

# SLABOPROUDÝ OBZOR

2003

Ročník 60

Číslo 1

ISSN 0037-668X

## OBSAH

Mihalík J.:

Štandardný videokodek H.263 a jeho porovnanie s H.261 ..... 1 - 5

Levický D., Foriš P.:

Útoky na vodoznaky vo fraktálovom kódovaní statických obrazov ..... 6 - 9

Tomek G.:

Efektivní standardizace ..... 10 - 14

Vacek P.:

Paketové přenosy v mobilních sítích GSM ..... 15 - 20

*Referát*

Kramský R.:

Družicový segment UMTS ..... 21 - 24

*PŘÍLOHA (NEJEN) PRO MLADÉ INŽENÝRY*

Biolek D.:

Počítačová analýza a simulace - část 1 ..... P1 - P11

Recenze knih ..... P12



# SLABOPROUDÝ OBZOR

---

## REDAKČNÍ RADA

**Vedoucí redakční rady:** Doc. Ing. Václav Žalud, CSc.

**Členové:** Prof. Ing. Vladimír Kučera, DrSc., Prof. Ing. František Vejražka, CSc., Prof. Ing. Dalibor Biolek, CSc.,  
Prof. Ing. Vladimír V. Šebesta, CSc., Prof. Ing. Peter Farkaš, DrSc., Prof. Ing. Dušan Levický, CSc.,  
Prof. Ing. Pavel Ripka, CSc., Doc. Ing. Jiří Masopust, CSc., Doc. Ing. Josef Dobeš, CSc.,  
Doc. Ing. Karel Zaplatílek, Ph.D., Ing. Jan Šimša, CSc., Ing. Miloslav Šplíchal

**Čestný člen:** Prof. Ing. Josef Čajka, DrSc., Dr.h.c. Prof. Ing. Ján Chmúrny, DrSc.

**Příprava Přílohy (nejen) pro mladé inženýry:** Doc. Ing. Karel Zaplatílek, Ph.D., Ing. Miloslav Šplíchal

---

## CONTENT

Mihalík J.: <b>Standard videocodec H.263 and its comparison to H.261</b> .....	1 - 5	<i>Vážení čtenáři,  držíte v ruce další číslo časopisu Slaboproudý obzor. To je důkazem překonání všech problémů, které vznikly v posledních dvou letech.</i>
Levický D., Foriš P.: <b>Attacks on watermarks in fractal image coding</b> .....	6 - 9	<i>Nadále bude časopis vycházet čtyřikrát ročně a ve stejném rozsahu. Rubriky, které jsme zařadili do časopisu chceme zachovat a v případě zájmu i rozšířit.</i>
Tomek G.: <b>Effective standardization</b> .....	10 - 14	<i>Jistě jste si všimli jistých změn v grafické úpravě časopisu. Časopis je připravován autory článků a redakcí časopisu v MS WORDu a dalších programových aplikacích, které jsou běžně dostupné. Touto podstatnou změnou se krátí doba mezi dodáním článků a vytištěním časopisu.</i>
Vacek P.: <b>General Packet Radio Service</b> .....	15 - 20	
A Supplement for New Engineers Biolek D.: <b>Computer analysis and simulation – part 1</b> ...	P1 - P11	<i>Redakce a redakční rada doufají, že předešlé problémy a zavedené změny neovlivní váš zájem o časopis.</i>

*Redakce časopisu*

---

Vydává Československá sekce **The Institute of Electrical and Electronics Engineers**, Technická 2, 166 27 Praha 6, IČO 48134228 za podpory Fakulty elektrotechnické ČVUT, Technická 2, 166 27 Praha 6 ♦ Tisk: KODEX, Praha ♦ Redakce: Československá sekce IEEE, redakce časopisu Slaboproudý obzor, Fakulta elektrotechnická ČVUT, Technická 2, 166 27 Praha 6, tel. +420 224 352 204, fax +420 224 311 081, e-mail: slabobzor@ieeee.cz ♦ Výkonný redaktor: Ing. Miloslav Šplíchal ♦ Vychází čtvrtletně. ♦ Přiděleno evidenční číslo MK ČR E11193 ♦ Inzerce přijímá redakce. ♦ Informace o předplatném podají distributoři časopisu a redakce.

**Česká republika:** Předplatné zajišťuje redakce. ♦ Distribuci zajišťuje A.L.L. production spol. s.r.o., Poděbradská 24, 190 00 Praha 9 ♦ Cena jednoho výtisku je 45 Kč. ♦ Roční předplatné je 180 Kč. ♦ Zvýhodněné roční předplatné pro členy Československé sekce IEEE je 160 Kč.

**Slovenská republika:** Předplatné a distribuci zajišťuje Magnet-Press Slovakia, s.r.o., Teslova 12, P.O. BOX 169, 830 00 Bratislava va 3, tel./fax: +421-2-44454628 – sekretariát, tel./fax: +421-2-44454559, 44450697 – předplatné, e-mail: magnet@press.sk. ♦ Cena jednoho výtisku je 65 Sk. ♦ Roční předplatné je 260 Sk. ♦ Zvýhodněné roční předplatné pro členy Československé sekce IEEE je 230 Sk.

Dáno do tisku dne 15. 11. 2004, distribuce zahájena dne 22. 11. 2004

# ŠTANDARDNÝ VIDEOKODEK H.263 A JEHO POROVNANIE S H.261

Ján Mihalík

Laboratórium číslicového spracovania obrazov a videokomunikácií  
Katedra elektroniky a multimediálnych telekomunikácií, Technická univerzita v Košiciach

## Abstrakt

Článok uvádza medzinárodný štandardný videokodek H.263 pre videokomunikácie v prostredí konvenčných telefónnych, ale aj mobilných sietí. Analyzuje jeho vlastnosti a algoritmy zdrojového aj entropického kódovania videosi- gnálov. Zároveň ich porovnáva s obdobnými vlastnosťami ako aj algorit- mami štandardného videokodeka H.261 pre videokomunikácie v prostredí ISDN sietí.

Kľúčová slova: videokodek, videoformát, videokomunikácie, zdrojový kodér, entropický kodér.

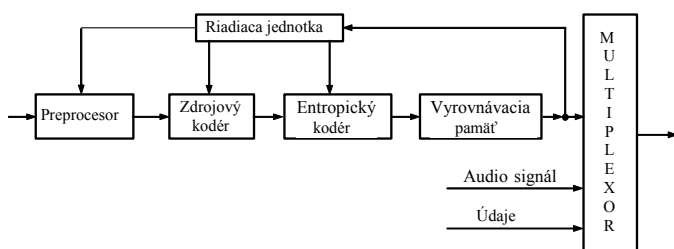
## Abstract

The paper presents the international standard videocodec H.263 for video- communications in public switched telephone and mobile networks. Next it analyses its properties and algorithms of source and entropy coding of video- signals. Finally they are compared to those ones of the standard videocodec H.261 for videocommunications in ISDN networks.

Keywords: videocodec, videoformat, videocommunications, source coder, entropy coder

## 1. Úvod

Štandardný videokodek H.261 [1,2] so širokým svetovým použitím a možnými bitovými rýchlosťami  $p \times 64$  kbit/s,  $p = 1,2, \dots, 30$  bol ustanovený na poli ITU-T (CCITT) za účelom roz- voja videotelefónie a videokonferencií v prostredí ISDN sietí so základným kanálom 64kbit/s. Bitové rýchlosti pre  $p=1,2$  zodpovedajú videotelefónnym a pre  $p>2$  videokonferenčným aplikáciám, pričom maximálna bitová rýchlosť  $30 \times 64 = 2048$  kbit/s zodpovedá 1. rádu v hierarchii číslicových prenosových systémov. Tento videokodek má tiež umožniť uvedené druhy videokomunikácií medzi regiónmi s rôznymi TV normami (625/50-Európa, 525/60 - USA, Japonsko). Zatiaľ čo videoko- dek H.261 bol vyvinutý pre videokomunikácie v prostredí ISDN sietí, tak štandardný videokodek H.263 (1. verzia) [3,4] je jeho vylepšením a je určený pre videokomunikácie najmä v prostredí konvenčných telefónnych, ale aj mobilných sietí. Vzhľadom na to dosahuje vyššiu kompresiu údajov, ktorá umožňuje túto videokomunikáciu s bitovou rýchlosťou 28,8 kbit/s, ktorá je charakteristická pre modemy a tiež s bitovými rýchlosťami menšími až do 8 kbit/s. Základná bloková schéma videokodeka H.261 a H.263 je na obr.1.



Obr.1. Bloková schéma štandardných videokodekov.

*Preprocesor* konvertuje vstupný signál prispôsobený k regionálnej TV norme na prípustný videoformát. Potláča šum obsiahnutý v tomto vstupnom analógovom signáli pomocou priestorovej alebo časovej filtrácie

*Zdrojový kodér* potláča redundantnú informáciu vo vstup- nom videosi- gnáli a zostávajúcu časť tohto signálu kóduje efektívnym algoritmom pri prijateľnom skreslení

*Entropický kodér* kóduje rôzne atribúty videa a vlastné údaje zo zdrojového kodéra pomocou kódovania s premenli- vou dĺžkou kódového slova a multiplexujúci ich do bitového toku s definovaným syntaxom.

*Vyrovňavacia pamäť* vyrovnáva bitovú rýchlosť v súčinnosti s riadiacou jednotkou, pomocou ktorej sa presta- vujú parametre preprocesora, zdrojového a entropického ko- déra.

*Multiplexor* multiplexuje kódovaný videosi- gnál a audiosi- gnál so synchronizačnými, signalizačnými a riadiacimi údajmi.

## 2. Videoformáty a ich hierarchické rozdelenie

Dostávame ich na výstupe preprocesora za účelom vylúče- nia rozdielu v TV normách. Regionálne štandardné videosi- gnály sú konvertované do jedného z týchto videoformátov predtým, než postupujú do zdrojového kodéra, takže dekodér nemusí rozlišovať v ktorom regióne kodér na druhom konci sa nachádza. Základným videoformátom je videoformát CIF (Common Intermediate Format), ktorý umožňuje priamu vi- deokomunikáciu medzi regiónmi s rôznymi TV normami. Pre videotelefónne aplikácie v H.261 je prípustný tiež videoformát 1/4 z CIF, t.j. QCIF (Quarter CIF).

*Parametre CIF videoformátu:*

Raster jasovej zložky Y: 288x352 op

Raster farebných zložiek B - Y a R - Y: 144x176 op

Počet bitov na op: 8 bit

Snímková frekvencia:  $\leq 30$  Hz

Neprekladané riadkovanie

Diskrétna ortogónna mriežka

Hierarchické rozdelenie CIF a QCIF videoformátov v štan- dardnom videokodeku H.261 je znázornené na obr.2. V ňom rozlišujeme  $6 \times 2 = 12$  skupín makroblokov pre CIF a  $3 \times 1$  pre QCIF. Potom každá skupina obsahuje  $3 \times 11 = 33$  makroblokov. Jednotlivé makrobloky pozostávajú zo štyroch jasových a dvoch farebných blokov, pričom tieto bloky obsahujú  $8 \times 8$  ob- razových prvkov (op). Vnútorňa štruktúra makrobloku s roz- ložením jasových a farebných op je znázornená na obr.3

z ktorého je vidno, že medzi štyrmi jasovými op je jeden farebný op.

CIF = 6 x 2 skupín makroblokov

1	2
3	4
5	6
7	8
9	10
11	12

QCIF = 3 x 1 skupín makroblokov

1
3
5

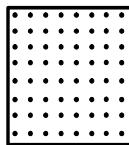
Skupina makroblokov = 3 x 11 makroblokov

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33

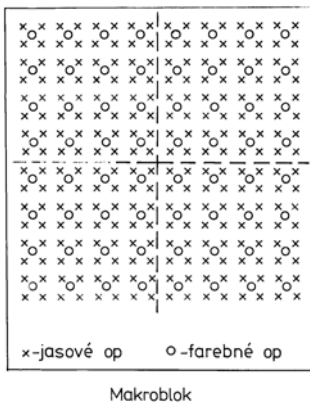
Makroblok = 6 blokov

1	2	5
3	4	6

Blok = 8 x 8



Obr.2. Hierarchické rozdelenie videoformátu CIF a QCIF.

