

# Obsah

	MÍSTO ÚVODU .....	11
<b>1</b>	<b>ANALÝZA ELEKTRICKÝCH OBVODŮ .....</b>	<b>15</b>
1.1	Modelování, analýza, simulace .....	16
1.2	Metody analýzy heuristické a algoritmické .....	18
1.3	Metody analýzy podle charakteru modelu .....	19
1.4	Nejčastější cíle a postupy analýzy .....	22
	<b>METODY ANALÝZY LINEÁRNÍCH OBVODŮ .....</b>	<b>25</b>
2.1	Přehled heuristických a algoritmických metod ....	26
2.1.1	Heuristické metody .....	26
2.1.2	Algoritmické metody .....	27
2.2	Příklady na heuristické postupy .....	28
2.2.1	Řešení stejnosměrných poměrů v pasivních odporových obvodech .....	28
2.2.2	Výpočty napětí a proudů u obvodů v harmonickém ustáleném stavu .....	33
2.2.3	Řešení střídavých poměrů v linearizovaných obvodech .....	37
2.2.4	Řešení přechodných dějů v jednoduchých setrvačných obvodech .....	40
2.2.5	Analýza odporových obvodů s operačními zesilovači VFA .....	44
2.2.6	Analýza setrvačných obvodů s operačními zesilovači VFA .....	50
2.2.7	Analýza obvodů se zesilovači OTA .....	54
2.2.8	Analýza obvodů s proudovými konvejory (CCII) a s proudovými operačními zesilovači (CFA) .....	56

<b>2.3</b>	<b>Maticové algoritmické metody se zaměřením na MMUN .....</b>	<b>60</b>
2.3.1	Klasická metoda uzlových napětí (MUN) .....	61
2.3.1.1	PODSTATA METODY .....	61
2.3.1.2	ILUSTRATIVNÍ PŘÍKLAD .....	62
2.3.1.3	PRÁVIDLA PRO SESTAVOVÁNÍ ROVNIC .....	64
2.3.1.4	VODIVOSTNÍ MATICE SE SKLÁDÁ Z MATIC DÍLČÍCH PRVKŮ .....	65
2.3.1.5	MATICOVÝ LINEARIZOVANÝ MODEL TRANZISTORU A MUN .....	66
2.3.1.6	SOUVISLOST MATICOVÉHO POPISU SE ZJEDNODUŠENÝM MODELOVÁNÍM TRANZISTORU .....	69
2.3.1.7	PŘÍKLADY NA ANALÝZU LINEARIZOVANÝCH OBVODŮ S TRANZISTORY .....	70
2.3.1.8	ANALÝZA OBVODŮ SE ZESILOVAČI OTA .....	72
2.3.1.9	ZPŮSOB VÝPOČTU OBVODOVÝCH FUNKCÍ Z ADMITANČNÍ MATICE .....	73
2.3.2	Modifikovaná metoda uzlových napětí (MMUN) .....	77
2.3.2.1	METODA RAŽÍTEK .....	78
2.3.2.2	METODA ZAKÁZANÉHO ŘÁDKU .....	88
2.3.2.3	METODA U/I .....	91
2.3.2.4	PODROBNĚJI O ANALÝZE OBVODŮ S PROUDOVÝMI KONVEJORY CCII .....	93
2.3.2.5	ANALÝZA OBVODŮ S MAGNETICKÝMI VAZBAMI .....	97
2.3.3	Závěrečná shrnutí a doporučení .....	104
<b>2.4</b>	<b>Grafové algoritmické metody se zaměřením na M-C grafy .....</b>	<b>105</b>
2.4.1	Klasické M-C grafy s vlastními neorientovanými smyčkami .....	106
2.4.1.1	SESTAVENÍ M-C GRAFU .....	106
2.4.1.2	VÝHODNOCENÍ M-C GRAFU ZOBECNĚNÝM MASONOVÝM PRAVIDLEM .....	108
2.4.1.3	ÚPLNÝ A ZKRÁCENÝ M-C GRAF .....	111
2.4.1.4	ILUSTRATIVNÍ PŘÍKLADY .....	112
2.4.2	Modifikované M-C grafy pro obvody s OZ a dalšími aktivními prvky .....	117
2.4.2.1	MODIFIKACE NA PRINCIPU METODY RAŽÍTEK .....	118
2.4.2.2	M-C GRAFY MODIFIKOVANÉ NA PRINCIPU METODY ZAKÁZANÉHO ŘÁDKU .....	126
2.4.2.3	M-C GRAFY MODIFIKOVANÉ NA PRINCIPU METODY U/I .....	129

