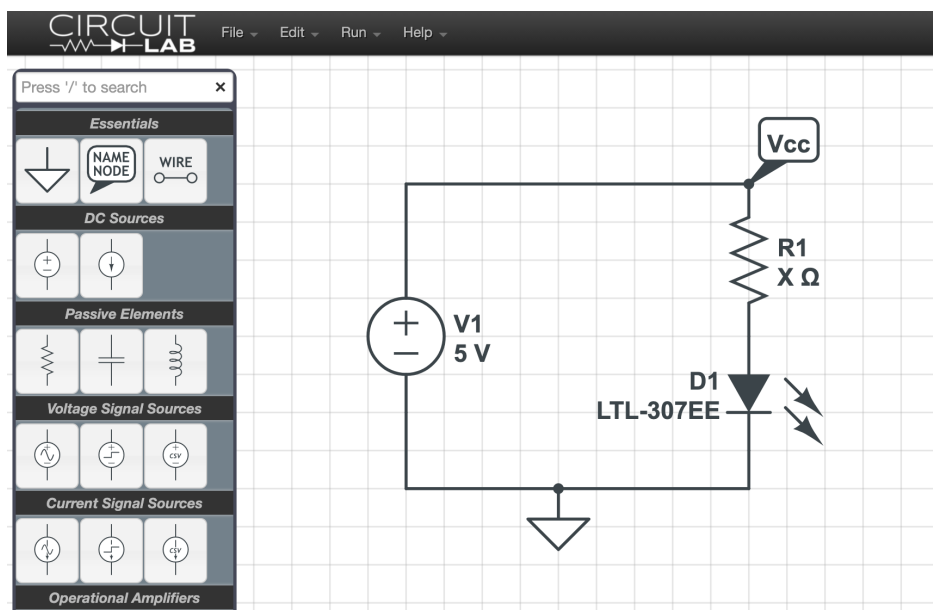
Obrázek 6.2 LTspice.

(zdroj: [17])

Hlavnou výhodou LTspice je jeho dostupnosť zdarma, čo z neho robí ideálnu voľbu pre študentov, amatérov aj profesionálov. Program je rýchly, spoľahlivý a obsahuje rozsiahlu knižnicu súčiastok od Analog Devices, čo uľahčuje návrh obvodov s ich produktmi. Ďalšou výhodou je podpora komunity, ktorá poskytuje množstvo návodov a modelov súčiastok. Na druhej strane, LTspice má svoje nevýhody – jeho používateľské rozhranie je menej intuitívne v porovnaní s modernými nástrojmi, ako je napríklad Multisim. Kreslenie spojov vyžaduje manuálne potvrdzovanie zmien smeru, čo môže byť časovo náročnejšie, a program neponúka automatické hľadanie ciest medzi bodmi, na rozdiel od iných softvérov. Tiež mu chýba podpora pokročilejších funkcií, ako sú dynamické simulácie v reálnom čase.

6.3 CircuitLab

CircuitLab[18] je online simulačný nástroj, ktorý umožňuje návrh a analýzu elektrických obvodov priamo v internetovom prehliadači. Tento softvér je navrhnutý na jednoduché používanie a podporuje základné typy analýz, ako sú DC, AC a tranzientné simulácie. Používatelia môžu kresliť schémy a pridávať súčiastky pomocou drag-and-drop rozhrania, pričom program ponúka prístup k rôznym virtuálnym nástrojom na simuláciu a meranie. CircuitLab je dostupný v platených verziách (napríklad CircuitLab Pro alebo Platinum), ale existujú aj zvýhodnené tarify pre školy a amatérov.



Obrázek 6.3 CircuitLab.

(zdroj: [19])

Výhodou CircuitLab je jeho dostupnosť z akéhokoľvek zariadenia s internetovým prehliadačom, čo eliminuje potrebu inštalácie. Program je jednoduchý na použitie a podporovaný video návodmi, ktoré uľahčujú začiatočníkom pochopenie jeho funkcií. Je vhodný na rýchle testovanie a prototypovanie obvodov, najmä pre nenáročných používateľov. Nevýhodou však je, že ide o platený nástroj, pričom cena za komerčné využitie môže byť vysoká (napríklad tisíce korún ročne). Okrem toho CircuitLab zaostáva za desktopovými alternatívami, ako je LTspice, v rýchlosti a presnosti simulácií, a jeho funkcionality je obmedzená pri komplexnejších obvodoch. Tiež mu chýba podpora pre pokročilé analýzy a integrácia s reálnymi zariadeniami.

6.4 Porovnanie dostupných nástrojov

Pri porovnaní NI Multisim, LTspice a CircuitLab je možné identifikovať ich silné a slabé stránky v závislosti od potrieb používateľa. NI Multisim vyniká intuitívnym rozhraním a širokou databázou súčiastok, čo ho robí ideálnym pre začiatočníkov a vzdelávacie účely, avšak jeho cena a obmedzenia pri väčších obvodoch môžu byť nevýhodou. LTspice je bezplatný a rýchly, s dôrazom na analógové simulácie, no jeho menej moderné rozhranie a manuálne ovládanie môžu byť prekážkou pre používateľov zvyknutých na automatizované funkcie. CircuitLab ponúka jednoduchosť a prístupnosť cez internet, ale za cenu nižšej výkonnosti a obmedzenej funkcionality pri zložitých simuláciách. Z hľadiska použiteľnosti je Multisim najvhodnejší pre pedagogické a začiatočnícke účely, LTspice pre profesionálov hľadajúcich rýchle a cenovo dostupné riešenie, a CircuitLab pre rýchle online testovanie, hoci s obmedzeniami v profesionálnom nasadení.

II PRAKTICKÁ ČÁST

7 DEFINÍCIA POŽIADAVIEK A ŠPECIFIKÁCIA APLIKÁCIE

Táto kapitola sa zaoberá definovaním požiadaviek a špecifikáciou aplikácie OhmStudio, ktorá je navrhnutá ako moderný nástroj na simuláciu elektrických obvodov. Sústred'uje sa na hlavné funkcie aplikácie, podporované súčiastky a popis grafického rozhrania spolu s výstupmi simulácie, pričom kladie dôraz na prehľadnosť a praktickú využiteľnosť.

7.1 Požiadavky na aplikáciu

Aplikácia OhmStudio je vytvorená s cieľom poskytnúť používateľom moderný simulačný nástroj na prácu s elektrickými obvodmi. Jej základné funkcie zahŕňajú možnosti na vytváranie a úpravu elektrických schém prostredníctvom grafického rozhrania, čo umožňuje používateľom jednoducho navrhovať obvody. Súčasťou je aj úprava parametrov jednotlivých komponentov, ako sú hodnoty odporov či kapacít, aby bolo možné prispôbiť obvod konkrétnym potrebám.

Aplikácia podporuje simuláciu obvodov s rôznymi typmi analýz:

- **Jednosmerná (DC) analýza** – meranie napätí a prúdov pri konštantnom napätí.
- **Tranzientná analýza** – časový priebeh elektrických veličín.
- **Striedavá (AC) analýza** – sledovanie frekvenčných vlastností obvodu.
- **Analýza pracovného bodu** – detailná štúdia ustálených stavov.

Výsledky analýzy pracovného bodu je možné zobrazit' v prehľadnej stromovej štruktúre a exportovať do formátu JSON pre ďalšie spracovanie. Okrem toho aplikácia umožňuje export celého obvodu do formátu netlist, ktorý je vhodný na využitie v iných simulačných nástrojoch. Výsledky ostatných typov analýz, ako sú časové priebehy a frekvenčné charakteristiky, je možné zobrazovať vo forme grafov priamo v aplikácii a taktiež ich exportovať vo formáte obrázka.

7.2 Podporované súčiastky

Aplikácia OhmStudio je navrhnutá na prácu s vybranými typmi komponentov, ktoré pokrývajú základné potreby pri simulácii elektrických obvodov. Nové súčiastky je možné jedno-

ducho pridávať, čo umožňuje budúce rozšírenie funkcionality. Komponenty sú rozdelené do niekoľkých kategórií podľa ich funkcie:

- **Pasívne komponenty:** Rezistor (Resistor), Kondenzátor (Capacitor), Induktor (Inductor)
- **Aktívne komponenty:** Zdroj napätia (Voltage Source), Zdroj prúdu (Current Source), Striedavý zdroj napätia (Sinusoidal Voltage Source), Striedavý zdroj prúdu (Sinusoidal Current Source)
- **Polovodiče:** Dióda (Diode), Bipolárny tranzistor NPN (NPN Transistor), Bipolárny tranzistor PNP (PNP Transistor)

7.3 Špecifikácia rozhrania a výstupov

Aplikácia OhmStudio ponúka moderné grafické rozhranie, ktoré je navrhnuté s dôrazom na jednoduchosť a efektivitu práce. Hlavné okno aplikácie obsahuje tieto časti:

- **Nástrojový panel** – funkcie na správu projektov (nový, uložiť, načítať)
- **Panel komponentov** – výber a vkladanie súčiastok do schémy
- **Editor vlastností** – úprava parametrov vybraných súčiastok
- **Pracovná plocha** – kreslenie elektrických schém
- **Stavový riadok** – základné informácie o aktuálnom obvode

Simulácia sa nastavuje v samostatných dialógových oknách, kde možno definovať časové intervaly, frekvenčné rozsahy, zvoliť sledované veličiny (napätia, prúdy) a zobrazit' výsledky simulácie buď graficky, alebo ako analýzu pracovného bodu v stromovej štruktúre.

Výstupy simulácie sú navrhnuté tak, aby poskytli používateľovi komplexný prehľad o správaní obvodu. Simulácia umožňuje grafické zobrazenie časových priebehov veličín, zobrazenie frekvenčných charakteristík a tabuľkové zobrazenie hodnôt napätí a prúdov.