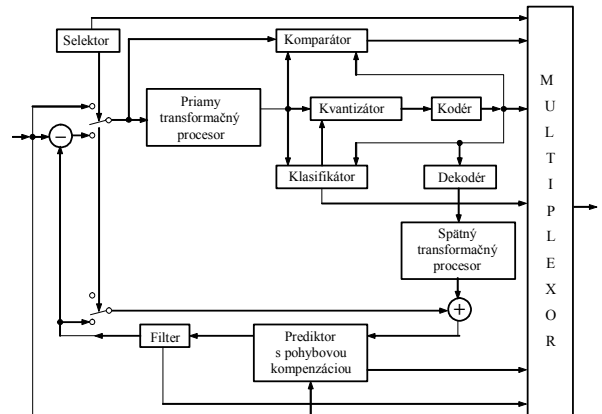


Obr.3. Vnútna štruktúra makrobloku.

Videokodek H.263 umožňuje väčší počet videoformátov v porovnaní s H.261. Okrem videoformátov QCIF a CIF sú v ňom prípustné aj sub-QCIF (128 x 96 op), 4CIF (704 x 586 op) a 16CIF (1408 x 1152 op) videoformáty, pričom tak ako v H.261 počet farebných op je vždy polovičný ako počet jasových op. Na 2 x 2 jasové op pripadá jeden modrý a červený op, čo vedie k videoformátom 4:2:0. Hierarchické rozdelenie videoformátov je rovnaké ako v H.261 s tým rozdielom, že skupina makroblokov pozostáva len z jedného makroblokového riadka, t.j. z 11 makroblokov pre videoformáty sub-QCIF, QCIF, a CIF, zatiaľ čo pre videoformáty 4CIF a 16CIF obsahuje 2 takéto riadky t.j. 2 x 11 makroblokov.

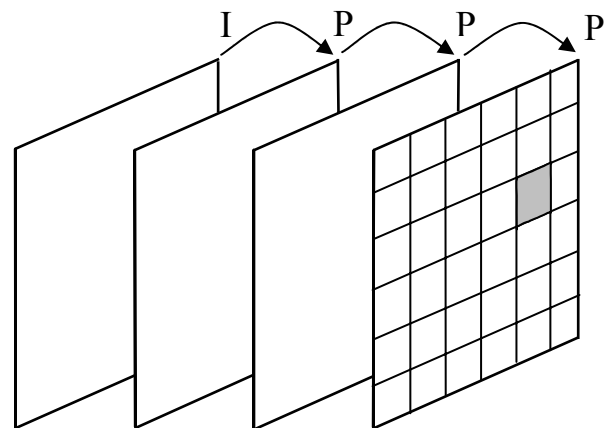
### 3. Zdrojový kodér štandardného videokodeka H.261

Vo všeobecnosti zodpovedá medzislúmkovému hybridnému kódovaciemu systému [5] s diskretnou kosínusovou transformáciou (DCT) a medzislúmkovou predikciou s pohybovou kompenzáciou. Pritom umožňuje aj režim vnútroslúmkového transformačného kódovania s DCT a podmieneného dopĺňovania makroblokov v závislosti od rýchlosti pohybu v tomto mieste snímky videosignálu. Medzislúmková predikcia sa vykonáva v obrazovom priestore a potom chybový (diferenčný) videosignál je kódovaný pomocou vnútroslúmkového adaptívneho transformačného kódovania [6] s klasifikáciou procesu kvantovania ako to vidno z obr.4. Prvá snímka (I)



Obr.4. Bloková schéma zdrojového kodéra.

stupnej videosekvencie na obr.5 bude kódovaná pomocou vnútroslúmkového transformačného kódovania a nasledujúce snímky (P) pomocou medzislúmkového hybridného kódovania

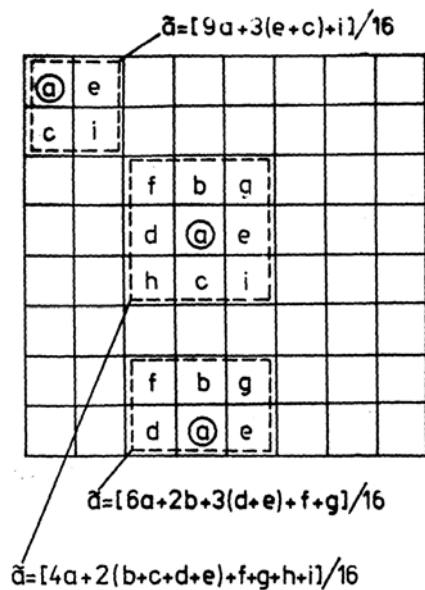


Obr.5. Štruktúra vstupnej videosekvencie.

o čom rozhodne selektor. Ak pohyb niektorých makroblokov v snímkach P je veľmi malý tieto nemusia byť kódované o čom dáva informáciu komparátor a v dekodéri sú jednoducho obnovené pomocou týchto makroblokov z predchádzajúcej dekodovanej snímky. Takto možno dosiahnuť veľmi nízku bitovú rýchlosť na výstupe zdrojového kodéra. Priamy a spätný transformačný procesor používa 2RDCT s blokom 8x8 z čoho vyplýva, že transformácia jedného makrobloku sa vykoná pomo-

cou 2RDCT štyroch jasových a dvoch farebných (chrominancných) blokov. Klasifikátor určuje kvantizačný krok pre lineárne skalárne kvantovanie [7] spektrálnych koeficientov transformovaného makrobloku vzhľadom na požadovanú kvalitu jeho kódovania, ale aj prípustnú bitovú rýchlosť. Prediktor s pohybovou kompenzáciou využíva jeden estimovaný vektor pohybu pre príslušný makroblok napr. určený metódou makroblokového prispôsobovania [8].

Filter s oknom 3x3 a popísaný rovnicami na obr.6 je aplikovaný na bloky 8x8 op príslušného predikčných snímok z výstupu prediktora za účelom jeho vyhladenia čím možno zvýšiť presnosť medzisnímkovvej predikcie aj pomer S/Š dekódovaného obrazu o 0,01 až 1 dB. O zaradení alebo nezaradení tohto filtra na výstup prediktora sa vysielala do dekódovacieho systému prídavná informácia.



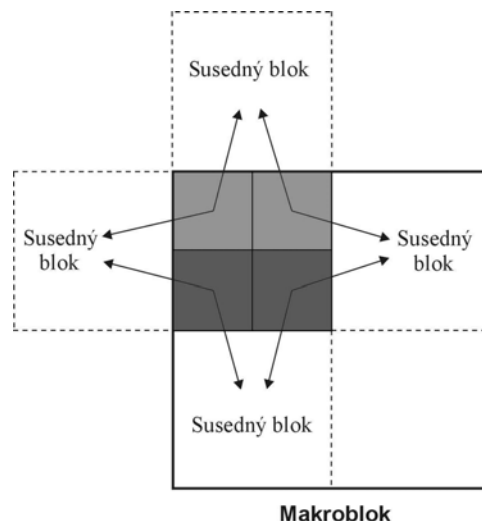
Obr.6. Algoritmy filtrácie bloku op predikčnej snímky z výstupu prediktora.

#### 4. Zdrojový kodér štandardného videokodeka H.263

Vyššia kompresia vo videokodeku H.263 vyplýva z presnejších metód estimácie pohybu [9] v jeho zdrojovom kodéri, ktorého bloková schéma je analogická s tou na obr.4 pre H.261. Tiež z lepšieho entropického kódovania ako aj zo zavedenia snímok PB v organizácii videosekvencie, ktoré korešpondujú so snímkami P a B vo videokodekoch MPEG [10]. Presnejšia estimácia pohybu makrobloku sa dosahuje pomocou jeho prispôsobovania v predchádzajúcej snímke s polprvkovou presnosťou v rozsahu -16 až 15,5 op. Pri tejto metóde estimácie pohybu vzniká veľká predikčná chyba, najmä pri pohybe kamery alebo pozadia, medzisnímkovvej predikcie makroblokov na okraji snímky, pretože referenčné makrobloky v predchádzajúcej snímke môžu byť len v jej vnútri. Táto nepresnosť sa potláča pomocou neobmedzeného pohybu referenčného makrobloku s jeho súčasným vyplňovaním aj vonku z predchádzajúcej snímky, pričom sa pripúšťa väčší rozsah hodnôt zložiek vektorov pohybu s polprvkovou presnosťou, t.j.

-31,5 až 31,5 op. Doposiaľ pohyb každého makrobloku bol reprezentovaný jedným vektorom pohybu, ale za účelom ďalšieho zvýšenia presnosti medzisnímkovvej predikcie s pohybovou kompenzáciou je lepšie ho reprezentovať pomocou štyroch vektorov pohybu. Pritom každý z nich zodpovedá jednému jasovému bloku 8 x 8 op vo vnútri makrobloku tiež s možnosťou vytvorenia blokov pohybovej kompenzácie s prekrývaním za účelom zmenšenia blokového efektu (štruktúry). Tieto vektory pohybu sa potom kódujú s diferenčnou metódou, v ktorej sa predikcia ich zložiek vykonáva pomocou mediánových hodnôt príslušných zložiek troch vektorov pohybu zo susedných blokov 8 x 8 alebo 16 x 16 op. Pritom farebné bloky sú stále reprezentované len jedným vektorom pohybu. Tento sa vypočíta zo sumy štyroch vektorov pohybu jasových blokov z toho istého makrobloku, ktorá je nakoniec vydelená hodnotou 8 vzhľadom na hrubšie vzorkovanie farebných zložiek.

Za predpokladu použitia blokovej pohybovej kompenzácie s prekrývaním, aktuálna snímka videosekvencie sa predikuje pomocou pohybovo kompenzovaných vzájomne prekrývajúcich sa blokov referenčnej snímky, ktoré sú váhované s príslušnými vyhladzovacími maticami. Tento druh medzisnímkovvej predikcie sa vykonáva len pre jasovú zložku videesignálu, pričom jej každý predikovaný op je váhovanou sumou troch predikčných hodnôt. Tieto hodnoty sa získajú pomocou troch vektorov pohybu aktuálneho a dvoch susedných jasových blokov, pričom ich výber sa uskutočňuje v závislosti od polohy predikovaného op ako to vidno z obr.7. Pre op vo vyznačených kvadrantoch aktuálneho bloku sa pri ich predikcii okrem vektora pohybu tohto bloku využívajú aj vektory pohybu dvoch najbližších zo štyroch možných susedných blokov. Pomocou vektorov pohybu aktuálneho a dvoch vybraných blokov sa vykoná ich pohybová kompenzácia a potom medzisnímkovvá predikcia op v príslušnom kvadrante aktuálneho bloku je daná váhovanou sumou op s rovnakou polohou v týchto pohybovo kompenzovaných blokoch.



Obr.7. Výber vektorov pohybu pri medzisnímkovvej predikcii op jasového bloku s pohybovou kompenzáciou a prekrývaním.

Váhy sú definované v maticach (obr.8) pre aktuálny blok a potom pre dvojicu susedných blokov v horizontálnom ako aj vertikálnom smere. Vplyv týchto váh pre susedné bloky je menší pre predikciu op v blízkosti stredu aktuálneho bloku

a naopak je väčší na jeho okraji čím sa zabezpečuje spojitý prechod medzi blokmi aktuálnej snímky. Tým sa redukuje blokový efekt známy pre klasickú metódu blokovej pohybovej kompenzácie bez prekrývania používanej vo videokodeku H.261.

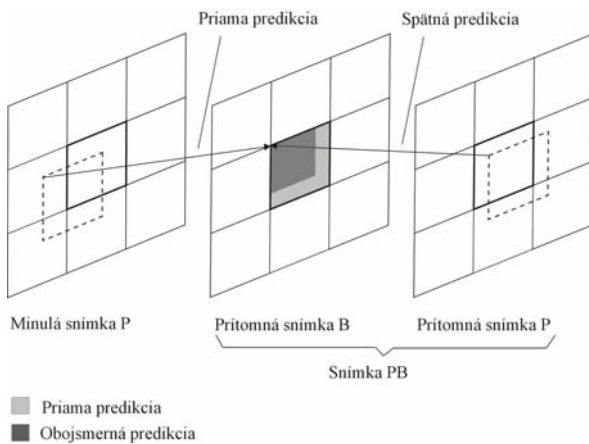
4	5	5	5	5	5	4
5	5	5	5	5	5	5
5	5	6	6	6	6	5
5	5	6	6	6	6	5
5	5	6	6	6	6	5
5	5	6	6	6	6	5
5	5	6	6	6	6	5
5	5	6	6	6	6	5
5	5	5	5	5	5	5
4	5	5	5	5	5	4

2	2	2	2	2	2	2
1	1	2	2	2	2	1
1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1
1	1	2	2	2	2	1
2	2	2	2	2	2	2

2	1	1	1	1	1	2
2	2	1	1	1	1	2
2	2	1	1	1	1	2
2	2	1	1	1	1	2
2	2	1	1	1	1	2
2	2	1	1	1	1	2
2	2	1	1	1	1	2
2	2	1	1	1	1	2
2	2	1	1	1	1	2
2	1	1	1	1	1	2

Obr.8. Matice váh.

