

Elektronické obvody – analýza a simulace

Jiří Hospodka

katedra Teorie obvodů, 804/B3
ČVUT FEL

4. října 2006

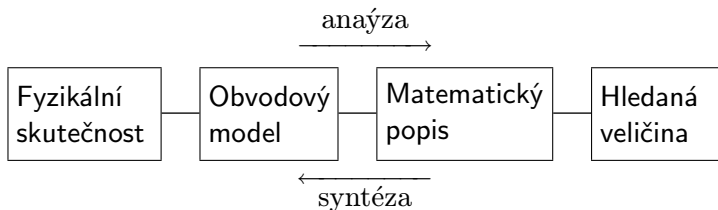
- Zaměření předmětu
- www stránka předmětu – <http://hippo.feld.cvut.cz/vyuka/elo>
- Rozdělení látky přednášek a cvičení
- Podmínky zápočtu

- 1 Úvod, Základní třídění elektronických obvodů.
- 2 Modelování základních elektronických prvků a jejich linearizace.
- 3 Modifikovaná metoda uzlových napětí.
- 4 Odezva lineárního systému na harmonický signál (vztah mezi LT a FT).
- 5 Kmitočtové vlastnosti lineárních obvodů (póly a nuly přenosových funkcí).
- 6 Zpětná vazba a její vliv na vlastnosti obvodových soustav.
- 7 Exkurse ve firmě ST Microelectronic.

- 1 Programy pro počítačové řešení elektronických obvodů.
- 2 Analýza vlastností linearizovaných zesilovacích stupňů – odporové modely,
- 3 dokončení, základní kmitočtové vlastnosti.
- 4 Řešení složitějších obvodů – darlingtonovo zapojení, kaskoda,
- 5 pokračování – diferenční stupeň, koncový stupeň,
- 6 dokončení – proudová zrcadla.
- 7 Analýza vícestupňového (operačního) zesilovače dělení řetězce.
- 8 Analýza jednoduchého systému se zápornou zpětnou vazbou.
- 9 Vliv ZZV na stabilitu zesílení.
- 10 Vliv záporné zpětné vazby na kmitočtové vlastnosti lineárního obvodu.
- 11 Stabilita zpětnovazebních soustav, kmitočtová kompenzace.
- 12 Analýza oscilátoru.
- 13 Exkurse ve firmě ST Microelectronic.
- 14 Odevzdání semestrálních prací, zápočty.

- Základy – G. Kirchhoff, r. 1845 1. a 2. K. zákon jako student při řešení seminární úlohy prof. F. Neumanna.
- Vytvořil topologické základy TO.
- Formulace Maxwellových rovnic elektrodynamiky až v r. 1873.

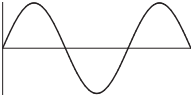

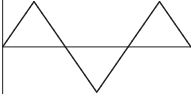
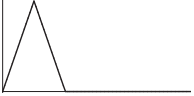
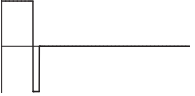
Modely elektrických obvodů



Klasifikace obvodových modelů podle rychlosti a velikosti změn obvodových veličin

změny		pomalé	rychlé	velmi rychlé
	modely	odporové	s akumulačními prvky	s rozprostřenými parametry
malé	lineární	lin. alg. rovnice s konst. koeficienty	obyčejné lin. dif. rovnice s konst. koef.	parciální lin. dif. rovnice s konst. koeficienty
velké	nelineární	nelineární alg. rovnice	obyč. nelin. dif. rovnice	parciální nelin. dif. rovnice
malé i velké	parametrické	lin. alg. rovnice s časově proměnnými koeficienty	lin. obyč. dif. rovnice s časově proměnnými koef.	lin. parc. dif. rovnice s časově proměnnými koef.

Klasifikace časových průběhů obvodových veličin

signál	spojitý	nespojité
periodický	harmonický 	
	obecný 	
neperiodický		

Prvky modelů elektrických obvodů se soustředěnými parametry

prvek	lineární	nelineární
rezistor	$u = Ri$	$u = f(i)$
řízený rezistor	$u = R(\theta)i$	$u = f(i, \theta)$
nezávislý napěťový zdroj	u	—
nezávislý proudový zdroj	i	—
řízený napěťový zdroj	$u = k\theta$	$u = f(\theta)$
řízený proudový zdroj	$i = k\theta$	$i = f(\theta)$
kapacitor	$i = C \frac{du}{dt}$	$i = C(u) \frac{du}{dt}, (q = f(u))$
induktor	$u = L \frac{di}{dt}$	$u = L(i) \frac{di}{dt}, (\varphi = f(i))$

Specializované programy pro numerickou analýzu elektrických a elektronických obvodů.