# **METODY ANALÝZY NELINEÁRNÍCH OBVODŮ**

<b>3.1</b>	<b>Přehled metod .....</b>	<b>136</b>
<b>3.2</b>	<b>Příklady řešení jednoduchých obvodů .....</b>	<b>137</b>
<b>3.3</b>	<b>Shrnutí a doporučení .....</b>	<b>151</b>

# **POČÍTAČOVÁ ANALÝZA A SIMULACE**

4.1	Úvod.....	154
4.2	Symbolické, semisymbolické a numerické výsledky analýzy lineárních obvodů .....	155
4.3	Symbolické, semisymbolické a numerické algoritmy analýzy lineárních obvodů .....	158
4.4	Struktura analyzačního programu, založeného na symbolických algoritmech (SNAP) .....	160
4.5	Základy práce s programy pro (nejen symbolickou) analýzu obvodů.....	163
4.6	Struktura simulačního programu, založeného na numerických algoritmech (MicroCap) .....	205
4.7	Základy práce s programy pro numerickou analýzu obvodů....	209
4.8	Analýza pomocí numerického simulátoru .....	263
4.9	Problémy při počítačové simulaci a jak se s nimi vypořádat .....	391

# P

## PŘÍLOHY

- P.1 Elektrické obvody  
a jevy v nich ..... 412
- P.2 Přehled nástrojů pro popis  
jevů v lineárních obvodech ..... 428
- P.3 Vybrané principy a postupy  
využívané k analýze obvodů .... 439
- P.4 Přepočty dvojbranových  
parametrů tranzistoru ..... 451
- P.5 Přehled vybraných  
aktivních prvků ..... 453
- P.6 Stručný slovník  
a vybrané vlastnosti  
Laplaceovy transformace ..... 454
- P.7 Vyjadřování čísel  
v SNAPu a MicroCapu ..... 456
- P.8 Prvky knihovny  
programu SNAP 2.6..... 457
- P.9 Seznam elektronických příkladů  
v instalaci programu SNAP ..... 467
- P.10 Vybrané prvky  
programu MicroCap ..... 474
- P.11 Některé konstanty, proměnné  
a funkce programu MicroCap .... 500

2.4.3	Shrnutí a doporučení .....	131
2.5	Maticové nebo grafové metody? .....	132
3	<b>METODY ANALÝZY NELINEÁRNÍCH OBVODŮ</b> .....	<b>135</b>
3.1	Přehled metod .....	136
3.2	Příklady řešení jednoduchých obvodů .....	137
3.2.1	Zjednodušování stejnosměrných charakteristik .....	137
3.2.2	Metoda zatěžovací přímky (křivky) .....	139
3.2.3	Numerické řešení nelineárních rovnic .....	139
3.2.3.1	„RUČNÍ“ ŘEŠENÍ .....	139
3.2.3.2	ALGORITMICKÝ POSTUP PŘI POČÍTAČOVÉ SIMULACI .....	143
3.2.4	Analýza po částech lineárních odporových obvodů s operačními zesilovači .....	146
3.2.5	Přibližná analýza obvodů s diodami a tranzistory .....	148
3.3	Shrnutí a doporučení .....	151
4	<b>POČÍTAČOVÁ ANALÝZA A SIMULACE</b> .....	<b>153</b>
4.1	Úvod .....	154
4.2	Symbolické, semisymbolické a numerické výsledky analýzy lineárních obvodů .....	155
4.3	Symbolické, semisymbolické a numerické algoritmy analýzy lineárních obvodů .....	158
4.4	Struktura simulačního programu, založeného na symbolických algoritmech (SNAP) .....	160
4.5	Základy práce s programy pro (nejen symbolickou) analýzu obvodů .....	163
4.5.1	Úvod .....	163
4.5.2	První praktické kroky k počítačové simulaci v programu SNAP .....	164