Aplikácia taktiež podporuje množstvo doplnkových funkcií pre zvýšenie komfortu pri práci. Medzi tieto funkcie patrí možnosť operácií späť a znova, kopírovanie, vkladanie, rotácia a zrkadlenie komponentov, ako aj priblíženie a oddialenie schémy. Samozrejmosťou je aj automatické zarovnanie na mriežku, ktoré zabezpečuje presné umiestnenie súčiastok.

8 VÝBER TECHNOLOGIÍ A NÁSTROJOV

Táto kapitola sa zameriava na proces výberu technológií a nástrojov použitých pri vývoji aplikácie OhmStudio. Predstavuje zvolený programovací jazyk, použité knižnice, odôvodnenie ich výberu a stručný prehľad alternatívnych možností, ktoré boli zvážené, no nakoniec neboli prijaté.

8.1 Zvolený programovací jazyk

Ako primárny programovací jazyk pre vývoj aplikácie OhmStudio bol vybraný Python[20]. Tento jazyk sa vyznačuje jednoduchou a čitateľnou syntaxou, ktorá uľahčuje rýchle osvojenie a vývoj, najmä pre začiatočníkov aj skúsených programátorov. Medzi jeho hlavné výhody patrí široká podpora komunity, ktorá poskytuje bohatú dokumentáciu a množstvo dostupných knižníc, čím sa zvyšuje flexibilita pri riešení rôznych úloh. Python je známy svojou schopnosťou zefektívniť proces programovania vďaka svojej vysokej úrovni abstrakcie, čo je výhodné pri tvorbe komplexných aplikácií, ako je simulátor obvodov.

8.2 Použité knižnice

Pre realizáciu grafického rozhrania (GUI) aplikácie bola zvolená knižnica PySide6[21], ktorá ponúka moderné nástroje na vytvorenie interaktívneho a používateľsky prívetivého prostredia. Táto knižnica je založená na Qt frameworku[22] a umožňuje navrhovať intuitívne rozhrania s rôznymi ovládacími prvkami.

Na simuláciu elektrických obvodov bola použitá knižnica PySpice[23], ktorá poskytuje funkcie na analýzu obvodov vrátane rôznych typov simulácií. PySpice je navrhnutá na spoluprácu s jazykom Python a slúži ako rozhranie nad simulačným jadrom NGSpice[24]. Vďaka tomu umožňuje jednoducho pristupovať k výpočtom napätí, prúdov a ďalších elektrických veličín v simulovaných obvodoch pri zachovaní presnosti a výkonu osvedčeného simulačného nástroja.

8.3 Odôvodnenie výberu

Výber Pythonu spolu s knižnicami PySide6 a PySpice bol podložený viacerými faktormi. Jedným z hlavných dôvodov je vysoká kompatibilita týchto technológií s rôznymi operačnými systémami, čo zaisťuje širokú dostupnosť aplikácie. Otvorený zdrojový charakter

týchto nástrojov umožňuje prístup k zdrojovým kódom a ich úpravu podľa špecifických potrieb, čo je výhodné pri vývoji vlastného softvéru. Okrem toho Python a jeho ekosystém knižníc poskytujú rýchly vývojový cyklus a podporu komunity, ktorá je kľúčová pri riešení potenciálnych problémov. Vybrané knižnice boli zvolené pre ich špecializáciu na grafické rozhranie a simuláciu obvodov, čo zabezpečuje efektívnu integráciu a optimalizáciu výkonu aplikácie.

8.4 Alternatívne možnosti

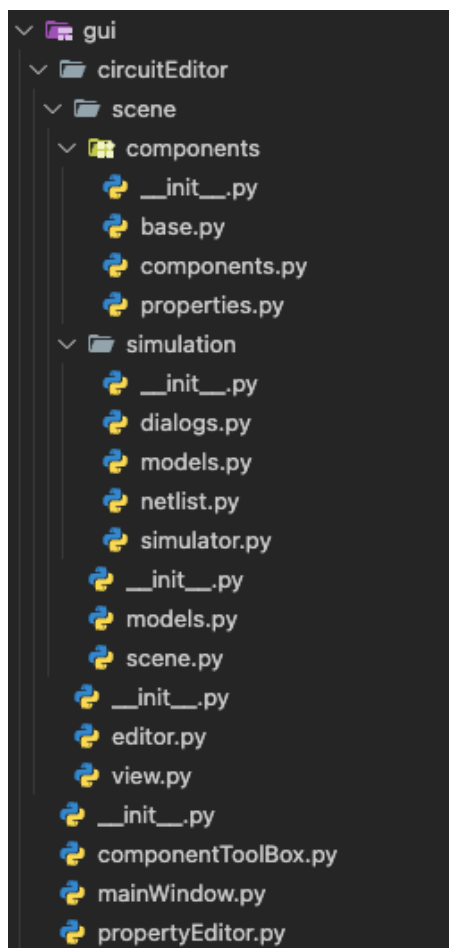
Pri výbere technológií boli zvážené aj iné programovacie jazyky, ako napríklad C++ a JavaScript, no nakoniec boli odmietnuté z určitých dôvodov. C++ ponúka vysoký výkon a kontrolu nad hardvérom, čo je výhodné pri vývoji náročných aplikácií, avšak jeho komplexnejšia syntax a dlhší vývojový čas ho robia menej vhodným pre rýchly prototypový vývoj. JavaScript, bežne používaný na vývoj webových aplikácií, umožňuje tvorbu online nástrojov podobných CircuitLab, no jeho obmedzenia v oblasti výkonu a nedostatočná podpora pokročilých simulácií obvodov viedli k jeho nevýberu. Tieto alternatívy boli zvážené, ale Python s podporou PySide6 a PySpice lepšie splnil požiadavky na jednoduchosť, flexibilitu a efektivitu pri vývoji OhmStudio.

9 NÁVRH A IMPLEMENTÁCIA APLIKÁCIE

Táto kapitola sa venuje návrhu a realizácii aplikácie OhmStudio, pričom detailne popisuje jej štruktúru a spôsob používania grafického rozhrania. Zameriava sa na organizačnú štruktúru súborov a objektov, ktoré tvoria základ aplikácie, ako aj na popis jej funkčnosti z pohľadu používateľa, vrátane odporúčaných miest na dokumentáciu prostredníctvom screenshotov.

9.1 Štruktúra aplikácie

Aplikácia OhmStudio je rozdelená do viacerých modulov, ktoré sú usporiadané do logických zložiek na úrovni zdrojových kódov (src/). Každý modul a jeho súbory plnia špecifické úlohy, ktoré prispievajú k celkovej funkčnosti aplikácie.



Obrázek 9.1 Štruktúra projektu.

(zdroj: vlastní)

Modul GUI (src/gui/) obsahuje hlavné prvky grafického rozhrania. Trieda MainWindow má na starosti správu menu a nástrojového panela, integráciu všetkých komponentov apli-

kácie a riadenie jej celkového stavu. `ComponentToolBox` predstavuje panel, z ktorého používatelia vyberajú a pridávajú komponenty do schémy, zatiaľ čo `PropertyEditor` slúži na úpravu vlastností vybraných komponentov, ako sú hodnoty alebo typy.

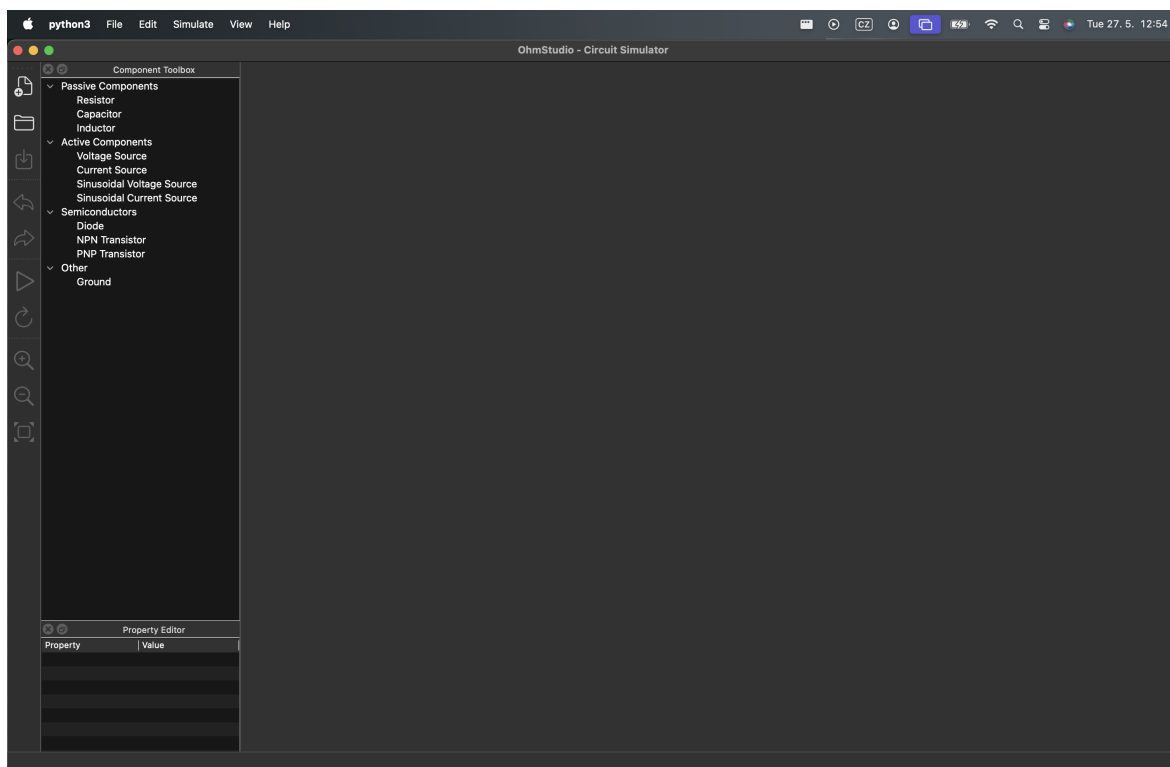
Ďalší modul, `Circuit Editor` (`src/gui/circuitEditor/`), je zameraný na editáciu obvodov. Trieda `Editor` tvorí hlavnú časť editora obvodov, ktorá koordinuje prácu s ostatnými objektmi. `Scene` predstavuje plochu, na ktorej sa vykonáva kreslenie a úprava obvodov, a `View` zabezpečuje zobrazenie tejto plochy, vrátane možností priblíženia a posúvania.