PB snímky v organizácii videosekvencie sú kódované ako samostatné jednotky aj keď vždy pozostávajú z dvoch oddelených P a B snímok ako to vidno z obr.9.

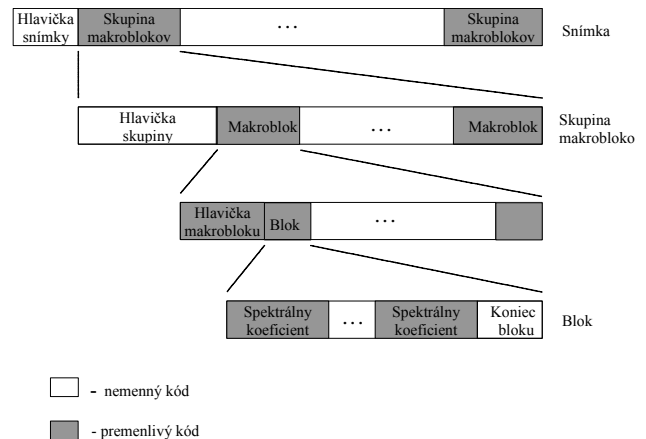


Obr.9. Medzisnímková predikcia v snímke B.

Prítomná (aktuálna) snímka P je predikovaná ako v H.261 z minulej dekódovanej snímky P zatiaľ čo predikcia snímky B je priemerom priamej a spätnej medzisnímkovovej predikcie s pohybovou kompenzáciou makrobloku (alebo bloku) v minulej a prítomnej snímke P. Na rozdiel od videokodekov MPEG informácia o snímke B nie je obsiahnutá v samostatnej snímke, ale je kombinovaná s informáciou o snímke P na makroblokovej úrovni. Vo vnútri každého makrobloku najprv sú kódované (vysielané) bloky patriace snímke P a až potom bloky zo snímky B. Preto počet blokov v jednom makrobloku je 12 namiesto pôvodných 6. Toto spoločné kódovanie snímok a väčšieho počtu blokov v jednom makrobloku redukuje doplnkovú informáciu v hlavičke snímky aj makroblokov, čo vedie k zníženiu bitovej rýchlosti. Ako je zrejmé z obr.9 nie všetky op v snímke B sú predikované pomocou medzisnímkovovej predikcie v oboch smeroch, čo vedie k ich interpolácii. Ak spätná predikcia op makrobloku v snímke B je vytvorená z op von z práve rekonštruovaného makrobloku v prítomnej snímke P, potom sa vykoná len ich priama predikcia z op pohybovo kompenzovaného makrobloku v minulej dekódovanej snímke P. Aj keď toto obmedzenie čiastočne znižuje účinnosť kódovania videokodeku H.263 na druhej strane zaručuje, že op budúcich makroblokov v prítomnej snímke P sa nikdy nepoužijú na spätnú predikciu. Z tohto vyplýva možnosť postupného dekódovania makroblokov z prijímaného toku údajov, ktorá zjednodušuje technické prostriedky H.263.

## 5. Entropický kodér

Entropický kodér ďalej zvyšuje kompresiu údajov a zároveň zoradzuje videoúdaje v súlade s hierarchickým rozdelením prípustných videoformátov do výstupného toku údajov ako to vidno z obr.10. Súčasne vkladá prídavné informácie do hlavičiek snímky, skupiny makroblokov, makrobloku ako napr. štartovacie kódy, adresy, používaný videoformát, spôsob skalárneho kvantovania, vektory pohybu atď. Takto získaný číslícový videosignál sa vo výstupnom multiplexore multiplexuje s číslícovým audiosignálom a inými údajmi do výstupného signálu.



Obr.10. Syntax číslícového videosignálu z výstupu entropického kodéra.

Syntax číslícového videosignálu korešponduje s hierarchickým rozdelením videoformátu, ale okrem toho obsahuje prídavné informácie ktoré sú nutné pre jeho správne dekódovanie a zobrazovanie. Tieto prídavné informácie uložené v jednotlivých hlavičkách sú:

*Hlavička snímky* - štartovací kód, rozdelenie tienidla obrazovky, informácia o videoformáte (QCIF, CIF, 4CIF atď).

*Hlavička skupiny makroblokov* - štartovací kód, adresa skupiny makroblokov (pozícia skupiny v snímke), typ použitého skalárneho kvantovania z 32 možných skalárnych lineárnych kvantizátorov.

*Hlavička makrobloku* - adresa makrobloku (pozícia makrobloku v skupine), druh makrobloku, typ skalárneho kvantovania, informácia o vektoroch pohybu, informácia o makroblokovom vzore.

Druh makrobloku je určený jedným z nasledovných atribútov:

- vnútrosnímkové alebo medzisnímkové kódovanie
- predikčná chyba kódovaná, alebo nekódovaná
- filter predikcie aplikovaný alebo neaplikovaný
- predikcia s pohybovou kompenzáciou použitá alebo nepoužitá

Každý makroblok má svoj vlastný vzor, ktorý je definovaný pomocou kombinácie uvedených atribútov. Okrem hodnôt spektrálnych koeficientov, musíme definovať polohu makrobloku pomocou jeho adresy, ktorá je bližšie uvedená v jeho hlavičke. Údaje blokov zodpovedajú spektrálnym koeficientom. Každý blok ako celok je vyjadrený kódovým slovom s premenlivou dĺžkou získaným entropickým kodérom. Jedno-

rozmerná reprezentácia kvantovaných spektrálnych nie je efektívna, preto je výhodnejšie použiť dvojrozmerné vyjadrenie [11]. Vo všeobecnosti je dvojrozmerná reprezentácia vyjadrená pomocou dvojíc (L,R), kde L je počet nulových spektrálnych koeficientov pred nenulovým spektrálnym koeficientom s kvantovanou hodnotou R.

Naopak výkonnejšie entropické metódy kódovania jednotlivých informácií môžu zvýšiť účinnosť kódovania videokodeku H.263. Preto sa v ňom umožňuje nahradiť všetky operácie kódovania aj dekódovania s premenlivou dĺžkou kódových slov za pomoci tabuliek Huffmanovho kódu s operáciami aritmetického kódovania. Potom metódy stavového aritmetického kódovania [12] odstraňujú obmedzenie celočíselného počtu bitov na jeden symbol generovanej informácie.

## 6. Záver

Rozdiely v základnom móde H.263 oproti H.261 sú v používaných videoformátoch včítane čiastočných zmien v ich rozdelení, bitových rýchlostiach, polprvkovej medzisnímkovvej predikcii, vyradení spätnoväzobného vyhladzovacieho filtra, pretože v ňom túto funkciu implicitne preberá bilineárna interpolácia. Ďalej vzhľadom na nový syntax číslicového videosignálu z výstupu videokodeka H.263 používa niekoľko nových tabuliek pri kódovaní s premenlivou dĺžkou kódového slova a iné sú lepšie optimalizované. Vektory pohybu sú kódované diferenčnými metódami, ktoré používajú na ich vnútroštruktúrovú predikciu predchádzajúce vektory pohybu nielen z toho istého makroblokového riadka, ale aj z minulých riadkov.

Zatiaľ čo v H.261 sa pripúšťa výber ľubovoľného lineárneho skalárneho kvantizátora z 32 možných pre ľubovoľný makroblok, tak v H.263 pri prechode z jedného na druhý makroblok v určitej skupine z dvoch najbližších hrubších alebo jemnejších kvantizátorov. Vynechané makrobloky bez pohybu v H.261 sú kódované ich adresami, ale v H.263 sa jednoducho pre ne vysiela jeden bit a zároveň sa v ňom vylučuje korekcia chýb pomocou BCH (511, 493) kódu. Rozšírené módy H.263 využívajú neobmedzený pohyb referenčného makrobloku aj mimo oblasť snímky, estimáciu pohybu na úrovni jasových blokov s možnosťou presnejších diferenčných metód kódovania vektorov pohybu ako aj medzisnímkovú predikciu týchto blokov s prekrývaním. Ďalej PB snímky v organizácii videosekvencie a stavové metódy aritmetického kódovania.

2.verzia videokodeka H.263 (H.263+) [13,14] rozširuje rozsah aplikácií a zvyšuje účinnosť kódovania, pričom je kompaktná s 1. verzou H.263. V súvislosti s tým umožňuje použiť viacej videoformátov, ale najmä dovoľuje škálové kódovanie videosignálov. Takto videokomunikácie možno realizovať v prostredí heterogénnych sietí aj so zvýšenou odolnosťou

voči poruchám. Ďalej škálovaný videosignál je lepšie prispôsobený parametrom dekodéra, pretože umožňuje jeho dekódovanie s rôznym priestorovým aj časovým rozlíšením pri rôznych bitových rýchlostiach

**Táto práca bola podporená s GAV MŠ a SAV SR v projekte č. 1/0384/03**

## Literatúra

- [1] Schäfer, R.- Sikora, T.: Digital Video Coding Standards and Their Role in Video Communications. Proc. IEEE, Vol.83, No. 6, 1995, p. 907 - 924.
- [2] ITU-T Recommendation H.261. Video Codec for Audiovisual Services at px64 kbit/s. Geneva, 1990.
- [3] Färber, N. - Girod, B. - Steinbach, E.: Performance of the H.263 Video Compression Standard. J. VLSI Signal Processing: Syst. for Signal, Image, and Video Technol., No. 17, 1997, p. 101-111.
- [4] ITU-T Recommendation H.263. Video Coding for Narrow Telecommunication Channels at <64 kbit/s. Geneva, 1996.
- [5] Mihalík, J.: Adaptívne hybridné kódovanie obrazu. Elektrotechnický časopis, 44, č. 3, 1993, s. 85-89.
- [6] Mihalík, J.: Adaptívne transformačné kódovanie obrazu. Slaboproudý obzor, 52, č. 11-12, 1991, s. 253-257.
- [7] Chmúrny, J. - Mihalík, J.: Optimálny lineárny kvantizátor. Slaboproudý obzor, 44, č. 11, 1983, s. 562 - 564.
- [8] Chen, C. T.: Video Compression: Standards and Applications. J. Visual Commun. and Image Representation, Vol. 4, No. 2, 1993, p. 103-111.
- [9] Bhaskaran, V. - Konstantinides, K.: Image and Video Compression Standards. Kluwer Academic Publisher, 1995.
- [10] Mihalík, J.: Kódovanie obrazu vo videokomunikáciach, Mercury – Smekál, ISBN 80 – 89061 – 47 – 8, Košice, 2001.
- [11] Khansari, M. - Bhaskaran, V.: A Low - Complexity Error-Resilient H.263 Coder. Signal Processing: Image Communication, Vol. 14, 1999, p. 493-504.
- [12] Marpe, D. - Blättermann - Heising, G. - Wiegand, T.: Video Compression Using Context-Based Adaptive Arithmetic Coding. Proc. ICIP, Thessaloniki, Greece, 2001, p. 71-74.
- [13] Côte, G. - Erol, B. - Gallant, M. - Kassentini, F.: H.263+: Video Coding at Low Bit Rates. IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Technology, Vol. 8, No. 7, 1998, p. 849-866.
- [14] ITU-T Recommendation H.263 Version 2. Video Coding for Low Bitrate Communication, Geneva, 1998.

# ÚTOKY NA VODOZNAKY VO FRAKTÁLOVOM KÓDOVANÍ STATICKÝCH OBRAZOV

Dušan Levický, Peter Foriš

*Katedra elektroniky a multimediálnych telekomunikácií, Technická univerzita v Košiciach*

## Abstrakt

Tento príspevok nadväzuje na problematiku implementácie techniky digitálnych vodoznakov vo fraktálovom kódovaní statických obrazov, ktorá bola riešená v [1]. Ťažiskom príspevku je testovanie odolnosti metód vkladania digitálnych vodoznakov do statických obrazov v procese fraktálového kódovania voči útokom na vodoznaky. Vzhľadom na charakter týchto metód boli posudzované dva typy útokov: útoky na vodoznaky realizované na fraktálovom kóde obrazu s vodoznakom a útoky na vodoznaky realizované na dekódovanom obraze s vodoznakom.

**Kľúčové slová:** digitálne vodoznaky, vkladanie a extrakcia vodoznaku, útoky na vodoznaky, fraktály, fraktálové kódovanie obrazov.