4.5.2.1	LEKCE 1 – RYCHLÉ SEZNÁMENÍ SE ZÁKLADNÍMI MOŽNOSTMI PROGRAMU; SOUBOR DEMRC.CIR .....	164
4.5.2.2	LEKCE 2 – REZONANČNÍ OBVOD RLC JAKO PÁSMOVÁ PROPUST, SOUBOR DEMRLC1.CIR .....	171
4.5.2.3	LEKCE 3 – OPERAČNÍ ZESILOVAČ ZAPOJENÝ JAKO SLEDOVAČ NAPĚTÍ – JEDNOPÓLOVÝ MODEL, SOUBOR DEMOPA1.CIR .....	178
4.5.3	Tvorba vlastního zadání .....	183
4.5.3.1	MŮJ PRVNÍ OBVOD VE SNAPU .....	183
4.5.3.2	OBVOD SE SOUČÁSTKAMI, KTERÉ JSOU POPSÁNY NĚKOLIKA PARAMETRY .....	193
4.5.3.3	OBVOD S NĚKOLIKA SOUČÁSTKAMI STEJNÉHO TYPU .....	197
4.5.3.4	VAZBY MEZI PARAMETRY RŮZNÝCH SOUČÁSTEK .....	200
4.5.4	Princip tvorby modelů prvků SNAPu na základě modifikované metody uzlových napětí .....	201
4.5.5	Shrnutí a zobecnění .....	203
4.6	Struktura simulačního programu, založeného na numerických algoritmech (MicroCap) .....	205
4.7	Základy práce s programy pro numerickou analýzu obvodů .....	209
4.7.1	Úvod .....	209
4.7.2	První praktické kroky v programu MicroCap 7 .....	210
4.7.2.1	LEKCE 1 – TOULKY SCHEMATICKÝM EDITOREM .....	210
4.7.2.2	LEKCE 2 – ANALÝZA „TRANSIENT“ .....	215
4.7.2.3	LEKCE 3 – ANALÝZA „DC“ .....	219
4.7.2.4	LEKCE 4 – ANALÝZA „AC“ .....	222
4.7.3	Tvorba vlastního zadání .....	228
4.7.3.1	MŮJ PRVNÍ OBVOD V MICROCAPU .....	228
4.7.3.2	PRÁCE S MODELY SPICE .....	242
4.7.3.3	ZAČLEŇOVÁNÍ MODELŮ PRVKŮ DO VSTUPNÍCH SOUBORŮ .....	252
4.7.3.4	PRÁCE S PŘÍKAZEM .DEFINE A S „FORMULA TEXTEM“ .....	255
4.8	Analýza pomocí numerického simulátoru .....	263
4.8.1	Typy analýz, analyzační módy a režimy .....	263
4.8.2	Co je dobré vědět před zahájením vlastní analýzy .....	265

4.8.2.1	ZÁPIS NAPĚTÍ A PROUDŮ .....	265
4.8.2.2	VÝZNAM SYMBOLŮ <b>V</b> A <b>I</b> V RŮZNÝCH TYPECH ANALÝZ .....	267
4.8.2.3	ZÁPIS ODVOZENÝCH VELIČIN POMOCÍ VZORCŮ .....	268
4.8.2.4	CO MAJÍ VŠECHNY ZÁKLADNÍ ANALÝZY SPOLEČNÉ .....	268
4.8.3	<b>Analýza „Transient“ neboli časová analýza</b> .....	274
4.8.3.1	CÍLE ANALÝZY .....	274
4.8.3.2	„INTELGENTNÍ OSCILOSKOP“ .....	274
4.8.3.3	STAVOVÉ PROMĚNNÉ A POČÁTEČNÍ PODMÍNKY PRO ČASOVOU ANALÝZU .....	277
4.8.3.4	JAK POSTUPUJE SIMULÁTOR PŘI ČASOVÉ ANALÝZE .....	278
4.8.3.5	MENU „TRANSIENT ANALYSIS LIMITS“ .....	281
4.8.3.6	TYPICKÁ NASTAVENÍ ČASOVÉ ANALÝZY PŘI ŘEŠENÍ RŮZNÝCH TYPŮ OBVODŮ .....	281
4.8.3.7	KONKRÉTNÍ PŘÍKLADY ČASOVÉ ANALÝZY .....	282
4.8.3.8	VYUŽÍVÁNÍ PŘÍKAZŮ <b>.IC</b> A <b>.NODESET</b> .....	289
4.8.3.9	FOURIEROVA ANALÝZA .....	292
4.8.4	<b>Analýza „AC“ neboli kmitočtová analýza</b> .....	305
4.8.4.1	CÍLE ANALÝZY .....	305
4.8.4.2	„INTELGENTNÍ OBVODOVÝ ANALYZÁTOR“ .....	305
4.8.4.3	JAK POSTUPUJE SIMULÁTOR PŘI KMITOČTOVÉ ANALÝZE .....	306
4.8.4.4	ATRIBUTY SOUČÁSTEK PŘI KMITOČTOVÉ ANALÝZE .....	308
4.8.4.5	MENU „FREQUENCY ANALYSIS LIMITS“ .....	309
4.8.4.6	ZÁSADY PRO PRÁCI S PROMĚNNÝMI U ANALÝZY „AC“ .....	311
4.8.4.7	KONKRÉTNÍ PŘÍKLADY KMITOČTOVÉ ANALÝZY .....	312
4.8.4.8	ŠUMOVÁ ANALÝZA .....	314
4.8.4.9	INVERZNÍ FOURIEROVA TRANSFORMACE .....	322
4.8.5	<b>Analýza „DC“ neboli stejnosměrná analýza</b> .....	327
4.8.5.1	CÍLE ANALÝZY .....	327
4.8.5.2	„INTELGENTNÍ CHARAKTEROGRAF“ .....	328
4.8.5.3	JAK POSTUPUJE SIMULÁTOR PŘI STEJNOSMĚRNÉ ANALÝZE .....	329
4.8.5.4	ATRIBUTY SOUČÁSTEK PŘI STEJNOSMĚRNÉ ANALÝZE .....	330
4.8.5.5	MENU „DC ANALYSIS LIMITS“ .....	331
4.8.5.6	PŘÍKLADY STEJNOSMĚRNÉ ANALÝZY .....	332
4.8.6	<b>Rozšiřující typy analýz</b> .....	337
4.8.6.1	DYNAMICKÁ STEJNOSMĚRNÁ ANALÝZA („DYNAMIC DC“) .....	337