Modul `Komponenty` (`circuitEditor/scene/components/`) obsahuje súbory definujúce jednotlivé súčiastky. Súbor `base.py` obsahuje základnú triedu `BaseComponent`, ktorá slúži ako predloha pre všetky komponenty, `BaseNetlistComponent` pre generovanie netlistu, `ConnectionNode` na definovanie uzlov prepojení medzi súčiastkami, `GridPoint` na správu mriežky pre presné umiestnenie a `Ground` ako komponent reprezentujúci zem. Súbor `components.py` zahŕňa špecifické typy komponentov, vrátane pasívnych súčiastok ako rezistor, kondenzátor a indukčnosť, zdrojov (DC zdroj napätia, DC zdroj prúdu, AC zdroj napätia, AC zdroj prúdu) a polovodičov (dióda, NPN tranzistor, PNP tranzistor). Súbor `properties.py` definuje triedy vlastností, kde `BaseProperty` je základná trieda, z ktorej dedí `StringProperty` spravuje textové vlastnosti, `NumericProperty` číselné hodnoty a `EnumProperty` výčtové možnosti.

Simulačný modul (`circuitEditor/scene/simulation/`) je zodpovedný za výpočty a analýzy obvodov. Súbor `models.py` obsahuje triedu `UnitValue` na prácu s hodnotami a jednotkami, `SimulationType` na určenie typu simulácie, `BaseSimulation` ako základnú triedu simulácií, `DCSimulation` pre jednosmernú analýzu, `TransientSimulation` pre tranzientnú analýzu, `ACSimulation` pre striedavú analýzu a `OperatingPointSimulation` pre analýzu pracovného bodu. Súbor `netlist.py` zahŕňa `Netlist` na generovanie a validáciu netlistu a `NetlistValidationError` na správu chýb pri validácii. Súbor `simulator.py` obsahuje `Simulator` ako hlavný simulačný modul a `Analysis` na spracovanie výsledkov simulácií. Súbor `dialogs.py` poskytuje `SimulationDialog` na nastavenie parametrov simulácie, `OperatingPointAnalysisResultDialog` na zobrazenie výsledkov analýzy pracovného bodu, `MathPlotDialog` na vykresľovanie grafov a `MultiSelectComboBox` ako vlastný ovládací prvok pre výber viacerých položiek.

9.2 Grafické rozhranie

Aplikácia OhmStudio je navrhnutá tak, aby poskytovala intuitívne prostredie pre používateľov pri navrhovaní a simulácii elektrických obvodov. Práca s aplikáciou začína vytvorením nového obvodu, čo je možné uskutočniť výberom File > New alebo použitím klávesovej skratky Ctrl+N (Cmd+N na macOS), čím sa otvorí prázdna pracovná plocha.



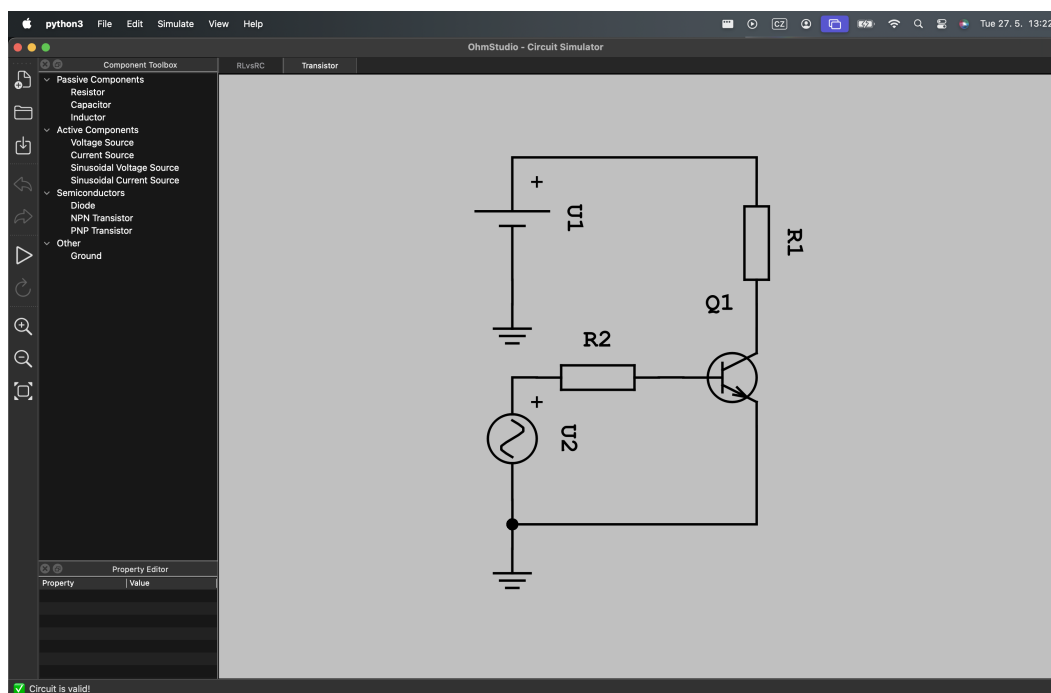
Obrázek 9.2 OhmStudio po spustení.

(zdroj: vlastní)

Pridávanie komponentov sa realizuje cez panel komponentov na ľavej strane okna, kde používateľ môže kliknutím a pretiahnutím umiestniť súčiastky, ako sú rezistory, kondenzátory, induktority, zdroje napätia a prúdu, diódy, tranzistory či zem. Prepojenie komponentov sa vykonáva kliknutím na bod pripojenia jednej súčiastky a pretiahnutím k bodu druhej súčiastky, pričom sa vytvorí spoj. Ak je potrebné spojenie zrušiť, stačí stlačiť kláves Esc, Delete alebo uvoľniť spoj na rovnakom mieste ako štart.

Úprava polohy a orientácie komponentov zahŕňa ich výber kliknutím, presúvanie ťahaním (s podržaním Shift pre uzly pripojenia), rotáciu o 90 stupňov pomocou kláves R (v smere hodinových ručičiek) alebo Shift+R (proti smeru), zrkadlenie horizontálne klávesou H a vertikálne klávesou V. Spoje sa automaticky prispôbia, aby zachovali pripojenia.

Kopírovanie a vkladanie komponentov je možné klávesovými skratkami `Ctrl+C` (`Cmd+C`) a `Ctrl+V` (`Cmd+V`), pričom nový komponent dostane unikátny názov a zachová pôvodné vlastnosti. Odstránenie komponentov sa vykoná výberom a stlačením `Delete`, čo zároveň odstráni aj ich spoje. Úprava vlastností komponentov, ako sú hodnoty odporu či napätia, sa uskutočňuje pravým kliknutím na súčiastku a editáciou v editore vlastností.

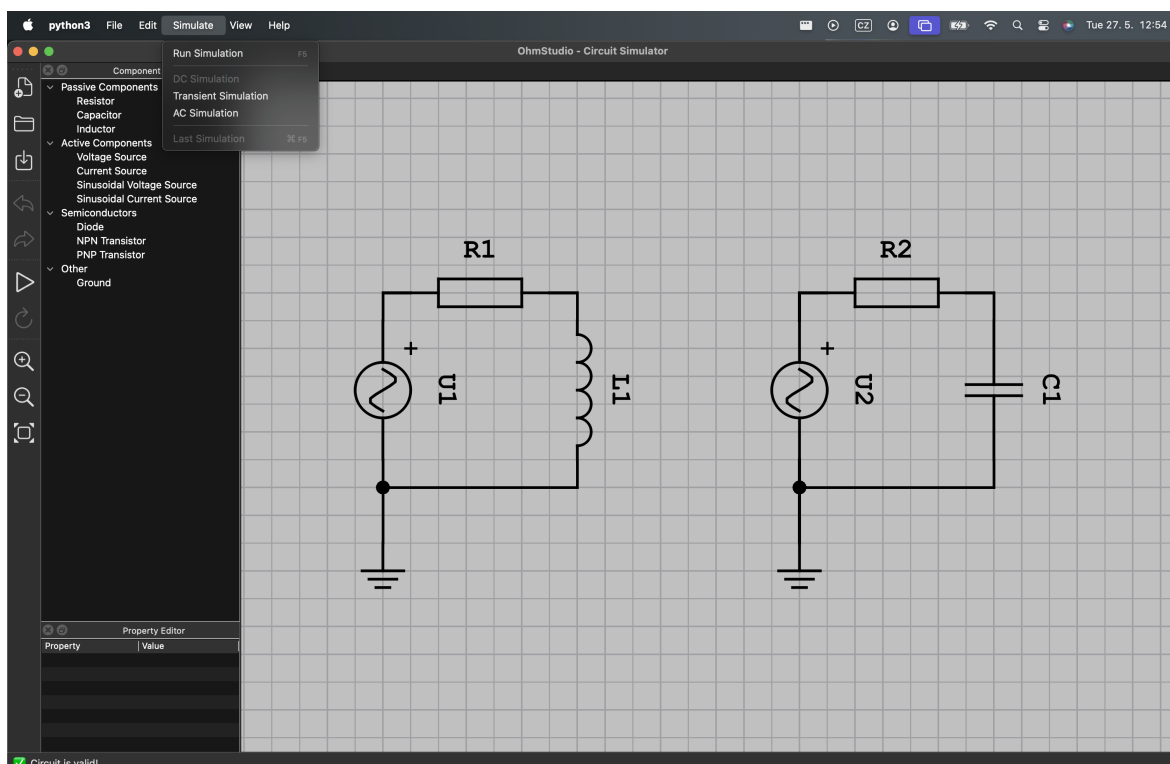


Obrázek 9.3 OhmStudio bez zobrazenia mriežky.