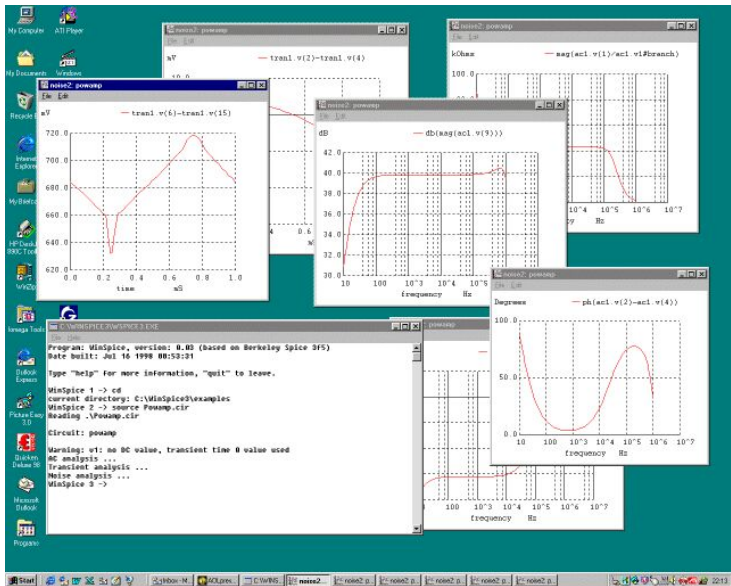
Jsou výhodné pro řešení rozsáhlých obvodů, zejména pak nelineárních obvodů, včetně možnosti linearizace.

- Spice <http://bwrc.eecs.berkeley.edu/Classes/IcBook/SPICE>
- WinSpice <http://www.winspice.com>
- Orcad <http://www.orcad.com>
- Microcap <http://www.spectrum-soft.com>
- Electronic Workbench <http://www.l.com>
- SwitcherCAD <http://www.linear.com>
- SNAP <http://snap.webpark.cz>
- Stránky pro analýzu <http://obvody.feld.cvut.cz/analyza>

SPICE – Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis byl vyvinut na univerzitě v Berkley v roce 1972. Postupně vznikaly různé verze těchto algoritmů, přičemž v současnosti se nejvíce využívá verze SPICE 3F5.

Winspice – jednou z verzí originálního simulačního programu SPICE 3F5. Obsluha odpovídá konzolovému režimu operačního systému Unix. Simulační možnosti (velikost obvodu) tohoto programu nejsou omezené. Vstupem programu je popis obvodu v textovém formátu, tzv. netlist, kde mohou být i přesně specifikovány požadované analýzy a forma výsledků. Výstupem pak mohou být výsledky ve formě tabulek a grafů požadovaných závislostí.

Winspice



Micro-Cap 8.0.8.1 Evaluation Version - [C:\MC8DEMO\DATA\COLPITTS.cir]

File Edit Component Windows Options Analysis Design Model Help

P G

COLPITTS.CIR

This circuit implements a Colpitts oscillator. Run transient analysis for the simulation. Note that in the transient analysis limits the operating point option is disabled. This is often desired when analyzing an oscillator or integrator as the simulator may not be able to converge on a stable operating point for them.

V1 10

C2 10NF

L1 1UH

Q4

C1 10NF

R1 1K

Page 1 | Text | Models | Info |

Select Mode

Programy pro numerické a symbolické výpočty, včetně a grafického zobrazení.

- Maple, koncipovaný v r. 1980 na fakultě Computer Science, university Waterloo, 1. verze r. 1981, v r. 1988 založena společnost Waterloo Maple Software, aktuální verze 9.5, <http://www.maplesoft.com>
- Mathematica, od r. 1979 vyvíjen předchůdce (komerčně od r. 1981), Matematika od r. 1986, aktuální verze 5.1, <http://www.wolfram.com>
- MATLAB, od r. 1984, aktuální verze 7 SP1 Release 14
<http://www.mathworks.com>
- Mathcad od r. cca 1984, aktuální verze 12, <http://www.mathcad.com>
- Derive, od r. 1989 (Soft Warehouse, Hawaii), aktuální verze 6,
<http://www.derive-europe.com>

Maple Classic Worksheet

Maple 9.5 - [maple1.mws - [Server 1]]

File Edit View Insert Format Spreadsheet Window Help

Výpočet integrálu s obecně zadanými mezemi.

```
> int(1/x, x=a..2);
```

$$\int_a^2 \frac{1}{x} dx$$

Jeho řešení pro všechny případy.

```
> vysledek:=-int(1/x, x=a..2, 'AllSolutions');
```

$$\text{vysledek} = \begin{cases} \text{undefined} & a < 0 \\ \infty & a = 0 \\ -\ln(a) + \ln(2) & 0 < a \end{cases}$$

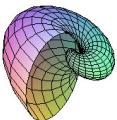
Řešení integrálu $\int_a^2 \frac{1}{x} dx$ pro předpoklad $0 < a$.

```
> vysledek assuming a > 0;
```

$$-\ln(a) + \ln(2)$$

Sekce pro 3D plot

```
> plot3d((1.3)^x * sin(y), x=-1..2*Pi, y=0..Pi, coords=spherical, style=patch);
```



α	β	γ	δ	ε	ζ	η	θ	ι	κ	λ	μ
ν	ξ	ο	π	ρ	σ	τ	υ	φ	χ	ψ	ω
Α	Β	Γ	Δ	Ε	Ζ	Η	Θ	Ι	Κ	Λ	Μ
Ν	Ξ	Ο	Π	Ρ	Σ	Τ	Υ	Φ	Χ	Ψ	Ω
e	∞	π	i								

\int^x	\int_a^x	$\frac{d}{dx}$	$\frac{d}{dx} x$	$\frac{d}{dx} a$	$\lim_{x \rightarrow a}$
a+b	a-b	a*x	a/b	a=b	a~b
a^b	a_b	\sqrt{a}	$\sqrt[n]{a}$	a	a
e^a	ln	log	sin	cos	tan

..
...
....