4.8.6.2	PŘENOSOVÁ FUNKCE („TRANSFER FUNCTION“)	339
4.8.6.3	CITLIVOSTNÍ ANALÝZA („SENSITIVITY“)	342
4.8.7	Analyzační režimy	346
4.8.7.1	KROKOVÁNÍ („STEPPING“)	346
4.8.7.2	TEPLOTNÍ ANALÝZA	349
4.8.7.3	VYHODNOCOVAČÍ ANALÝZA („PERFORMANCE ANALYSIS“)	353
4.8.7.4	STATISTICKÁ ANALÝZA („MONTE CARLO“)	365
4.8.7.5	OPTIMALIZACE („OPTIMIZATION“)	378
4.8.7.6	VEŘEJNÉ A PRIVÁTNÍ KNIHOVNY MODELŮ A JEJICH ÚLOHA V ANALYZAČNÍCH REŽIMECH	385
4.8.8	Další speciální funkce simulátoru	387
4.8.8.1	MOŽNOSTI DETAILNÍHO SLEDOVÁNÍ PROMĚNNÝCH A TRASOVÁNÍ BĚHEM ANALÝZY	387
4.8.8.2	DALŠÍ UŽITEČNÉ FUNKCE	390
4.9	<b>Problémy při počítačové simulaci a jak se s nimi vypořádat</b>	<b>391</b>
4.9.1	Vybrané problémy při simulaci a jejich příčiny	391
4.9.2	Problémy s konvergencí vnitřních algoritmů a cesty k jejich řešení	395
4.9.2.1	„GLOBAL SETTINGS“ (GLOBÁLNÍ NASTAVENÍ SIMULÁTORU)	395
4.9.2.2	MOŽNÉ PŘÍSTUPY K ŘEŠENÍ PROBLÉMŮ S KONVERGENCÍ	398
4.9.2.3	PŘÍKLAD ANALÝZY TRANZISTOROVÉHO BISTABILNÍHO KLOPNÉHO OBVODU	401
4.9.2.4	PŘÍKLAD ANALÝZY OBVODU S NESNADNO ZJISTITELNÝM PRACOVNÍM BODEM	404
5	<b>MÍSTO ZÁVĚRU</b>	<b>409</b>
6	<b>PŘÍLOHY</b>	<b>411</b>
P1	<b>Elektrické obvody a jevy v nich</b>	<b>412</b>
P1.1	Klasifikace elektrických obvodů	412
P1.2	Stavy a jevy v obvodech	414
P1.3	Stavy a děje podrobněji	415
P1.4	Malosignálové linearizované modely nelineárních obvodů	421