## Abstract

This paper deals with implementation of digital watermarking in fractal still image coding which has been presented in [1]. The paper focuses on the testing of proposed approaches in embedding of digital watermarks into fractal image code from point of view robustness against attacks. Regarding to the proposed approaches two types of attacks on watermarks were discussed: attacks on watermarks performed on fractal image code with watermark and attacks on watermarks performed on decompressed image with watermark.

**Keywords:** digital watermarks, watermark embedding and extraction, attacks on watermarks, fractals, fractal image coding.

## 1 Úvod

Intenzívny vývoj elektronického priemyslu, masívne rozširovanie celosvetovej počítačovej siete – Internetu, a zavádzanie širokopásmového vysokorýchlostného pripojenia poskytuje spracovanie a distribúciu multimédií s vysokou kvalitou. Tieto skutočnosti umožňujú bezstratové kopírovanie a distribúciu dát, v dôsledku čoho vzniká množstvo neautorizovaných kópií multimediálnych dát. Preto sa do popredia dostáva otázka ochrany autorských práv a autentizácie digitálnych dát. Pomerne novou technikou, ktorá sa pokúša riešiť tento problém je technika digitálnych vodoznakov. Technika digitálnych vodoznakov je jednou z techník zaoberajúcich sa ukrytím informácie [2]. Je definovaná ako vloženie dodatočnej informácie (vodoznaku) do originálnych dát tak, aby sa podstatne nenarušil pôvodný informačný obsah a aby vodoznak mohla extrahovať iba autorizovaná osoba. Vodoznakom môže byť číselná postupnosť, postupnosť symbolov, segment audio-signalu, binárny, resp. viacúrovňový obraz, ale aj 1 bitová informácia. V závislosti od aplikácie systémov s vodoznakmi možno rozlíšiť viaceré typy vodoznakov [3]. Túto techniku možno aplikovať na všetky typy digitálnych dát. V prípade obrazových informácií možno rozlíšiť metódy vkladania vodoznakov, ktoré pracujú v obrazovej, frekvenčnej a parametrickej oblasti. Metódy vkladania vodoznakov pracujúce v obrazovej oblasti modifikujú jasové úrovne obrazových prvkov, metódy vkladania vodoznakov ktoré pracujú vo frekvenčnej oblasti modifikujú transformačné koeficienty. Príkladom metód, ktoré vkladajú vodoznaky v parametrickej oblasti sú vodoznaky vo fraktálovom kódovaní obrazov [1]. Fraktálová kompresia je účinná metóda kódovania obrazov, ktorou možno dosiahnuť vysoké kompresné pomery. Kódovací algoritmus je založený na polynomickej aproximácii prvého stupňa s využitím metódy najmenších štvorcov. Dekódovanie využíva iteračný algoritmus [5]. Analýzou fraktálového kódu z hľadiska možnosti modifikácie prvkov kódu vodoznakom boli navrhnuté tri základné metódy vkladania vodoznakov do statických obrazov vo fraktálovom kódovaní [1]. Metóda I vkladá vodoznak do parametra pre transformáciu jasu. Samotné vloženie vodoznaku možno realizovať po ukončení

fraktálového kódovania a teda aj do komprimovaných dát. Metóda II využíva na vloženie vodoznaku pozíciu najpodobnejších blokov v obraze. Vkladaný vodoznak modifikuje kódovací proces výberom najpodobnejších blokov s vhodnou pozíciou v závislosti od hodnoty prvku permutovaného vodoznaku. Metóda III podobne ako predchádzajúca metóda modifikuje kódovací proces v závislosti od obsahu vkladanej vodoznaku. Vodoznak je vkladán do parametra izometrickej transformácie tak, že prvky vodoznaku určujú izometrické transformácie pre najpodobnejšie bloky.

V tomto príspevku bude testovaná odolnosť metód vkladania vodoznakov vo fraktálovom kódovaní obrazov prezentovaných v [1] voči útokom na vodoznaky.

## 2 Útoky na vodoznaky

Útoky sú procesy, ktorých cieľom je buď odstránenie vodoznaku, jeho poškodenie, aby sa znemožnila jeho extrakcia, alebo aby po jeho extrakcii nebolo možné potvrdiť zhodu vloženého a extrahovaného vodoznaku [4]. Možno ich rozdeliť do piatich skupín, a to na:

- útoky odstraňujúce vodoznak (removal attacks),
- geometrické útoky (geometrical attacks),
- kryptografické útoky (cryptographic attacks),
- protokolové útoky (protocol attacks),
- iné typy útokov.

Útoky odstraňujúce vodoznak majú za cieľ úplne odstrániť z označených dát vložený vodoznak bez prelomenia bezpečnosti algoritmu na vloženie vodoznaku, t.j. bez znalosti kľúča, ktorý sa pri vkladani vodoznaku použil.

Geometrické útoky úplne neodstraňujú vložený vodoznak, ale spôsobujú jeho skreslenie porušením synchronizácie medzi vloženou informáciou a blokom na detekciu, resp. extrakciu vodoznaku. Geometrické útoky využívajú rôzne operácie s označenými dátami, napr.: stratovú kompresiu, filtráciu, orezanie obrazu, lineárne transformácie, rotáciu a posun obrazu.

Kryptografické útoky majú za cieľ prelomiť kryptografickú bezpečnosť techniky vodoznakov, a tak nájsť cestu na odstránenie vodoznaku, alebo na vloženie falošného vodoznaku. Je potrebné však poznamenať, že tieto kryptografické útoky sú veľmi zriedkavé v dôsledku ich veľkej výpočtovej náročnosti.

Protokolové útoky napádajú celkovú koncepciu techniky vodoznakov a ich aplikácie. Jeden typ protokolových útokov je založený na koncepcii invertibilných vodoznakov. Iný typ protokolových útokov je útok kopírovaním (copy attack).

Príkladom iných typov útokov sú útoky špeciálne navrhnuté na určitý typ metódy na základe čiastočnej znalosti algoritmu vkladania, resp. extrakcie vodoznaku. Iným príkladom sú právne útoky kde skutočný vlastník dokáže vlastníctvo dát extrahovaním vodoznaku, no právny systém takýto dôkaz vlastníctva neuznáva.

### 3 Útoky na vodoznaky vo fraktálovom kódovaní

Digitálne vodoznaky vo fraktálovom kódovaní obrazov sú špecifické prostredím, v ktorom je realizované vloženie vodoznaku. Obraz označený vodoznakom je k dispozícii v komprimovanej forme v podobe fraktálového kódu. Preto možno v tomto prípade rozlíšiť dva typy útokov:

- útoky realizované na fraktálovom kóde obrazu s vodoznakom – Typ I,
- útoky realizované na rekonštruovanom obraze s vodoznakom – Typ II.

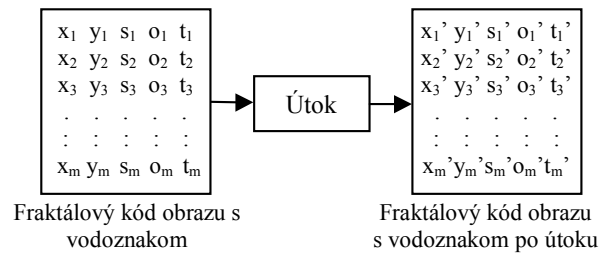
Princíp útokov na vodoznaky realizovaných na fraktálovom kóde obrazu je znázornený na obr. 1.

Útoky realizované na rekonštruovanom obraze vyžadujú najprv dekódovanie obrazu (obr. 2). Na rekonštruovanom obraze je potom realizovaný útok a následne je vykonaná fraktálová kompresia obrazu po útoku. Fraktálové kódovanie je uskutočnené v podmienkach totožných s podmienkami procesu fraktálového kódovania s vložením vodoznaku, za účelom dosiahnutia rovnakého objemu komprimovaných dát.

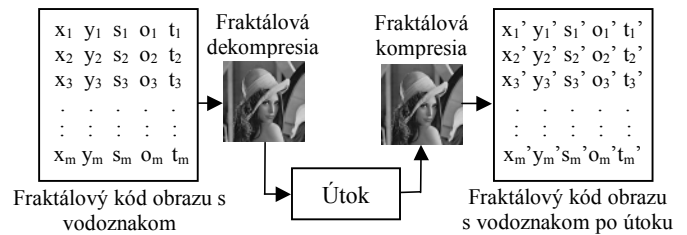
Testovanie odolnosti metód vkladania vodoznakov vo fraktálovom kódovaní obrazov voči útokom bolo realizované na viacúrovňovom obraze Lena s rozmerom 256x256 (obr.3). Použitý bol binárny vodoznak v podobe obrazu s rozmerom 64x64 (obr.4). Pre dekódované obrazy po útokoch boli zisťované parametre kvality MAE, MSE a PSNR. Pre extrahovaný vodoznak bol meraný parameter PSNR a percentuálna zhoda. Je nutné poznamenať, že 50% zhoda extrahovaného vodoznaku s vkladávaným vodoznakom predstavuje úplné zničenie vloženého vodoznaku v dôsledku útoku. Úspešnosť, resp. neúspešnosť daného útoku bola posudzovaná podľa kvality rekonštruovaného obrazu a extrahovaného vodoznaku. Výsledky experimentov sú uvedené v tabuľkách tab.1 a tab.2 a na obr.5 a obr.6.

#### 3.1 Útoky na vodoznaky Typ I

Tento typ útokov je realizovaný na fraktálovom kóde obrazu s vodoznakom. Ako možné útoky na vodoznaky tu vystupujú typické operácie s digitálnymi signálmi. Ako útoky boli použité zašumenie AWGN šumom a Wienerová filtrácia.



Obr. 1 Útoky na vodoznaky realizované na fraktálovom kóde obrazu s vodoznakom



Obr. 2 Útoky realizované na rekonštruovanom obraze s vodoznakom



Obr. 3 Originálny obraz „Lena“ 256x256



Obr. 4 Vodoznak 64x64

Tab.1 Hodnoty parametrov kvality rekonštruovaného obrazu a extrahovaného vodoznaku po útokoch Typ I

Metóda vkladania	Kritéria kvality obrazu			Kritéria kvality vodoznaku	
	PSNR [dB]	MAE	MSE	Zhoda [%]	PSNR [dB]
Útok pridaním AWGN šumu					
Metóda I	25,846	7,618	169,471	54,764	16,013
Metóda II	25,512	7,983	179,02	99,567	36,404
Metóda III	25,492	7,997	182,724	100,00	-
Útok Wienerovou filtráciou					
Metóda I	14,408	38,527	2360,7	50,612	15,105
Metóda II	14,565	37,701	2275,32	62,353	16,284
Metóda III	14,41	37,722	2355,29	48,614	15,454

### 3.2 Útoky na vodoznaky Typ II

Útoky toho typu sú zložitejšie a časovo náročnejšie. Útok je realizovaný na rekonštruovanom obraze, preto je najprv nutná fraktálová dekompresia obrazu. Na dekódovaný obraz s vodoznakom boli aplikované geometrické útoky: fraktálová a JPEG kompresia s faktorom kvality 75, MEAN filtrácia s konvolučnou maskou o rozmere 3x3, rotácia o 1° doprava a orezanie na rozmer 254x254 s interpoláciou na pôvodný rozmer. Po uskutočnení útoku bol obraz opätovne komprimovaný fraktálovým kódovaním.

## 4 Záver

Kvalita obrazu sa po pridaní AWGN šumu do fraktálového kódu zhoršila. V prípade metódy II a metódy III mal extrahovaný vodoznak vysokú kvalitu a dobrú rozlíšiteľnosť obsahu. Filtrácia fraktálového kódu úplne zničila obraz, a tak extrakcia vodoznaku nie je v tomto prípade vôbec dôležitá.

Útok použitím fraktálovej kompresie výrazne nepoškodil vložený vodoznak a minimálne zhoršil kvalitu dekódovaného obrazu. Neúspešnosť tohto útoku je vzhľadom na charakter útokov Typu II podmienkou opodstatnenosti testovania ďalších útokov na vodoznaky. Všetky ostatné geometrické útoky na vodoznaky realizované na rekonštruovanom obraze boli úspešné, pretože len v malej miere zhoršili kvalitu označeného obrazu a úplne zničili vodoznak.

Príkladom protokolových útokov v prípade metódy III je už v [1] spomenuté vynechanie izometrickej transformácie vo fraktálovom dekódovaní a následná fraktálová kompresia s použitím izometrie. Kvalita obrazu sa zhorší v závislosti od obrazovej informácie a vložený vodoznak je úplne zničený.