..
...
....

Time: 0.1s Bytes: 256K Available: 216M

Maple Standard Worksheet

Maple 9.5 - D:\h\VYUKA\pro\maple1.mws - [Server 1]

File Edit View Insert Formát Tools Window Help

Normal Times New Roman 12 B I U

Expression

Symbol

Matrix

Vector

$\int_a^b f(x) dx$ $\frac{d}{dx} f(x)$ $\frac{\partial}{\partial x} f(x,y)$

$\frac{d}{dx} f(x)$ $\frac{\partial}{\partial x} f(x,y)$ $\lim_{x \rightarrow \infty} f(x)$

$a+b$ $a-b$ $a*b$

a/b $a \cdot b$ $a \div b$

a^b $a^{1/2}$ \sqrt{a}

$\sqrt[n]{a}$ $a!$ $|a|$

e^a $\ln a$ $\log a$

$\sin a$ $\cos a$ $\tan a$

Výpočet integrálu s obecní zadanými mezemi.

```
> int(1/x, x=a..2);
```

$$\int_a^2 \frac{1}{x} dx$$

Jeho řešení pro všechny případy.

```
> vysledek:=int(1/x, x=a..2, 'AllSolutions');
```

$$\text{vysledek} = \begin{cases} \text{undefined} & a < 0 \\ \infty & a = 0 \\ -\ln(a) + \ln(2) & 0 < a \end{cases}$$

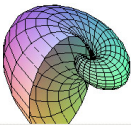
Řešení integrálu $\int_a^2 \frac{1}{x} dx$ pro předpoklad $0 < a$.

```
> vysledek assuming a > 0;
```

$$-\ln(a) + \ln(2)$$

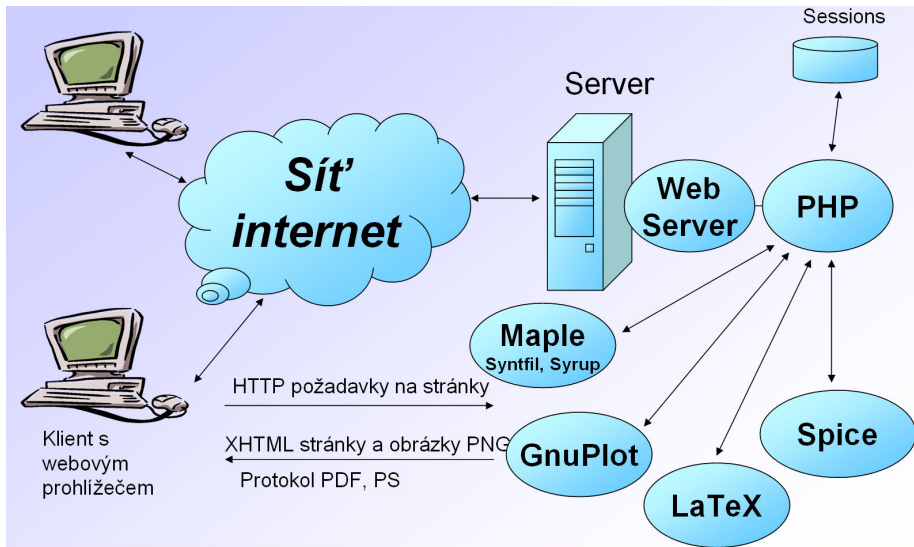
Secke pro 3D plot

```
> plot3d((1.3)^x * sin(y), x=-1..2*Pi, y=0..Pi, coords=spherical, style=patch);
```



Ready Time: 0.18s Memory: 0.24M

Aplikace www pro analýzu obvodů – princip činnosti



Další užitečné odkazy

-  [1] Sedra, A. S., Smith, K. C.: Microelectronic Circuits, Oxford University Press, Inc., 1998.
-  [2] Neamen, D. A.: Electronics Circuit Analysis and Design, Times Mirror Higher Education Group, Inc., 1996.
-  [1] Maple 9.5 Getting Started Guide
-  [2] CzMUG - Czech Maple Users Group
-  [3] Softwarové multilicence na ČVUT
-  [4] Pravidla používání sítě ČVUT

Další odkazy též na [hlavní stránce předmětu](#).

Analýza elektrických obvodů



<https://obvody.feld.cvut.cz/analýza/>

Děkuji za pozornost !