P1.5	Vybrané charakteristiky obvodů .....	423
<b>P2</b>	<b>Přehled nástrojů pro popis jevů v lineárních obvodech .....</b>	<b>428</b>
P2.1	Charakteristika používaných metod popisu .....	428
P2.2	Operátorový popis obvodů .....	433
P2.2.1	METODA OPERÁTOROVÝCH SCHÉMÁT .....	433
P2.2.2	METODA LAPLACEOVY TRANSFORMACE A PŘENOSOVÉ FUNKCE .....	436
P2.2.3	CO VŠECHNO SE DÁ URČIT Z OPERÁTOROVÉ PŘENOSOVÉ FUNKCE .....	437
<b>P3</b>	<b>Vybrané principy a postupy využívané k analýze obvodů .....</b>	<b>439</b>
P3.1	Zákon, princip, metoda .....	439
P3.2	Princip superpozice a metoda superpozice .....	440
P3.3	Princip ekvivalence a jeho konkrétní varianty a aplikace .....	441
P3.3.1	PRINCIP EKVIVALENCE .....	441
P3.3.2	PRINCIP KOMPENZACE (SUBSTITUCE) .....	442
P3.3.3	PRINCIP NÁHRADNÍHO ZDROJE (THÉVENINŮV – NORTONŮV TEORÉM) .....	443
P3.3.4	METODA EKVIVALENCE NAPĚŤOVÝCH A PROUDOVÝCH ZDROJŮ .....	448
P3.3.5	TRANSFIGURACE HVĚZDA – TROJÚHELNÍK .....	449
<b>P4</b>	<b>Přepočty dvojbranových parametrů tranzistoru .....</b>	<b>451</b>
<b>P5</b>	<b>Přehled vybraných aktivních prvků .....</b>	<b>453</b>
<b>P6</b>	<b>Stručný slovník a vybrané vlastnosti Laplaceovy transformace .....</b>	<b>454</b>
<b>P7</b>	<b>Vyjadřování čísel v programech SNAP a MicroCap .....</b>	<b>456</b>
<b>P8</b>	<b>Prvky z knihovny programu SNAP 2.6. ....</b>	<b>457</b>
<b>P9</b>	<b>Seznam elektronických příkladů v instalaci programu SNAP .....</b>	<b>467</b>
<b>P10</b>	<b>Vybrané prvky programu MicroCap .....</b>	<b>474</b>

<b>P10.1</b>	<b>Napájecí a signálové zdroje, zdroje pro transformaci signálů .....</b>	<b>474</b>
P10.1.1	GENERÁTORY SIGNÁLŮ .....	474
P10.1.2	OBVODY PRO TRANSFORMACI SIGNÁLŮ .....	479
P10.1.3	VÝZNAM ATRIBUTŮ ZDROJŮ V RŮZNÝCH TYPECH ANALÝZ .....	483
<b>P10.2</b>	<b>Pasivní prvky typu R, C a L, obvody s magnetickými vazbami a transformátory .....</b>	<b>484</b>
P10.2.1	REZISTORY .....	484
P10.2.2	KAPACITORY .....	485
P10.2.3	INDUKTORY .....	486
P10.2.4	TRANSFORMÁTORY .....	489
<b>P10.3</b>	<b>Polovodičové a aktivní prvky .....</b>	<b>490</b>
P10.3.1	DIODY .....	490
P10.3.2	TRANZISTORY .....	493
P10.3.3	OPERAČNÍ ZESILOVAČE .....	496
P10.4	Jiné prvky .....	500
<b>P11</b>	<b>Některé konstanty, proměnné a funkce programu MicroCap .....</b>	<b>500</b>
P11.1	Některé konstanty a systémové proměnné MicroCapu .....	500
P11.2	Některé funkce MicroCapu .....	501
	<b>LITERATURA A ODKAZY .....</b>	<b>504</b>
	<b>REJSTRÍK .....</b>	<b>510</b>

# **ANALÝZA ELEKTRICKÝCH OBVODŮ**

<b>1.1</b>	<b>Modelování, analýza, simulace .....</b>	<b>16</b>
<b>1.2</b>	<b>Metody analýzy heuristické a algoritmické .....</b>	<b>18</b>
<b>1.3</b>	<b>Metody analýzy podle charakteru modelu .....</b>	<b>19</b>
<b>1.4</b>	<b>Nejčastější cíle a postupy analýzy .....</b>	<b>22</b>

# **METODY ANALÝZY LINEÁRNÍCH OBVODŮ**

<b>2.1</b>	<b>Přehled heuristických a algoritmických metod .....</b>	<b>26</b>
<b>2.2</b>	<b>Příklady na heuristické postupy .....</b>	<b>28</b>
<b>2.3</b>	<b>Maticové algoritmické metody se zaměřením na MMUN .....</b>	<b>60</b>
<b>2.4</b>	<b>Grafové algoritmické metody se zaměřením na M-C grafy .....</b>	<b>105</b>
<b>2.5</b>	<b>Maticové nebo grafové metody? .....</b>	<b>132</b>