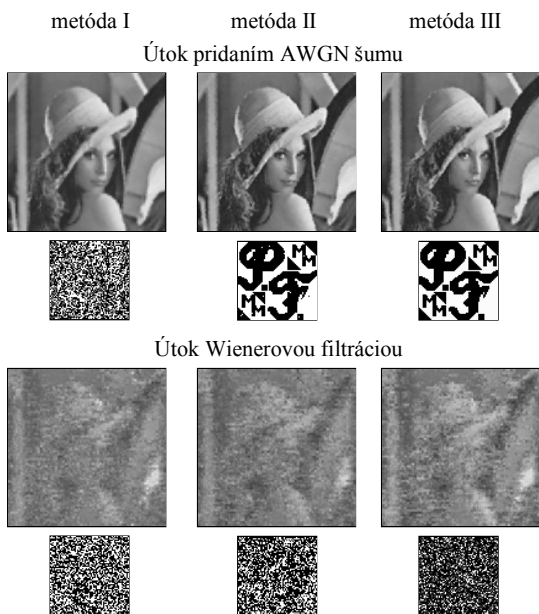
Na základe dosiahnutých výsledkov možno konštatovať, že predstavené metódy vkladania vodoznakov do statických obrazov v procese fraktálového kódovania nie sú robustné voči geometrickým útokom a útokom realizovaným na fraktálovom kóde obrazu s vodoznakom. Možným riešením tohto nedostatku je zvýšenie energie vkladaneho vodoznaku, čo však zníži kvalitu označeného obrazu. Vzhľadom na nízku robustnosť predstavených metód, ich možnou aplikáciou sa javí oblasť krehkých vodoznakov [3]. V oboch prípadoch sú potrebné ďalšie experimenty.

## Literatúra

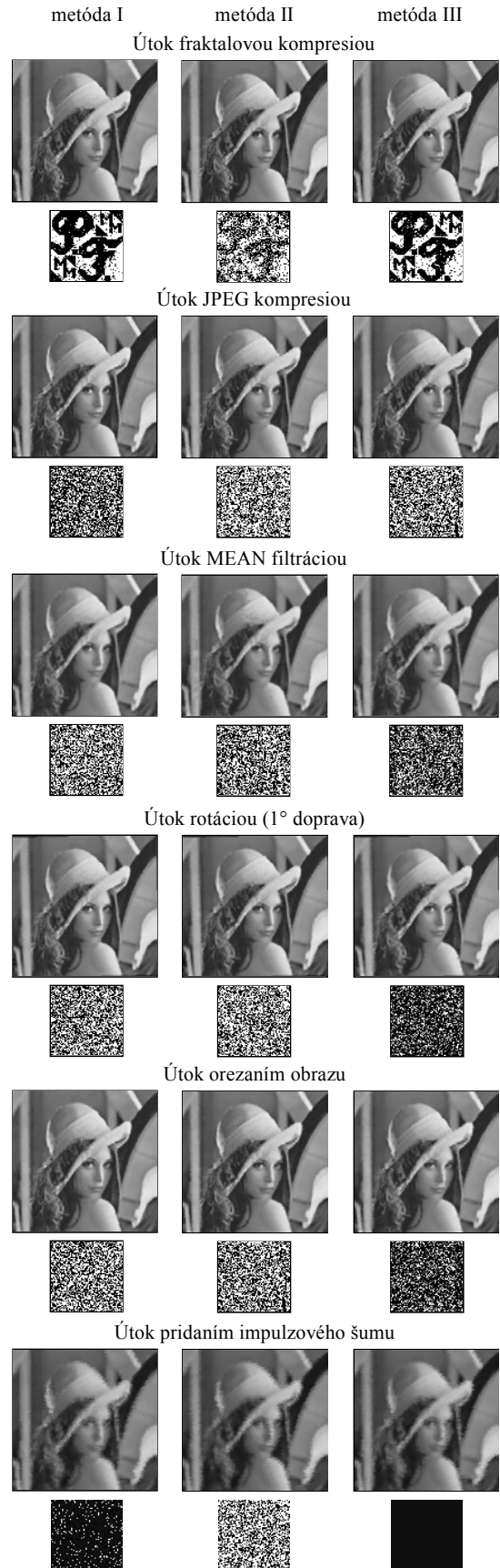
- [1] Levický, D. – Foriš, P.: Technika digitálnych vodoznakov vo fraktálovom kódovaní statických obrazov. Slaboproudý obzor, Roč. 59, č. 4, 2002, s. 13-18
- [2] Katzenbeisser, S. - Petitcolas, F.A.P.: Information Hiding techniques for Steganography and Digital Watermarking. Artech House, 2000
- [3] Levický, D.: Multimediálne telekomunikácie. Multimedia, technológie a vodoznaky. ELFA s.r.o., Košice, 2002, ISBN 80-89066-58-5
- [4] Voloshynovskiy, S. – Pereira, S. - Pun, T.: Attacks on Digital Watermarks: Classification, Estimation-Based Attacks, and Benchmarks. IEEE Communications Magazine, August 2001, vol. 39, no. 8, pp. 118-125
- [5] Jacquin, A. E.: Fractal Image Coding: A Review. Proceedings of the IEEE. Vol. 81, No. 10, 1993, pp. 1451-1465

Tab.2 Hodnoty parametrov kvality rekonštruovaného obrazu a extrahovaného vodoznaku po útokoch Typ II

Metóda vkladania	Kritéria kvality obrazu			Kritéria kvality vodoznaku	
	PSNR [dB]	MAE	MSE	Zhoda [%]	PSNR [dB]
Útok fraktálovou kompresiou					
Metóda I	25,842	7,657	166,857	89,868	22,298
Metóda II	25,388	8,018	184,453	72,851	17,704
Metóda III	25,141	7,976	185,474	90,378	22,867
Útok JPEG kompresiou (Q 75)					
Metóda I	25,572	7,897	173,703	53,273	15,345
Metóda II	25,067	8,389	193,634	59,675	16,439
Metóda III	25,183	8,336	192,732	60,574	17,134
Útok MEAN filtráciou					
Metóda I	24,022	9,176	222,063	49,707	15,026
Metóda II	23,867	9,497	235,392	53,911	15,405
Metóda III	24,48	8,978	218,243	56,391	16,092
Útok rotáciou (1° doprava)					
Metóda I	21,974	11,211	412,951	50,617	15,105
Metóda II	22,117	10,965	400,34	50,833	15,009
Metóda III	22,023	11,086	407,958	50,806	15,607
Útok orezaním obrazu					
Metóda I	22,671	10,474	351,315	50,171	15,066
Metóda II	22,696	10,358	350,39	53,346	15,352
Metóda III	22,67	10,472	351,311	54,767	15,962
Útok pridaním impulzového šumu					
Metóda I	21,303	13,528	481,679	53,378	15,824
Metóda II	21,709	12,906	438,618	52,002	15,229
Metóda III	21,734	12,894	436,180	53,711	15,893



Obr.5 Rekonštruované obrazy a extrahované vodoznaky po útokoch Typ I



Obr.6 Rekonštruované obrazy a extrahované vodoznaky po útokoch Typ II

## EFEKTIVNÍ STANDARDIZACE

Gustav Tomek

*Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd, Fakulta elektrotechnická ČVUT, Praha*

### Abstrakt

Řada odborných technicko-ekonomických studií, které se zabývají aktuálními problémy řízení výroby, zdůrazňuje význam trvalého inovačního klimatu na straně jedné a standardizace na straně druhé. Správně chápaný proces standardizace není v rozporu s pokrokem a rozvojem výzkumu a vývoje. Standardizace zde totiž představuje usměrňování, sjednocování a vnitřní uspořádání vlastního procesu, a to jak z hlediska věcného, tak časového. Řízený proces se tak stává přehledným a jeho výsledky lze jednoznačně analyzovat. Což ale není jediným významným přínosem standardizace. V dnešním dynamickém pohybu výrobních programů, sortimentních změn a zvýšených požadavků na přidanou hodnotu produktu ze strany zákazníků, ukazuje se standardizace – možná paradoxně – významným prostředkem flexibility v uspokojování zákazníka, a to od výzkumu a vývoje, přes technickou přípravu výroby, nákup materiálu, výrobu až po nabídku zákazníkovi.

**Klíčová slova:** standardizace, komplexní standardizace, stavebnicová konstrukce, flexibilní výroba.

### Abstract

A number of expertise technical-economic studies dealing with current problems of the manufacturing management accentuate the importance of the consistent and continuous innovations on the one hand, and, on the other hand, the importance of the standardization. The idea of the standardization process comprehended rightly does not go contrary to the progress and advancement of the research and development. In this, the standardization represents the co-ordination, integration and the inner arrangement of the real process viewed from the material standpoint and also from the standpoint of time. This way the controlled process becomes synoptic and the results may be explicitly analyzed. But that is not the only significant benefit of the standardization. The standardization – maybe paradoxically – appears to be a significant instrument of meeting customer's requirements at the current dynamic movement in manufacturing programmes, changes in product assortment and raised requirements concerning the added value from the part of a customer. That all concerns the integral process from the research and development, through the technical preparation of manufacturing, purchasing of material and manufacturing to the market supply.

**Keywords:** standardization, complex standardization, modular design, flexible manufacturing

### Stručný pohled na kořeny standardizace v našem průmyslu

V období, kdy o úspěchu, respektive přežití firmy rozhoduje vytváření kooperačních sítí, rozvoj informačních technologií, zeštíhlení výrobních procesů v plném slova smyslu a další, zaujme jistě skutečnost, že problematika standardizace, či obecně racionalizace a normalizace, provází vývojové trendy průmyslu po celou dobu jeho historie. Pokud jde o standardizaci je možno nalézt řadu příkladů u amerických firem na přelomu 19. a 20. století, zejména pak u Forda. S pozitivním přístupem k této problematice se však setkáváme i v našem rozvíjejícím se národním průmyslu v době první republiky. Elektrotechnický průmysl a energetika se mohou v tomto smyslu chlubit osobností Vladimíra Lista (1897-1971), který z původní funkce šéfkonstruktéra Křižíkových závodů v Praze odešel v roce 1908 na Českou techniku do Brna, kde působil jako profesor a zakladatel Ústavu konstruktivní elektrotechniky. Pojem standardizace je s jeho jménem spojen jednak proto, že z jeho popudu vznikla v roce 1919 zájmová organizace Elektrotechnický svaz československý (EŠČ), jehož zásluhou byla elektrifikace našeho státu prováděna jednotně na podkladě norem a předpisů vytvořených EŠČ, jednak proto, že z jeho iniciativy vznikla v roce 1923 Československá normalizační společnost (ČSN) a nepřímo i Mezinárodní normalizační federace ISA, která vznikla v roce 1928 v Praze u příležitosti I. Mezinárodní normalizační konference. Pokud jde o prof. Lista jsou pro dnešní představy komplexní standardizace zvláště významné myšlenky uplatňované v jeho odborných publikacích. Je to především rozšíření principu standardizace, do té doby většinou chápané jako normalizace součástkové základny, o standardizaci

procesů. Ve svých učebnicích totiž zdůrazňuje vedle běžně chápané standardizace:

- výběr nejehospodárnějšího chodu zařízení,
- volbu optimálních výrobních postupů,

což vše představuje předznamenání standardizace řídicích a pracovních postupů atd. Problematiku standardizace rozšiřuje dále o utváření jednotné dispozice tepelných elektráren apod. Lze tedy říci, že se standardizace, jako významná součást racionalizace, postupně v podmínkách českého průmyslu prosazovala. Vedle zmíněné energetiky to byl zejména obuvnický průmysl či výroba oděvní konfekce, a zejména pak strojírenství. Doc. Jakubec z FF UK uvádí zajímavá čísla o redukci vyráběných nejrůznějších typů kol vozů z 950 na 27, ze 49 druhů profilů železničních kolejnic na 7, z 7854 druhů trubek rour na 1336, z 240 automobilových pneumatik na 32 atd. Dalším příkladem racionalizace může být firma Walter, která pomocí šesti šroubů využívala jednotných šasi s různými typy karosérií.