(zdroj: vlastní)

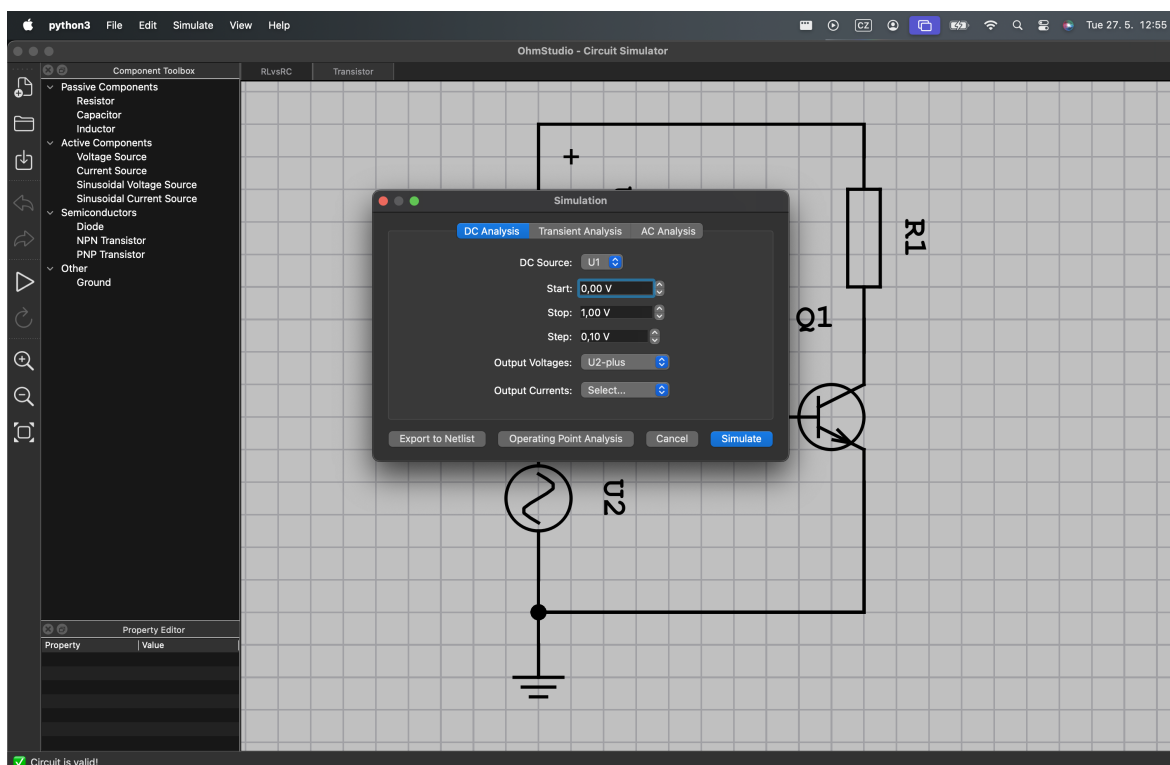
Simulácia obvodov dostupná cez `Simulate > Run Simulation` zahŕňa analýzu pracovného bodu, ktorá zobrazuje ustálené hodnoty napätí a prúdov, DC analýzu s nastavením rozsahu zdroja a meraných veličín cez `Simulate > DC Simulation`, tranzientnú analýzu s definíciou časových intervalov cez `Simulation > Transient Simulation` a AC analýzu s nastavením frekvenčného rozsahu cez `Simulation > AC Simulation`.

Opätovné spustenie poslednej simulácie je možné klávesovou skratkou `Shift+F5`, pričom pri zmenách v obvode sa otvoria nastavenia na úpravu parametrov. Výsledky analýzy pracovného bodu sú zobrazené v stromovej štruktúre, zatiaľ čo ostatné simulácie sa zobrazujú v oknách grafov s možnosťami priblíženia, posunu a uloženia obrázkov. Ukladanie obvodov sa realizuje cez `File > Save` (`Ctrl+S/Cmd+S`) do formátu `.ohm` a načítanie cez `File > Open` (`Ctrl+O/Cmd+O`). Export netlistu je dostupný cez `Simulation > Export to Netlist`, zatiaľ čo výsledky simulácie sa exportujú ako JSON alebo obrázky z grafov.



Obrázek 9.4 OhmStudio s otevřeným projektem.

(zdroj: vlastní)



Obrázek 9.5 Spustenie simulácie.

(zdroj: vlastní)

9.3 Dokumentácia

Dokumentácia aplikácie OhmStudio je navrhnutá tak, aby zabezpečila zrozumiteľnosť kódu a jednoduchú manipuláciu s aplikáciou pre používateľov aj vývojárov. Celý zdrojový kód je riadne zdokumentovaný pomocou dokumentačných reťazcov priamo v Python súboroch, kde sú popísané funkcie, triedy a ich parametre, čím sa uľahčuje údržba a rozšírenie aplikácie.

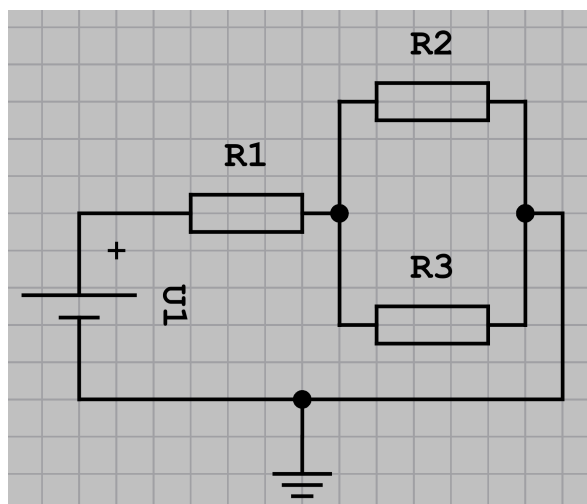
Okrem toho bol vytvorený súbor `README.md`, ktorý obsahuje podrobný návod na inštaláciu aplikácie, jej spustenie a pridanie nových komponentov, čím slúži ako základná príručka pre nových používateľov. Ďalšou súčasťou dokumentácie je používateľský manuál uložený v súbore `MANUAL.md`, ktorý poskytuje komplexný prehľad o fungovaní aplikácie, vrátane postupov pre vytváranie obvodov, nastavovanie simulácií a prácu s výsledkami.

10 TESTOVANIE FUNKČNOSTI

Táto kapitola sa zameriava na overenie funkčnosti aplikácie OhmStudio prostredníctvom testovania rôznych typov elektrických obvodov. Každý testovací scenár je rozdelený na popis obvodu a analýzu s interpretáciou výsledkov, čím sa overuje správnosť simulácií a ich súlad s teoretickými predpokladmi.

10.1 Sériovo-paralelný obvod s odpormi

Zapojenie pozostáva zo zdroja napätia U_1 , ktorý je pripojený sériovo s odporom R_1 . Za odporom R_1 nasleduje paralelná vetva tvorená odpormi R_2 a R_3 (viď obrázok 10.1). Toto zapojenie kombinuje sériové a paralelné spojenie, čo umožňuje overiť správnosť výpočtov prúdov a napätí v zložitom obvode.



Obrázek 10.1 Zapojenie sériovo-paralelného obvodu s odpormi.

(zdroj: vlastní)

Tabulka 10.1 Hodnoty súčiastok pre sériovo-paralelný obvod s odporovým deličom

Súčiastka	Popis	Hodnota
U_1	Zdroj napätia	10 V
R_1	Sériový odpor	100 Ω
R_2	Paralelný odpor (vetva 1)	200 Ω
R_3	Paralelný odpor (vetva 2)	200 Ω

(zdroj: vlastní)

Na tomto obvode bola vykonaná analýza pracovného bodu(vid' obrázok 10.2), aby sa určili ustálené hodnoty napätí a prúdov v jednotlivých vetvách. Výsledky ukazujú rozdelenie napätia a prúdu medzi sériový odpor R_1 a paralelnú vetvu R_2 a R_3 , kde napätie sa rozkladá v pomere k odporom a prúd sa rozdeľuje podľa pravidiel pre paralelný obvod. Takéto správanie je očakávané, pretože v sériovom zapojení sa napätie delí úmerne odporom a v paralelnom zapojení je napätie na oboch vetvách rovnaké, pričom prúd sa rozdeľuje inverzne úmerne k odporom.

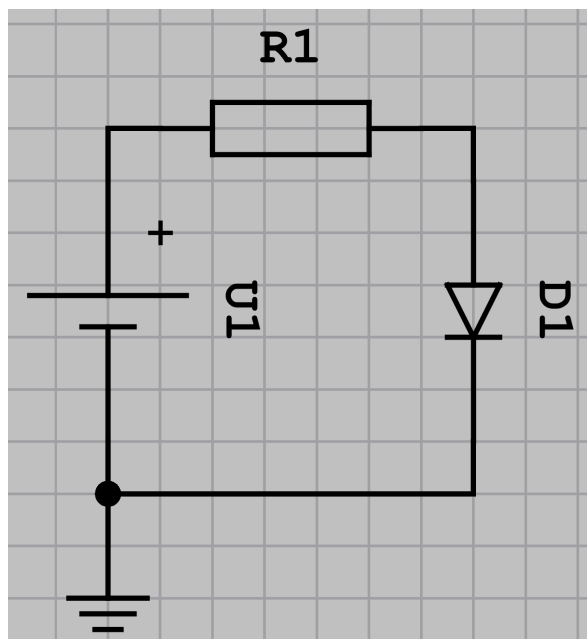
Operating Point Analysis Result	
Property	Value
Components	
R1	
Voltages	
R1-plus → R1-minus	5.0000 V
Branches	
R1-plus	0.0500 A
R1-minus	-0.0500 A
R2	
Voltages	
R2-plus → R2-minus	5.0000 V
Branches	
R2-plus	0.0250 A
R2-minus	-0.0250 A
R3	
Voltages	
R3-plus → R3-minus	5.0000 V
Branches	
R3-plus	0.0250 A
R3-minus	-0.0250 A
U1	
Voltages	
U1-plus → U1-minus	10.0000 V
Branches	
U1-plus	-0.0500 A
U1-minus	0.0500 A
Nodes	
1	10.0000 V
R1-plus	
U1-plus	
2	5.0000 V
R3-plus	
R2-plus	
R1-minus	
0	0.0000 V
R2-minus	
U1-minus	
R3-minus	

Obrázek 10.2 Výsledek analýzy pracovného bodu.

(zdroj: vlastní)

10.2 Obvod s diódou

Zapojenie zahŕňa zdroj jednosmerného napätia U_1 pripojený sériovo s ochranným odporom R_1 a diódou D_1 (viď obrázok 10.3). Toto jednoduché zapojenie je navrhnuté na overenie správania diódy v priamej polarizácii, pričom odpor R_1 slúži na obmedzenie prúdu a ochranu diódy pred preťažením.



Obrázek 10.3 Zapojenie obvodu s diódou.

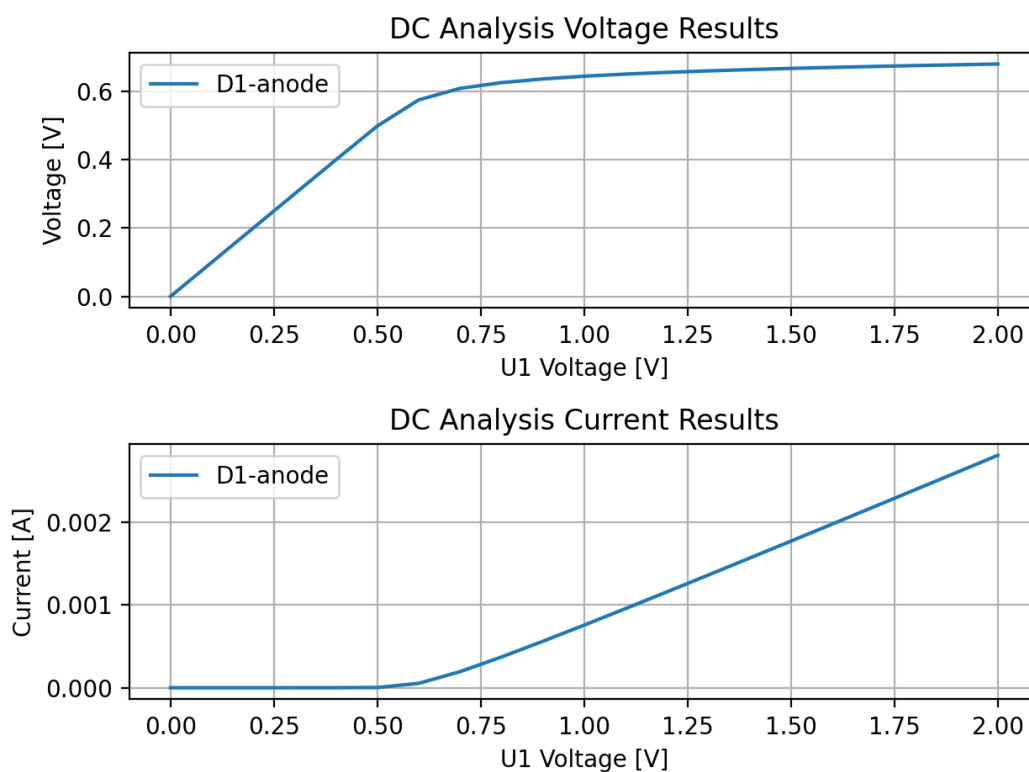
(zdroj: vlastní)

Tabulka 10.2 Hodnoty súčiastok pre jednoduché zapojenie s diódou v priamej polarizácii

Súčiastka	Popis	Hodnota
U_1	Zdroj jednosmerného napätia	5 V
R_1	Ochranný odpor	470 Ω
D_1	Kremíková dióda (napr. 1N4148)	$U_f \approx 0.7V$

(zdroj: vlastní)

Na obvode bola uskutočnená DC analýza (viď obrázok 10.4), ktorá sleduje závislosť prúdu od napätia na dióde. Výsledný graf zobrazuje nelineárnu voltampérovú charakteristiku diódy, kde prúd začína výrazne narastať až po prekročení prahového napätia. Tento priebeh je spôsobený fyzikálnymi vlastnosťami diódy, ktorá prepúšťa prúd iba pri dostatočnom napätí v priamej polarizácii, zatiaľ čo ochranný odpor R_1 zaisťuje, že prúd nepresiahne bezpečné hodnoty a dióda nie je poškodená.

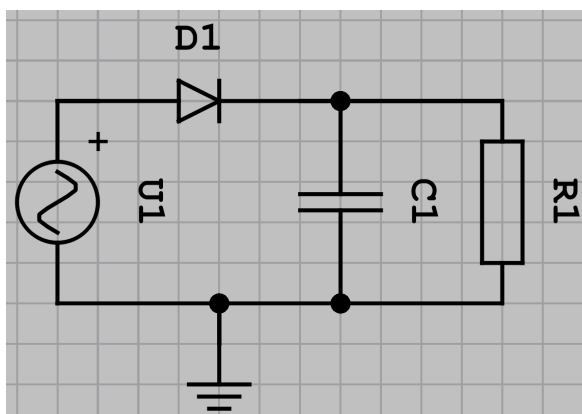


Obrázek 10.4 Výsledek DC analýzy.

(zdroj: vlastní)

10.3 Jednoduchý usměrňovač

Zapojenie tvorí striedavý zdroj napätia U_1 , ktorý je základom jednoduchého usmerňovacieho obvodu, doplneného diódou a kondenzátorom na základnú filtráciu (viď obrázok 10.5). Tento obvod je navrhnutý na premenu striedavého napätia na jednosmerné s minimalizáciou zvlnenia.



Obrázek 10.5 Zapojenie jednoduchého usmerňovača.

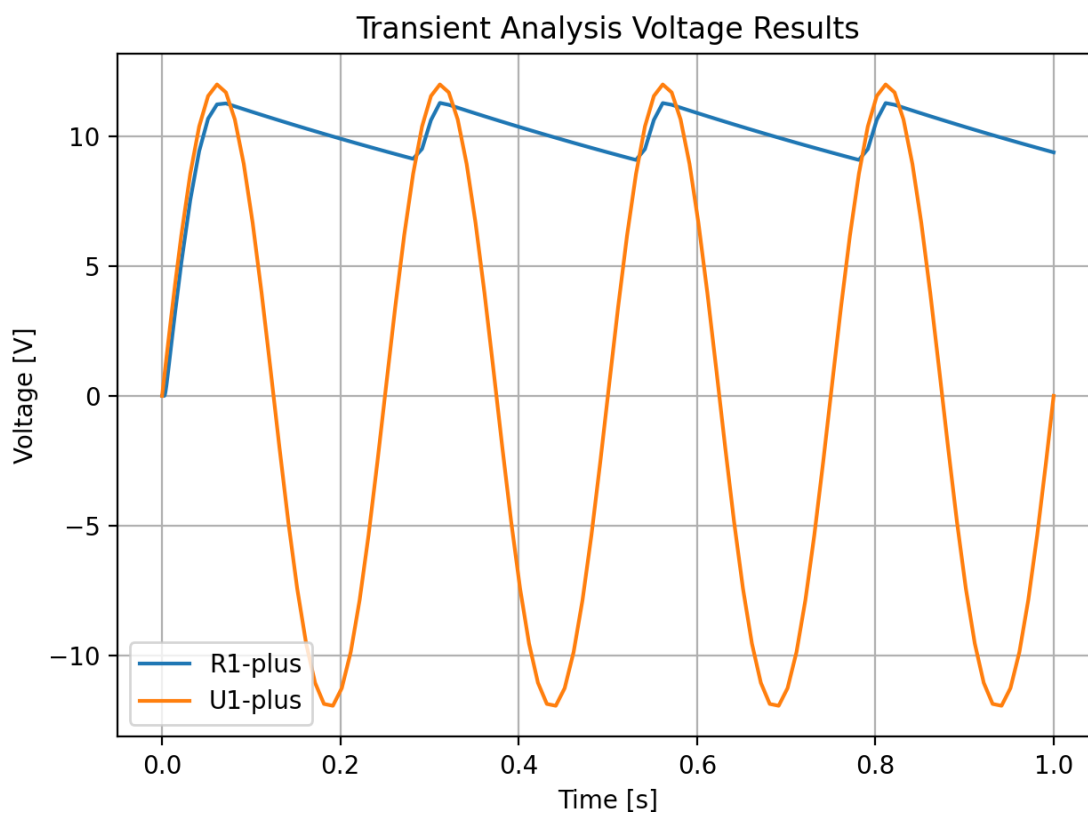
(zdroj: vlastní)

Tabulka 10.3 Hodnoty súčiastok pre jednoduchý usmerňovač s diódou a filtračným kondenzátorom

Súčiastka	Popis	Hodnota
U_1	Striedavý zdroj napätia	12 V, 4 Hz
D_1	Usmerňovacia dióda (napr. 1N4007)	$U_f \approx 0.7V$
C_1	Filtračný kondenzátor	1 mF
R_1	Zát'azový odpor	1 k Ω

(zdroj: vlastný)

Obvod bol podrobený tranzientnej analýze (viď obrázok 10.6), ktorá sleduje časový priebeh napätia na výstupe usmerňovača. Výsledky ukazujú, že dióda prepúšťa iba kladnú polvlnu striedavého signálu, pričom kondenzátor zmierňuje kolísanie napätia tým, že sa nabíja počas vrcholov a vybíja pri poklesoch. Takéto správanie je očakávané, pretože usmerňovacia dióda eliminuje zápornú časť signálu a kondenzátor pôsobí ako filter, čím sa vytvára stabilnejšie jednosmerné napätie.