### Uplatnění standardizace v současné době

Z hlediska řešení dynamických potřeb trhu se jeví jako symbol konstrukce výrobků především stavebnicovost. Za příklad přehledné stavebnicovosti výrobku může sloužit MC-rozváděč MODITEC firmy Hensel. Jedná se o modulární systém oceloplechových skříní pro samostatnou výrobu rozváděčů. Modulární systém je tvořen řadou kombinací skříní (stěny, dveře, uzamykací elementy, příruby, vývodky), upevňovacích systémů a zejména pak montážních skupin tvořících vlastní stavbu systému. Průběh plánování konkrétní stavebnice rozváděče probíhá v těchto krocích:

1. Stanovení požadavků na elektrickou funkci.
2. Volba montážních skupin - sestav - podle elektrické funkce.
3. Uspořádání montážních skupin - sestav.
4. Určení velikosti rozváděče.
5. Určení kabelových vstupů a příslušenství.
6. Stanovení způsobů upevnění.

Standardizace se stala významným prvkem rozvoje výroby ve vztahu k růstu individualizace přání zákazníků u automobilového průmyslu. Zatímco v „prehistorii“ standardizace byl jediným motivem jejího uplatňování efekt snížení nákladů vyplývající z objemu výroby, pak v současné době k němu přistupuje možnost rychlého a pružného přizpůsobení požadavkům zákazníků bez ztráty výhod hromadné výroby. Zde je možno jako příklad promyšleného uplatňování standardizace ve strategii firmy uvést současné trendy prosazované v koncernu Volkswagen. Zde se s ohledem na vývoj marketingu vychází z toho, že jednotlivé modely se budou v budoucnu navzájem co nejvíce odlišovat. Ekonomicky je tento problém řešen především tak, že jednotlivé modely budou co nejvíce používat totožných dílů, čímž se podstatně sníží kusové náklady výroby. Tak tuto skutečnost uvádí tehdejší šéf koncernu VW Ferdinand Piech v rozhovoru pro Handelsblatt a Wall Street Journal Europe na podzim roku 2000. Je možno citovat: "Tento strategický záměr uvedeme do života postupně do roku 2005. Místo dosavadních tzv. čtyř platform bude existovat jedenáct modulárních systémů. Výše úspor poroste stejně rychle jako dosud nejméně po dobu příštích deseti let." Jako konkrétní příklad této standardizace je možno uvést brzdové soustavy a zavěšení os, protože tyto sestavy nejsou závislé na výkonu motoru ani na velikosti automobilu. Dochází tak současně k tomu, že se technicky navzájem velmi sblíží polo se silným motorem, golf se středně silným pohonem a nejslabší passat. Příští generace passatu pak dostane příčně uložený motor a bude tak navíc blízká golfu i z tohoto hlediska. Úspěch takovéto standardizace je samozřejmě založen i na tom, že bude uplatněna v celém koncernu. Jiné firemní materiály VW hovoří v souvislosti se stavebnícovostí o další strategii „platform“, kdy stejné komponenty jsou použity v různých modelech. K platformě přísluší přední náprava, zadní náprava, motor, šasi, podlaha, nádrž atp. V automobilovém průmyslu jsou známy i příklady vzájemného využití standardizovaných dílů mezi různými firmami.

## Podstata moderního přístupu ke standardizaci

Standardizaci je třeba v širším slova smyslu chápat jako systematický, k dynamice přihlížející proces výběru, sjednocování a účelné stabilizace jednotlivých variant řešení, postupů, vstupních prvků, jejich kombinací, jakož i výstupních prvků, činností a informací v procesu řízení firmy nebo v jeho dílčích částech. Cílem standardizace je snížení rozmanitostí, nahodilosti v řízeném procesu, stejně tak jako zajištění jednoznačnosti výkladu přijatých rozhodnutí, přístupů a prvků. Rozvoj techniky, inovační klima, změny okolí, přinášejí do řízení výroby řadu nových aspektů a to jak pokud jde o složitost výrobků a výroby, tak pokud jde o možnosti výběru vstupních prvků, postupů, zařízení, evidence, dozoru nad výrobním procesem apod. Tato přirozená diverzifikace musí být z hlediska řízeného subjektu neustále promítána do účelně

vytvářené a dynamicky přizpůsobované standardizace, která zajišťuje větší stabilitu, přehlednost, jednoznačnost a v neposlední řadě hospodárnost procesu výroby.

Standardizace má řadu pozitivních přínosů pro organizaci a řízení podniku. Především je to:

- racionální organizování výrobní, technické, ekonomicko-obchodní, personální a jiné činnosti firmy,
- sjednocení informací a zajištění jejich jednoznačné vypovídací schopnosti,
- zhromadňování výrobního procesu a tím zjednodušení jeho organizace a řízení, dále snížení nákladů, odrážející se pozitivně v cestě ke konkurenční výhodě firmy,
- rozvoj specializace,
- zvyšování technické úrovně provedení a jakosti,
- efektivní využití zdrojů,
- ekonomika všech procesů zajišťujících výrobu,
- respektování požadavků trhu, zejména pokud jde o přizpůsobení variant a sortimentní skladby výrobků požadavkům zákazníků,
- zkracování dodacích lhůt v důsledku zkracování průběžných dob přípravy i vlastní výroby,
- zavedení systému komplexního řízení jakosti, uplatňování automatizace výroby i automatizace řízení,
- transparentnost evidence výroby i z hlediska spotřeby jednotlivých činitelů výrobního procesu,
- zvyšování bezpečnosti práce a odstraňování namáhavosti pracovních úkonů.

Uplatnění nejnovějších poznatků vědy a techniky, stejně tak jako komplexního marketingového výzkumu (analýzy zákazníků, konkurence, distribuce, okolí a vlastních silných a slabých stránek) přináší stále nové požadavky na informační a normativní základnu každé firmy. Zejména na její komplexnost a provázanost. Takto vnímaný přístup ke standardizaci je současně předpokladem efektivního využití informační a výpočetní techniky. Úspěšné řízení firmy vyžaduje těsné propojení všech okruhů informační a normativní základny firmy. Komplexní pojetí je kvalitativně vyšším pohledem, který abstrahuje od obvyklého chápání jako problému technické normalizace nebo pouhého usměrňování diverzifikačního procesu. Jak bylo uvedeno má standardizace především potlačovat nežádoucí různorodost, která by mohla působit nesoulad částí a celku systémů a negativně ovlivňovat efektivnost jejich chování. Tyto zásahy se mohou týkat výrobního faktoru, produktů, kombinací faktorů, činností při jejich využívání apod. Jednotlivé standardy se v tomto nejširším slova smyslu stávají nástrojem, který vyjadřuje jednotný, časově relativně stabilní, závazný předpis vlastností, míry vztahů a kombinací faktorů daného procesu a jejich fungování v procesu samotném. V tržní ekonomice je nutno chápat a využívat standardizaci jako systematické úsilí směřující k takovému uspořádání a řešení produkčních faktorů, způsobů jejich využití a řízení, které je založeno na účelném uplatnění nejnovějších poznatků vědy a techniky a ve svém souhrnu umožňuje firmě plnění požadavků trhu a lepší uplatnění na něm. Standardizace v tomto smyslu musí být založena na následujících principech:

- analýza variant řešení, jejich zúžení a výběr,

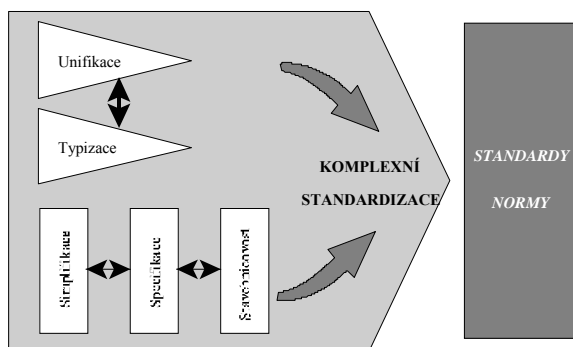
Tab. 1: Základní směry standardizace

<b>UNIFIKACE</b>	Sjednocování rozmanitých řešení: - věcných prvků procesu (produktů), - způsobů přeměn ( technologických postupů, pracovních, zkušebních a kontrolních metod, řídicích postupů), - kvantitativních a kvalitativních parametrů (rozměrů, tvarů, výkonu).
<b>TYPIZACE</b>	Výběr ze všech možných řešení, tedy i z řešení dosud nepoužívaných.
<b>SPECIFIKACE</b>	Stanovení závazných vlastností, znaků provedení, popisu odlišujícího produkt, popř. stanovení kvalitativního ukazatele, znaku, které slouží pro zařazení produktu do určitého souboru (obor, jakostní třída atp.).
<b>SIMPLIFIKACE</b>	Zjednodušení, odstranění všech postradatelných vlastností a odlišností, aby bylo možno dosáhnout celkového efektivnějšího řešení, aniž by předmět přestával plnit stanovenou funkci.
<b>STAVEBNICOVÉ ŘEŠENÍ</b>	Umožňuje na základě vysokého stupně unifikace, typizace a simplifikace pokrýt velmi variantní potřeby, to znamená plnit požadované funkce v rozmanitých provedeních a podmínkách.

- aplikace nových vědecko-technických poznatků,
- optimalizace,
- sjednocení,
- plánovitost,
- stabilizace,
- závaznost.

Obecně se rozlišují obvykle následující základní směry standardizace. Porovnání je uvedeno v tab. 1.

Vazby těchto základních směrů standardizace znázorňuje následující schéma na obr. 1.



Obr. 1: Vazby základních směrů standardizace

## Pojem komplexní standardizace

Úspěšnost standardizace je dána především jejím komplexním výsledkem. Jednotlivé oblasti standardizace jsou pouze relativně izolovanými činnostmi, poněvadž výrobní proces mezi nimi vytváří nutně souvislosti. Pro metodické a personální zabezpečení jsme zavedli následující rozlišení etap standardizace:

- standardizace řídicího procesu,
- standardizace věcných vstupních prvků výrobního procesu,

- standardizace činností a způsobů přeměn ve výrobním procesu,
- standardizace vztahů ve spotřebě a využití výrobních činitelů,
- standardizace kombinací při operativním řízení výroby,
- standardizace výstupních prvků výrobního procesu.

*Standardizace řídicího procesu* - do této oblasti standardizace zahrnujeme různé typy základních i dílčích organizačních norem a směrnic. Vedle základních podnikových organizačních norem jde o předpisy upravující kontrolu jakosti, použití výrobních faktorů (např. výdej materiálu ze skladu, operativní evidenci výroby, oběh dokladů atp.), zákazkové řízení, vystavování a sledování objednávek, změnové a odchylkové řízení a další. Součástí této etapy standardizace je vytvoření a aktualizace principů kódování materiálů, výkresů, postupů, pracovníků, pracovišť, skladů atd.

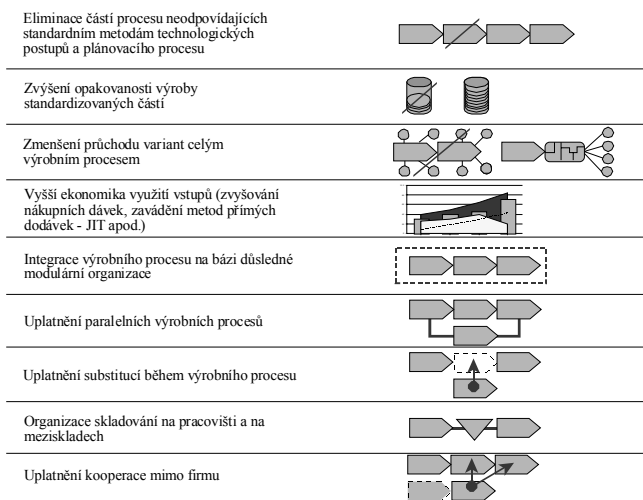
*Standardizace věcných vstupních prvků výrobního procesu* - nalezení optimálního souboru (výběru) opakovaně používaných výrobních faktorů (materiálů, strojů a zařízení, nástrojů, náradí a přípravků). Smyslem této etapy standardizace je urychlení technické přípravy výroby, zjednodušení opatřování a výroby jednotlivých vstupních činitelů, snížení nákladů při jejich zajišťování, racionalizace logistických vztahů, získání rabatů a dalších nástrojů kondiční politiky dodavatele, zjednodušení údržby a další.

*Standardizace činností a způsobů přeměn ve výrobním procesu* - týká se pracovních, montážních a technologických postupů, logistických a kontrolních postupů apod. Zde je příležitost využít různých možností tvorby standardizovaných postupů (souborový technologický postup, typový technologický postup, sdružený či skupinový technologický postup), včetně jim předcházejících analýz pohybových studií (grafické, mikropohybové apod.). Standardizovaný technologický postup je rovněž výrazným prostředkem urychlení technické přípravy výroby a tím řešení časového faktoru při uspokojování potřeb zákazníka.