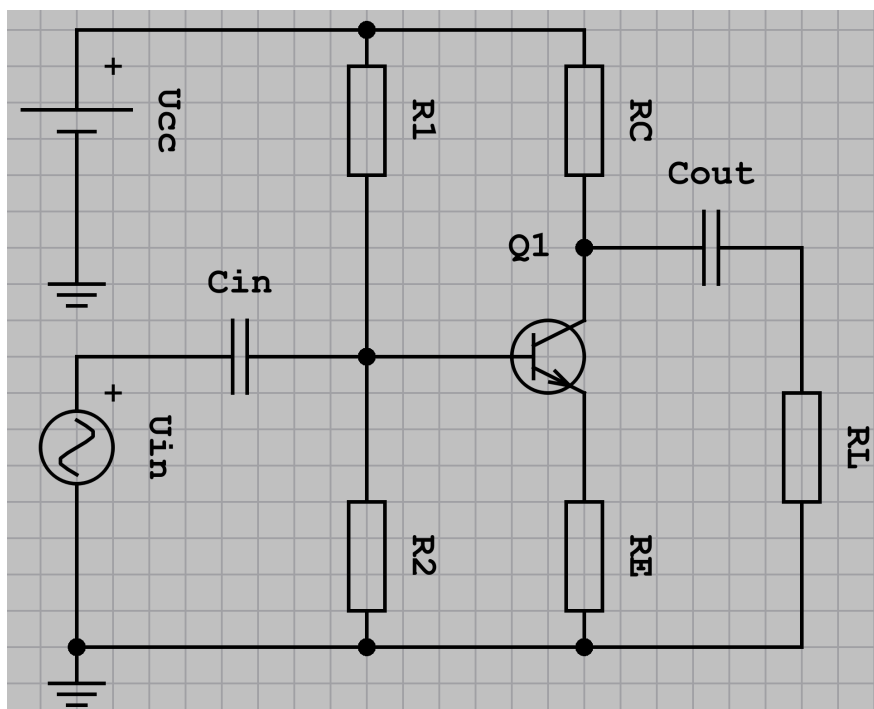


Obrázok 10.6 Výsledok tranzientnej analýzy usmerňovača.

(zdroj: vlastný)

10.4 Jednoduchý zosilňovač

Zapojenie využíva NPN tranzistor v konfigurácii so spoločným emitorom, ktorá je typická pre jednoduché zosilňovače signálu. Tranzistor je doplnený odporom na kolektore a emitorovým odporom, aby bolo možné nastaviť pracovný bod a zosilnenie signálu (vid' obrázok 10.7).



Obrázek 10.7 Zapojenie jednoduchého zosilňovača.

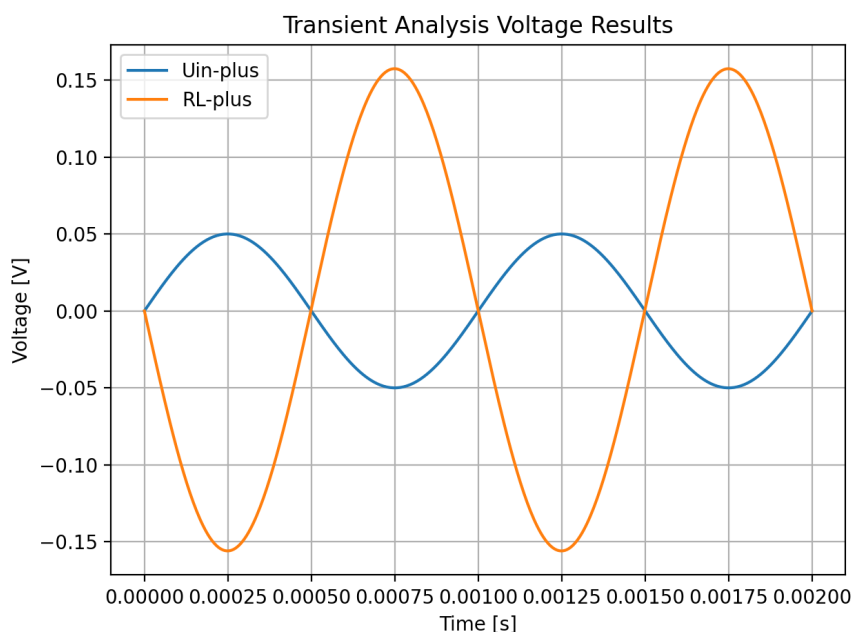
(zdroj: vlastní)

Tabulka 10.4 Hodnoty súčiastok pre jednoduchý zosilňovač v zapojení so spoločným emitorom

Označenie	Popis	Hodnota / Typ
C_{in}	Vstupný spojovací kondenzátor	$10\ \mu\text{F}$
C_{out}	Výstupný spojovací kondenzátor	$10\ \mu\text{F}$
R_C	Kolektorový odpor	$4.7\ \text{k}\Omega$
R_1	Horný odpor bázy (delič)	$22\ \text{k}\Omega$
R_2	Dolný odpor bázy (delič)	$4.7\ \text{k}\Omega$
R_E	Emitorový odpor	$1\ \text{k}\Omega$
R_L	Výstupná záťaž	$10\ \text{k}\Omega$
Q_1	Bipolárny NPN tranzistor	BC547
U_{CC}	Napájacie napätie	12 V
U_{in}	Vstupný signál	50 mV, 1 kHz

(zdroj: vlastní)

Na obvode bola vykonaná tranzientná analýza(vid' obrázok 10.8), ktorá sleduje časový priebeh vstupného a výstupného signálu. Výsledky ukazujú, že výstupný signál má väčšiu amplitúdu v porovnaní s vstupným signálom, čo potvrdzuje zosilňovací efekt. Tento efekt je spôsobený vlastnosťami tranzistora v zapojení so spoločným emitorom, kde malá zmena prúdu bázy vedie k výraznej zmene prúdu kolektora, čím sa zosilňuje vstupný signál.



Obrázek 10.8 Výsledok tranzientnej analýzy zosilňovača.

(zdroj: vlastní)

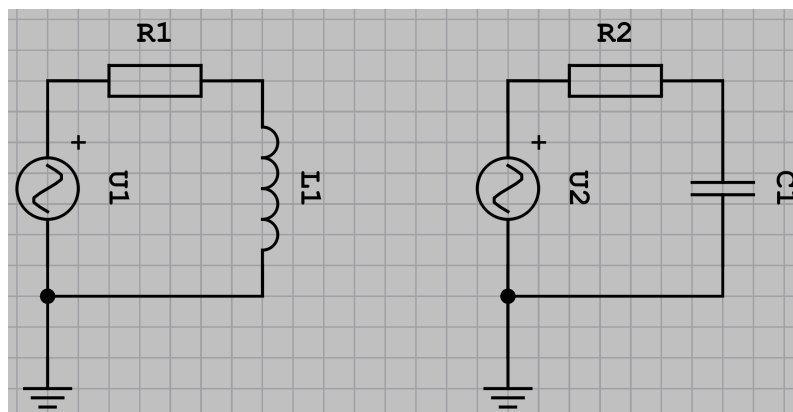
10.5 Dolná a horná priepust

Zapojenie zahŕňa RC článok tvorený odporom a kondenzátorom, ktorý funguje ako dolná priepust, a RL článok tvorený odporom a indukčnosťou, ktorý funguje ako horná priepust(vid' obrázok 10.9). Tieto filtre sú navrhnuté na selektívne prepúšťanie signálov na základe ich frekvencie.

Tabuľka 10.5 Hodnoty súčiastok pre dolnú a hornú priepust.

Označenie	Popis	Hodnota / Typ
R_1	Odpor RC článku (dolná priepust)	1 k Ω
C_1	Kondenzátor RC článku (dolná priepust)	100 nF
R_2	Odpor RL článku (horná priepust)	1 k Ω
L_1	Cievka RL článku (horná priepust)	10 mH
$U_{1,2}$	Vstupný signál	1 V, 10 Hz – 1 MHz

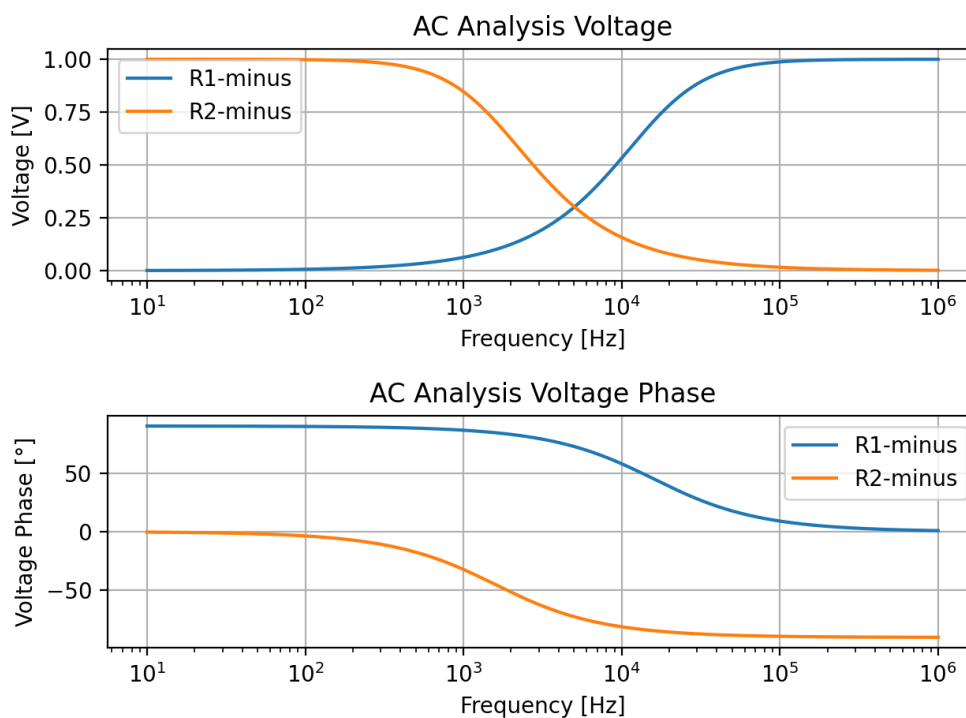
(zdroj: vlastní)



Obrázek 10.9 Zapojenie pre dolnú a hornú priepust.

(zdroj: vlastný)

Oba obvody boli podrobené AC analýze (viď obrázok 10.10), ktorá sleduje frekvenčnú odozvu filtrov. Výsledný graf ukazuje, že RC dolná priepust prepúšťa nižšie frekvencie a potláča vyššie, zatiaľ čo RL horná priepust prepúšťa vyššie frekvencie a potláča nižšie. Toto správanie je dané vlastnosťami jednotlivých prvkov: v RC obvode kondenzátor pri vyšších frekvenciách znižuje impedanciu a signál je potlačený, zatiaľ čo v RL obvode indukčnosť pri vyšších frekvenciách zvyšuje impedanciu a umožňuje prechod signálu.



Obrázek 10.10 Výsledok tranzientnej analýzy pre dolnú a hornú priepust.

(zdroj: vlastný)

11 ZHODNOTENIE A NÁVRHY NA ROZŠÍRENIE

Táto kapitola sumarizuje výsledky vývoja aplikácie OhmStudio a hodnotí jej funkčnosť a použiteľnosť. Zároveň ponúka návrhy na budúce rozšírenia, ktoré by mohli zlepšiť jej možnosti a prispôbiť ju širšiemu spektru potrieb používateľov.

11.1 Zhodnotenie výsledkov

Výsledky vývoja aplikácie OhmStudio boli posúdené z hľadiska splnenia pôvodne definovaných požiadaviek. Aplikácia úspešne umožňuje vytváranie a úpravu elektrických schém prostredníctvom grafického rozhrania, čím spĺňa požiadavku na jednoduché navrhovanie obvodov. Simulačné schopnosti pokrývajú jednotlivé typy analýz, vrátane jednosmernej, tranzientnej, striedavej a analýzy pracovného bodu, čo zodpovedá stanoveným cieľom. Meracie funkcie aplikácie, ktoré zahŕňajú sledovanie napätí a prúdov v rôznych bodoch obvodu, boli implementované a overené v testovacích scenároch, čím bola splnená požiadavka na podrobnú analýzu správania obvodov. Celkovo možno konštatovať, že aplikácia dosiahla požadovanú úroveň funkcionality, hoci jej presnosť a rozsah môžu byť predmetom ďalších vylepšení.

11.2 Hodnotenie použiteľnosti

Použiteľnosť aplikácie OhmStudio bola posúdená na základe intuitívnosti jej grafického rozhrania a presnosti simulácií. Rozhranie bolo navrhnuté tak, aby bolo zrozumiteľné pre začiatočníkov aj pokročilých používateľov, s logickým usporiadaním nástrojov, panelov a dialógov, čo uľahčuje navigáciu a prácu s obvodmi. Presnosť simulácií bola overená porovnaním výsledkov s teoretickými očakávaniami, pričom odchýlky od referenčných hodnôt zostávajú pod hranicou dvoch percent, čo potvrdzuje spoľahlivosť výpočtov. Napriek tomu môžu niektoré operácie, ako nastavovanie parametrov simulácie, vyžadovať určité zlepšenie v intuitívnosti, aby boli ešte dostupnejšie pre menej skúsených používateľov.

11.3 Návrhy na vylepšenie

Pre budúci rozvoj aplikácie OhmStudio sa navrhujú viaceré rozšírenia, ktoré by mohli zvýšiť jej využiteľnosť a funkcionality. Jednou z možností je podpora pokročilejších AC obvodov, vrátane analýzy vyšších frekvencií a šumových charakteristík, čo by rozšírilo jej využitie v

oblasti analógovej elektroniky. Ďalším návrhom je implementácia exportu výsledkov do formátu PDF, ktorý by umožnil vytvárať profesionálne správy a dokumentáciu simulácií. Tiež by bolo prínosné pridať simuláciu nabíjania a vybíjania kondenzátora v reálnom čase, čo by pomohlo pri štúdiu tranzientných javov a dynamického správania obvodov. Okrem toho sa navrhuje zobrazenie výsledkov AC analýzy v decibeloch (dB) namiesto hodnôt vo voltoch (V) alebo ampéroch (A), čo by zlepšilo interpretáciu frekvenčných charakteristík a uľahčilo porovnanie s technickými špecifikáciami zariadení. Tieto vylepšenia by mohli aplikáciu posunúť k väčšej univerzálnosti a prispôbiť ju potrebám pokročilých používateľov aj vzdelávacích inštitúcií.

ZÁVĚR

Táto diplomová práca sa venovala návrhu, vývoju a testovaniu simulačného nástroja OhmStudio, ktorý slúži na analýzu a simuláciu elektrických obvodov. Hlavným cieľom bolo vytvoriť intuitívny a dostupný nástroj, ktorý by kombinoval jednoduché grafické rozhranie s pokročilými simulačnými funkciami, a tým podporil vzdelávanie a praktické aplikácie v oblasti elektrotechniky. Proces vývoja zahŕňal niekoľko kľúčových etáp, počnúc analýzou požiadaviek a výberom technológií, cez návrh a implementáciu jednotlivých modulov, až po testovanie funkčnosti na rôznych typoch obvodov, ako sú sériovo-paralelné zapojenia, usmerňovače či zosilňovače.

Výsledkom práce je plne funkčná aplikácia OhmStudio, ktorá umožňuje používateľom vytvárať a upravovať elektrické schémy, vykonávať jednosmerné, striedavé, tranzientné analýzy a analýzu pracovného bodu, a exportovať výsledky do rôznych formátov, ako sú JSON či netlist. Testovanie preukázalo, že aplikácia je spoľahlivá, s odchýlkami simulácií v porovnaní s teoretickými hodnotami pod hranicou dvoch percent, a jej grafické rozhranie je intuitívne aj pre menej skúsených používateľov. Napriek tomu sa počas vývoja vyskytli určité výzvy, najmä pri integrácii simulačného modulu PySpice s grafickým rozhraním, ktoré si vyžadovali detailné ladenie a optimalizáciu. Tieto prekážky boli úspešne prekonané, čím sa potvrdilo splnenie stanovených cieľov práce.

Prínos práce spočíva v poskytnutí dostupného nástroja, ktorý môže slúžiť ako vzdelávacia pomôcka pre študentov a pedagógov, ale aj ako základ pre amatérskych konštruktérov pri návrhu jednoduchých obvodov. Okrem toho aplikácia ponúka potenciál pre budúci rozvoj, ktorý by mohol zahŕňať implementáciu pokročilejších analýz, ako je šumová analýza, zobrazenie výsledkov v decibeloch, alebo simulácia dynamických javov, ako je nabíjanie kondenzátora v reálnom čase. Tieto rozšírenia by mohli aplikáciu posunúť na úroveň profesionálnejších nástrojov a zároveň prilákať širšiu komunitu používateľov. V širšom kontexte má OhmStudio potenciál prispieť k digitalizácii vzdelávania v elektrotechnike a podporiť vývoj open-source riešení, ktoré by boli dostupné pre široké publikum.