*Standardizace vztahů ve spotřebě a využití výrobních činitelů* - jedná se o standardizované řešení jednoho ze základních úkolů technologické části technické přípravy výroby, kdy dochází ke zpracování:

- norem času práce (výkonových norem)
- norem obsluhy a početních stavů,
- norem vybavení pracovišť, bezpečnosti práce apod.,
- norem spotřeby materiálu a energie,
- norem kapacitních,
- norem zásob výrobních, nedokončené výroby a hotových výrobků, včetně pojistných zásob.

Bez soustavy těchto norem není možná účelná a efektivní (operativní) kalkulace produktu, sledování vynaložených nákladů, zajišťování jednotlivých faktorů, řízení zásob apod., včetně motivace pracovníků ve výrobním procesu i v obslužných a pomocných procesech.



Obr. 2: Principy optimalizace a restrukturalizace výrobního procesu

**Standardizace kombinací při operativním řízení výroby** - jedná se o soustavu standardů, které jsou využívány především při operativním plánování a řízení výrobního procesu. Jde o velikost výrobních dávek, údaje o výrobním taktu a rytmu, stanovení průběžné doby výroby, určení výrobního předstihu, stavu rozpracované výroby (podle pracovišť i účelu - pojistná, dopravní, opravárenská), až po standardní plány práce linek apod.

**Standardizace výstupních prvků** - završení principů komplexní standardizace vytvořením produktů, vnitřně standardizovaných, tzn. vytvořených jako soustava unifikovaných, typizovaných či normalizovaných částí. Důležitým způsobem je zde využití dědičnosti jednotlivých konstrukčních řešení a použití stavebnicovosti.

### Stavebnicovost produktu jako řešení individuálních požadavků trhu

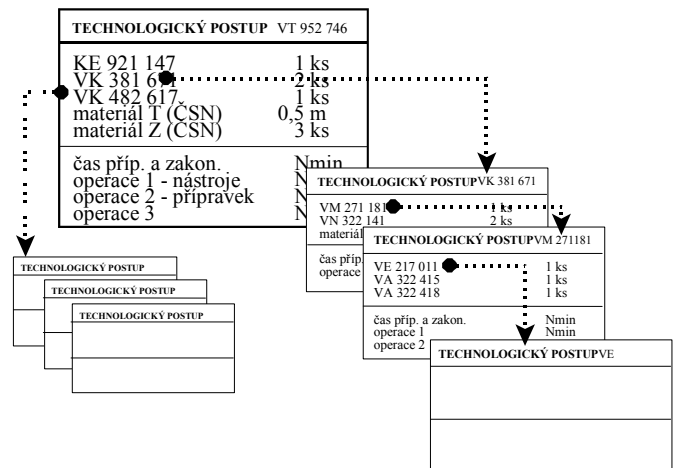
Rostoucí dynamika potřeb trhu, jejich stoupající individualizace, staví před firmu dva základní problémy, které musí být řešeny vzhledem k požadavku přežití v konkurenčních podmínkách:

1. nutnost včasné, rychlé reakce na uspokojení potřeby zákazníků - být na trhu včas,
2. nutnost splnění možnosti výběru v rámci rozmanitosti nabízených řešení - nabídnout splnění představy řešení různých zákazníků.

Právě naznačená komplexní standardizace

- urychluje proces technické přípravy výroby,
- urychluje proces zabezpečení opakovaných vstupních prvků,
- urychluje proces plánování a řízení procesu vlastní tvorby produktu, tj. především plánování a řízení výroby,
- urychluje celý proces operativního řízení výroby (plánování a řízení výroby, nákupu a odbytu, operativní evidenci výroby, vlastní metody kontroly a řízení výroby, včetně změnového řízení),
- umožňuje rozšíření vícevariantní nabídky potenciálním i stávajícím zákazníkům díky stavebnicovosti výroby,
- napomáhá rychlému přizpůsobení trhu a včasné nabídce řešení potřeb zákazníků.
- Zaměříme-li se na vlastní výrobní proces, pak je třeba plně uplatnění výhod standardizace spojit s požadavkem
- optimalizace výrobního procesu a
- restrukturalizace výrobního procesu, dále
- nové strategie nákupní činnosti a samozřejmě
- pružného chování managementu jednotlivých oblastí řízení.

Pokud jde o optimalizaci a restrukturalizaci výrobního procesu je schematicky znázorněna na obr. 2.



Obr. 3 Dílčí technologické postupy a jejich vazby

### Standardizace a tvorba konstrukční a technologické dokumentace

Standardizované řešení výrobního procesu vyžaduje uplatnění příslušného principu v konstrukční a technologické dokumentaci. Při stavebnicové výrobě je pro každou montážní

část (finál, sestavu, podsestavu, díl) zpracována samostatná konstrukční a následně technologická dokumentace. Jednotlivé části se samozřejmě vícekrát vyskytují v různých výrobcích v různých kombinacích. Dokumentace musí vždy zajistit snadnou orientaci ve vazbě vyšší část - nižší část výrobku. Tak např. kusovník finálního výrobku uvádí pouze nejbližší sestavy, event. podsestavy a díly i materiál, které však vcházejí do finálního výrobku při jeho konečné montáži přímo, nikoliv tedy jako spotřeba přes další podsestavy, díly atd. Totéž platí i o technologických postupech, které jsou rovněž takto stavebnicově vytvářeny - ve vazbě na čísla výkresů (částí). Princip tvorby dílčích technologických postupů a jejich návaznost znázorňuje schéma na obr. 3.

Stavebnicová tvorba podkladů technické přípravy výroby vyvolává přijetím komplexní standardizace dvojí pohled na soustavu informací technické přípravy výroby a to jako:

- dílčí údaje (např. dílčí norma spotřeby materiálu, dílčí norma spotřeby času),
- souhrnné údaje.

Dílčí údaj představuje přímý vstup vztažený ke konkrétnímu výrobnímu stupni (sledu), ostatní informace o vstupujících dílech, podsestavách atd. jsou zde uvedeny jen jako celkové položky. Objevuje se v informační bázi jen jednou. To přináší řadu výhod, zejména to, že:

- umožňuje využívání stávajících dílčích podkladů TPV a technicko-hospodářských norem při tvorbě nových výrobků (stavebnicově),
- při promítání změn do těchto základních informací podniku se oprava provádí jen jednou, neopakuje se do mnoha výrobků a částí vzniklých v důsledku stavebnicovosti.

Souhrnné údaje (např. operativní kalkulace) se pak počítají účelově.

## Závěr

Přístup ke komplexní standardizaci musí být i předmětem neustálého komplexního hodnocení. Aby nedošlo ke znehodnocení významu standardizace, je třeba udržet neustále v rovnováze pozitivní stabilitu s rostoucí dynamikou. Jde o velmi citlivé manažerské rozhodování. Nelze totiž dát průchod pouze novým kreativním směrům a nápadům, aniž by nebylo využíváno určité kontinuity dosavadních systémů řízení, organizace apod. Neustálý pohyb, mnohdy provázený krátkodobými dočasnými změnami, nemůže přispět k efektivnímu vývoji podniku, může být naopak nositelem nadměrných vícenákladů, stresových situací, které přináší neustálé přizpůsobování pracovníků, bude vyvolávat nejistoty v pravidlech a odpovědnostech, normativní základně atd. Je třeba zajistit pozitivní rovnováhu mezi:

- standardizací a kreativitou na straně jedné a
- přizpůsobivostí a kontinuitou na straně druhé.

## Literatura

- [1] Tomek, G. - Vávrová, V.: Řízení výroby, druhé, rozšířené a doplněné vydání, GRADA Publishing, Praha 2000, ISBN 80-7169-995-1
- [2] Tomek, G. - Vávrová, V.: Výrobek a jeho úspěch na trhu, GRADA Publishing, Praha 2001, ISBN 80-247-0053-0
- [3] List, V.: Hospodaření elektrických podniků, ČMT, Praha, 1929
- [4] Jakubec, I.: Racionalizace československého průmyslu v meziválečném období, rukopis článku, Automatizace, 2003

**Stat' vznikla v rámci řešení Výzkumného záměru FEL „Rozhodování a řízení pro průmyslovou výrobu“, TÚ 1 CIM a management výroby a grantového projektu „Výzkum investičně nenáročné restrukturalizace nosných vnitropodnikových vztahů v malých a středních podnicích“ podporovaného GAČR 402/02/0160.**

# PAKETOVÉ PŘENOSY V MOBILNÍCH SÍTÍCH GSM

Petr Vacek

*Katedra telekomunikační techniky, Fakulta elektrotechnická ČVUT, Praha*

## Abstrakt

Vývoj mobilních sítí směřuje ke zvyšování přenosových rychlostí, efektivnosti pokrytí signálem a kvality služby (QoS). Druhá generace mobilních sítí poskytuje přenosovou rychlost 9,6 kbit/s. První implementaci datových přenosů představuje HSCSD, pak následuje paketový přenos GPRS. Uvedené typy datových přenosů se liší nejen principem, ale také způsobem tarifkace. Tarifkace u HSCSD je založena na časovém hledisku a u GPRS záleží na objemu přenesených dat. Vývoj v mobilních sítích pokračuje k sítím třetí generace UMTS, které poskytují koncovému uživateli přenosovou rychlost až 2 Mbit/s. Systém UMTS je navržen hlavně pro služby vyžadující datové přenosy.

Klíčová slova: datové přenosy, paketové přenosy, mobilní sítě

## Abstract

The developing of the mobile networks continues to increase capacity, coverage, quality and data rates. There have been series of development that are still in progress with the aim of enhancing the existing GSM network functionality. Second generation networks provide data rates of 9,6 kbit/s. The first enhancement for increasing the data rates is High Speed Circuit Switched Data. Next enhancement is packet-switched data transfer GPRS. Its charging criteria are fundamentally different from the principles used for circuit switched services, they are volume-based instead of time-based. A natural continuing in development of mobile networks is UMTS providing maximum rates about 2 Mbit/s. UMTS includes third generation services, which are multimedia services at high rates, and also second generation services.

Keywords: data transfer, GPRS, GSM

## 1 Datové přenosy v sítích GSM

Mobilní síť byla původně navržena pro přenos hlasu a fungovala na principu přepínání okruhů. Pro co nejefektivnější využití frekvenčního pásma se využívá mnohonásobný přístup s frekvenčním dělením (FDMA) a s časovým dělením (TDMA). Maximální přenosová rychlost jednoho time slotu v rámci TDMA je sice 33,8 kbit/s, ale část bitového toku je nutné použít pro řízení sítě (např. synchronizaci) a zabezpečení proti chybám. Na datové přenosy tak zbývá pouze 9,6 kbit/s. Určitého zvýšení lze dosáhnout omezením redundantní složky signálu starající se o zabezpečení proti chybám. Přenosová rychlost se tak zvýší na 14,4 kbit/s. Pro potřeby dnešních aplikací je i tato přenosová rychlost nedostačující. Operátoři mobilních sítí se proto snažili do stávajících GSM sítí implementovat datové přenosy. Existují dvě cesty, jak toho dosáhnout.

Naopak u paketových přenosů nelze garantovat stálou přenosovou rychlost, ale zase je zde lépe hospodařeno s radiovými přenosovými prostředky. Tento příspěvek se bude zabývat právě paketovými přenosy GPRS.

## 2 Implementace GPRS do sítě GSM

Zavedení paketových přenosů do sítě GSM vyžaduje určité softwarové a hardwarové změny, které ukazuje obr.1. Na tomto obrázku jsou zobrazeny pouze přenosové cesty související s GPRS přenosy, tedy nikoliv s CS přenosem hlasu.

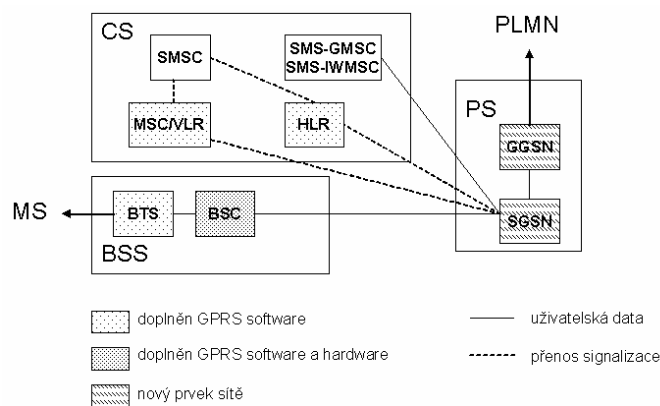
Implementace GPRS do sítě GSM tvoří jakousi nadstavu a lze se na ni dívat jako na téměř separátní síť. Proto se musí mobilní stanice přihlásit zvlášť do sítě GPRS, tzn. provést GPRS attach, pokud chce využívat datové přenosy. Z tohoto pohledu se mobilní stanice rozlišují na tři třídy:

- *Třída A* – Mobilní stanice je schopna být současně přihlášená v GSM síti i v GPRS síti a v jeden okamžik provádět paketové přenosy a telefonní hovor.
- *Třída B* – Mobilní stanice může být přihlášená v obou sítích, ale v jeden okamžik využívat služby jen jedné z nich. Pokud mobilní stanice provádí paketový přenos a objeví se příchozí hovor, může být datový přenos přerušen a po skončení hovoru opět navázán.
- *Třída C* – Mobilní stanice může být přihlášená pouze v GSM nebo v GPRS síti.