Aplikácia OhmStudio tak predstavuje pevný základ, ktorý otvára dvere pre ďalšie inovácie. Práca nielenže splnila svoje ciele, ale aj ukázala, že aj jednoduché riešenia môžu mať významný dopad, ak sú navrhnuté s ohľadom na potreby používateľov. V budúcnosti by

mohla aplikácia slúžiť ako platforma pre experimenty, výskum či dokonca integráciu do väčších vzdelávacích systémov, čím by podporila rozvoj technického vzdelávania a inovácií v elektrotechnike.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] MIKULEC, Milan a HAVLÍČEK, Václav, 2002. *Základy teorie elektrických obvodů*. Vydavatelství ČVUT. 2. vyd. ISBN 80-01-02519-5.
- [2] MŠVVAŠ SR, 2021. *Sériový RLC obvod*. Online. Dostupné z: https://vps.kme.uniza.sk/_images/series_rlc_circuit.png. [cit. 2025-02-23].
- [3] ÚSTAV JADROVEJ FYZIKY A INŽINIERSTVA, FEI STU, 2024. *História vzniku teórie elektrických obvodov a vedení*. Online. Dostupné z: https://www.ujfi.fei.stuba.sk/predmety/UdT/07_DT_historia_vzniku_teorie_elektrickych_obvodov_a_vedeni.pdf. [cit. 2025-02-23].
- [4] BENEŠOVÁ, Zdeňka a LEDVINOVÁ, Marcela, 2014. *Základy elektrických obvodů v příkladech*. Západočeská univerzita v Plzni. ISBN 978-80-261-0432-2. Dostupné z: <https://www.pslib.cz/jiri.kubin/VOS/Z%C3%A1klady-Elektrick%C3%BDch-obvod%C5%AF-v-P%C5%99%C3%ADkladech.pdf>.
- [5] READY MARKET, 2023. *AC vs DC*. Online. Dostupné z: https://cdn.ready-market.com.tw/b930a445/Templates/pic/AC&DC_FAQ-001.jpg. [cit. 2025-02-23].
- [6] SELF, Douglas, 2010. *Small Signal Audio Design*. Focal Press. ISBN 978-0240521770.
- [7] KIBRISPDR, 2023. *Digital vs Analog*. Online. Dostupné z: <https://cdn.kibrispdr.org/data/1090/gambar-sinyal-analog-11.png>. [cit. 2025-02-23].
- [8] E-MANUEL.CZ, 2021. *Elektrický obvod s veličinami*. Online. Dostupné z: https://e-manuel.cz/wp-content/uploads/2021/06/il_07_27.jpg. [cit. 2025-02-23].
- [9] MYSLÍK, Jiří, 1998. *Elektromagnetické pole: základy teorie*. BEN - technická literatura. ISBN 80-86056-43-0.
- [10] E-MANUEL.CZ, 2021. *Příklad aplikace 1. Kirchhoffového zákona*. Online. Dostupné z: https://e-manuel.cz/wp-content/uploads/2021/06/il_07_37.jpg. [cit. 2025-02-23].

- [11] E-MANUEL.CZ, 2021. *Príklad aplikácie 2. Kirchhoffového zákona*. Online. Dostupné z: https://e-manuel.cz/wp-content/uploads/2021/06/il_07_46.jpg. [cit. 2025-02-23].
- [12] TRNKA, Michal, 2011. *Základné prvky elektrických obvodov*. Online. Dostupné z: <https://portal.fmed.uniba.sk/download.php?fid=334>. [cit. 2025-02-23].
- [13] ANTOŠ, Martin, 2015. *Simulátory elektrických obvodů a jejich využití v praxi*. Online. Dostupné z: <https://theses.cz/id/m3jobi/STAG69455.pdf>. [cit. 2025-04-23].
- [14] NATIONAL INSTRUMENTS, 2009. NI Multisim™ User Manual. Technical Report 374483D-01, National Instruments Corporation. Dostupné z: https://www.physics.wisc.edu/courses/home/spring2021/623/MultiSim_docs/NI-Multisim_manual.pdf.
- [15] CODEWEAVERS, 2025. *NIMultisim*. Online. Dostupné z: <https://media.codeweavers.com/pub/crossover/website/appdb/2db3af49ebde86ff852ced91ce62c772.jpg>. [cit. 2025-02-23].
- [16] ANALOG DEVICES, INC., 2024. *Welcome to LTspice*. Online. Dostupné z: <https://ez.analog.com/design-tools-and-calculators/ltspice/>. [cit. 2025-05-23].
- [17] EMBARCADOS, 2025. *LTspice*. Online. Dostupné z: <https://embarcados.com.br/wp-content/uploads/2019/12/ltspice-850x510.png>. [cit. 2025-02-23].
- [18] CIRCUITLAB, INC., 2013. *Circuit simulation and schematics*. Online. Dostupné z: <https://www.circuitlab.com/>. [cit. 2025-05-23].
- [19] CIRCUITLAB, INC., 2025. *CircuitLab*. Online. Dostupné z: <https://cdn.circuitlab.com/misc/2021-04-14-simulation-troubleshooting-parameter-2.png>. [cit. 2025-02-23].
- [20] PYTHON SOFTWARE FOUNDATION, 2001. *Python*. Online. Dostupné z: <https://www.python.org/>. [cit. 2025-02-23].
- [21] QT COMPANY LTD., 2025. *Qt for Python*. Online. Dostupné z: <https://doc.qt.io/qtforpython-6/index.html>. [cit. 2025-02-23].

-
- [22] QT COMPANY LTD., 2025. *Qt Framework*. Online. Dostupné z: <https://www.qt.io/product/framework>. [cit. 2025-02-23].
- [23] SALVAIRE, Fabrice, 2021. *PySpice*. Online. Dostupné z: <https://pyspice.fabrice-salvaire.fr/releases/v1.5/>. [cit. 2025-02-23].
- [24] NGSPICE DEVELOPMENT TEAM, 2025. *NGSpice*. Online. Dostupné z: <https://ngspice.sourceforge.io/>. [cit. 2025-02-23].

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1.1	Príklad elektrického obvodu.....	13
Obrázek 1.2	Porovnanie priebehu prúdu v DC a AC obvodoch.....	14
Obrázek 1.3	Analógový vs. digitálny signál.....	15
Obrázek 2.1	Základné veličiny v obvode.....	17
Obrázek 2.2	Príklad aplikácie 1. Kirchhoffového zákona.	19
Obrázek 2.3	Príklad aplikácie 2. Kirchhoffového zákona.	20
Obrázek 3.1	Symbol odporu v schémach.	21
Obrázek 3.2	Symbol kondenzátora v schémach.	22
Obrázek 3.3	Symbol cievky v schémach.	23
Obrázek 3.4	Symbol zdroja napätia v schémach.	23
Obrázek 3.5	Symbol zdroja prúdu v schémach.	24
Obrázek 3.6	Symbol diódy v schémach.	25
Obrázek 3.7	Symbole tranzistorov v schémach.	25
Obrázek 4.1	Sériové zapojenie s tromi odpormi.	26
Obrázek 4.2	Paralelné zapojenie s tromi odpormi.	27
Obrázek 4.3	Kombinované zapojenie s tromi odpormi.	27
Obrázek 5.1	Schéma obvodu s tromi vetvami a dvoma slučkami.....	29
Obrázek 5.2	Schéma obvodu s tromi nezávislými slučkami a slučkovými prúdmi.	31
Obrázek 5.3	Schéma obvodu s jedným nezávislým uzlom a tromi vetvami.....	32
Obrázek 5.4	Príklad určenia Théveninovho ekvivalentu.....	33
Obrázek 5.5	Príklad určenia Nortonovho ekvivalentu.....	34
Obrázek 6.1	NI Multisim.	37
Obrázek 6.2	LTspice.....	38
Obrázek 6.3	CircuitLab.	39
Obrázek 9.1	Štruktúra projektu.....	46
Obrázek 9.2	OhmStudio po spustení.	48
Obrázek 9.3	OhmStudio bez zobrazenia mriežky.	49
Obrázek 9.4	OhmStudio s otvoreným projektom.....	50
Obrázek 9.5	Spustenie simulácie.....	50
Obrázek 10.1	Zapojenie sériovo-paralelného obvodu s odpormi.	52

Obrázek 10.2	Výsledok analýzy pracovného bodu.	53
Obrázek 10.3	Zapojenie obvodu s diódou.	54
Obrázek 10.4	Výsledok DC analýzy.	55
Obrázek 10.5	Zapojenie jednoduchého usmerňovača.	55
Obrázek 10.6	Výsledok tranzientnej analýzy usmerňovača.	56
Obrázek 10.7	Zapojenie jednoduchého zosilňovača.	57
Obrázek 10.8	Výsledok tranzientnej analýzy zosilňovača.	58
Obrázek 10.9	Zapojenie pre dolnú a hornú priepust.	59
Obrázek 10.10	Výsledok tranzientnej analýzy pre dolnú a hornú priepust.	59

SEZNAM TABULEK

Tabulka 10.1	Hodnoty súčiastok pre sériovo-paralelný obvod	52
Tabulka 10.2	Hodnoty súčiastok pre zapojenie s diódou	54
Tabulka 10.3	Hodnoty súčiastok pre jednoduchý usmerňovač	56
Tabulka 10.4	Hodnoty súčiastok pre jednoduchý zosilňovač.....	57
Tabulka 10.5	Hodnoty súčiastok pre dolnú a hornú priepust.	58

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

A	Ampér (jednotka elektrického prúdu)
AC	Alternating Current (striedavý prúd)
BJT	Bipolar Junction Transistor (bipolárny tranzistor)
C	Kapacita (fyzikálna veličina kondenzátora, jednotka Farad)
DC	Direct Current (jednosmerný prúd)
F	Farad (jednotka kapacity)
FET	Field-Effect Transistor (unipolárny tranzistor)
GUI	Graphical User Interface (grafické používateľské rozhranie)
H	Henry (jednotka indukčnosti)
I	Elektrický prúd (fyzikálna veličina, jednotka Ampér)
L	Indukčnosť (fyzikálna veličina cievky, jednotka Henry)
LED	Light-Emitting Diode (svetelná dióda)
Ω	Ohm (jednotka odporu)
P	Výkon (fyzikálna veličina, jednotka Watt)
PN	P-N prechod (typ polovodičového spoja v diódach)
Q	Elektrický náboj (fyzikálna veličina, jednotka Coulomb)
R	Odpor (fyzikálna veličina, jednotka Ohm)
RC	Rezistor-Kondenzátor (typ obvodu s odporom a kondenzátorom)
RMS	Root Mean Square (efektívna hodnota napätia alebo prúdu)
U	Napätie (fyzikálna veličina, jednotka Volt)
V	Volt (jednotka napätia)
W	Watt (jednotka výkonu)