Změny v BSS se týkají softwarového a hardwarového vybavení, viz obr.2. Základnové stanice BTS je nutné vybavit softwarem pro podporu nových kódových schémat. Mezi nové funkce BSC patří například podpora logických kanálů GPRS, zajištění pagingu GPRS informací nebo podpora nižších vrstev modelu OSI (frame relay).

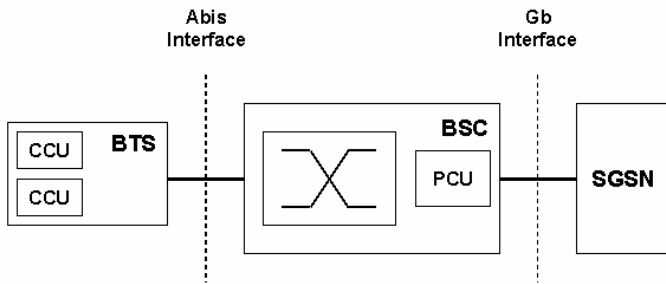
Nový prvek PCU integrovaný do BSC spravuje přidělování radiových prostředků pro GPRS přenos a tvoří rozhraní k SGSN.

Změny v NSS se týkají hlavně účastnických registrů HLR a VLR, protože účastnické profily musely být doplněny o údaje



Obr.1 Struktura sítě

První vede přes datové přenosy s přepínáním okruhů (HSCSD) a druhá přes přepínání paketů (GPRS). Každý z uvedených způsobů datových přenosů má svá specifika, která ho předurčují pro určitý typ služby. Datové přenosy s přepínáním okruhů se vyznačují konstantní přenosovou rychlostí, což je výhodné u aplikací citlivých na časové zpoždění.



CCU (Common Control Unit) – software  
PCU (Packet Control Unit) – software & hardware

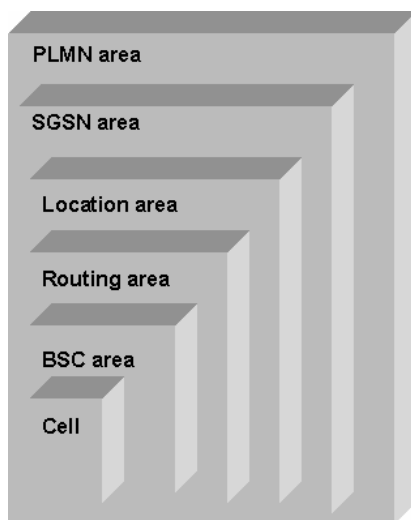
Obr. 2 Změny v BSS

týkající se GPRS, např. PDP typ, APN, IP adresa (pokud je přidělena statická) nebo QoS. Domovský registr HLR je přímo propojen s prvkem SGSN, který z něj získává informace o účastnících, kteří se vyskytují jeho oblasti.

Paketovou část sítě tvoří dva nové prvky SGSN a GGSN, které jsou zkráceně nazývány GSN. Všechny GSN v PLMN tvoří tzv. páteňní síť, která komunikuje pomocí protokolu IP. Každý prvek SGSN v PLMN obsluhuje a řídí oblast nazývanou routing area (RA). Hlavním úkolem je směřovat pakety k mobilní stanici a od mobilní stanice. Mezi další úkoly patří autentizace uživatele, šifrování přenášených dat, úkony související a mobilitou účastníků a tvorba dat pro tarifkaci. Prvek GGSN tvoří rozhraní k externí datové paketové síti. Z pohledu externí sítě se jeví jako směrovač. Mezi jeho funkce patří zjišťování přidělených dynamických IP adres od ISP a tvorba dat pro tarifkaci účastníka. Zvláštním případem je BGGSN, který vytváří rozhraní s jinou PLMN, což je nutné pro roaming.

### 3 Struktura GPRS sítě

Síť GPRS je z důvodů jednoduššího řízení navržena hierarchickým způsobem, dle obr.3.



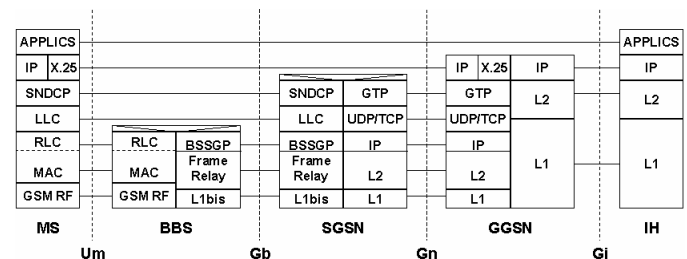
Obr. 3 Hierarchická struktura sítě GPRS

Nejvýše je položena PLMN area, která představuje oblast jednoho operátora, kde jsou dostupné služby GPRS. O úroveň níže se nachází SGSN area, což je oblast spravovaná jedním

prvkem SGSN. Location area představuje území, na kterém nemusí MS provádět location update, tzn. nemusí se znovu autentizovat svému VLR. Oblast SGSN je rozdělena na routing areas (RA). V těchto oblastech se může mobilní stanice pohybovat bez tzv. RA update. Jedná se o opětovnou verifikaci uživatele svému SGSN. Nižší úroveň tvoří BSC area, kterou tvoří všechny buňky spravované jedním kontrolerem BSC. Nejnižší vrstvu této hierarchické struktury tvoří buňka. Buňku tvoří oblast pokrývaná signálem jedné základnové stanice BTS.

### 4 Protokoly v GPRS

Jednotlivá rozhraní v systému GPRS a používané protokoly ukazuje obr.4. Komunikace mezi SGSN a GGSN je založena na protokolu IP. Při požadavku na vyšší spolehlivost přenosu se používá protokol TCP a v opačném případě UDP, který pracuje v nepotvrzovaném módu. Tyto protokoly využívá GPRS tunelový protokol GTP, který přenáší uživatelská a signalizační data mezi SGSN a GGSN.

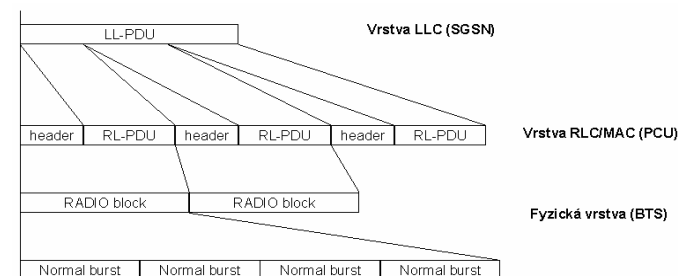


Obr. 4 Protokoly a rozhraní v GPRS

Protokol SNDCP se nachází pod síťovou vrstvou a vytváří logické spojení mezi MS a SGSN. Mezi hlavní úkoly patří multiplexace dat z různých aplikací, komprese dat (V.42bis, komprese IP záhlaví) a segmentace dat do LLC rámců. Vrstva LLC zajišťuje zabezpečené logické spojení mezi MS a SGSN a stará se o šifrování přenášených dat. Toto spojení je udržováno při procházení všemi buňkami, které patří do správy daného SGSN. Při opuštění této oblasti je spojení zrušeno a vytvořeno nové. Logická spojení mohou být vytvářena v potvrdzovaném nebo nepotvrdzovaném módu.

Mezi hlavní úlohy vrstvy BSSGP patří vytvoření bezspojové relace mezi BSS a SGSN. Relace je využívána pro nepotvrdzovaný přenos dat nebo pagingových požadavků.

Rádiové rozhraní mezi MS a BSS je spravováno protokoly RLC/MAC, které se starají o mapování LLC rámců do fyzické vrstvy, viz obr.5.



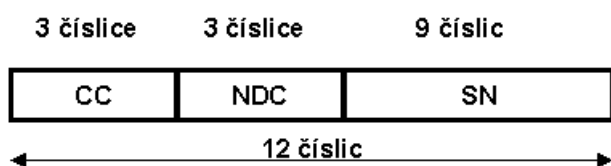
Obr. 5 Zpracování dat ve vrstvě RLC/MAC

Rámce LLC jsou jednotkou PCU rozděleny na menší části a zakódovány do time slotů fyzické vrstvy. Protože více uživatelů může sdílet v jeden okamžik stejné přenosové prostředky, je každé MS přidělen identifikátor TFI, podle kterého rozezná, že RLC/MAC blok je určen pro ni.

## 5 Adresace a identifikace uživatele

Údaje týkající se uživatele můžeme zhruba rozdělit na údaje týkající se samotné identity a údaje týkající se polohy. Mezi údaje týkající se identity patří:

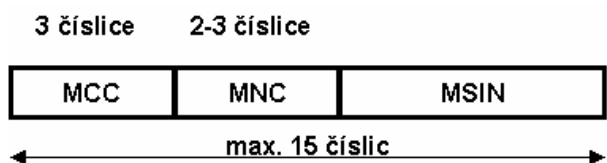
- **MSISDN** (Mobile Subscriber ISDN Number) – telefonní číslo účastníka přidělované dle číslovacího plánu



Obr. 6 Struktura MSISDN

Na obr.6 je ukázáno účastnické číslo používané v naší republice. Podle doporučení ITU-T je maximální délka 15 číslic. Jednotlivé části znamenají:

- CC (Country Code) – mezinárodní kód země
- NDC (National Destination Code) – národní směrové číslo, resp. kód mobilního operátora
- SN (Subscriber Number) – účastnické číslo
- **IMSI** (International Mobile Subscriber Identity) – celosvětově jednoznačná identifikace uživatele, resp. SIM karty



Obr. 7 Struktura IMSI

- MCC (Mobile Country Code) – jednoznačně identifikuje domovskou zemi uživatele
- MNC (Mobile Network Code) – určuje jednoznačně operátora v dané zemi
- MSIN (Mobile Subscriber Identification Number) – specifikuje účastníka v dané síti

Číslo IMSI se využívá hlavně v proceduře přihlašování do sítě. Aby se uživatel nemusel stále hlásit pod svým IMSI, je mu z bezpečnostních důvodů přidělen ještě další identifikátor TMSI, resp. P-TMSI (Packet TMSI).

- **TMSI** (Temporary Mobile Subscriber Identity) – jednoznačná identifikace uživatele v rámci LA (TMSI) nebo RA (P-TMSI).

Struktura TMSI, resp. P-TMSI není přesně specifikována. Předepsaná délka je 4 bajty. Pro rozlišení TMSI a P-TMSI se využívají první dva nejvýznamnější bity. V přihlašovacích

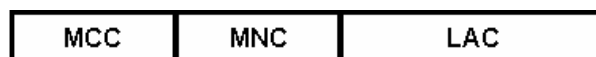
procedurách pak zastupuje IMSI, u kterého není žádoucí, aby se často přenášelo přes rádiové rozhraní.

- **NSAPI** (Network Service Access Point)
- **TLLI** (Temporary Logical Link Identification)

Tyto identifikátory se používají pro směrování v síťové vrstvě. NSAPI specifikuje v SGSN a v GGSN PDP context pro příslušnou MS a TLLI určuje logické spojení mezi MS a SGSN.

Pro určení polohy uživatele se využívají dva nejdůležitější identifikátory:

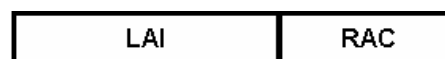
- **LAI** (Location Area Identification) – údaj, který specifikuje LA, ve které se MS nachází



Obr. 8 Struktura LAI

První dvě části MCC a MNC jsou stejné jako v IMSI, poslední část LAC (Location Area Code) specifikuje jednoznačně LA v síti operátora.

- **RAI** (Routing Area Identification) – specifikuje RA pro danou MS



Obr. 9 Struktura RAI

Skládá se z LAI a kódu RA uvnitř LA.

## 6 Paketové datové přenosy

Před započítáním datových přenosů je nejprve nutné provést dva kroky:

- GPRS attach
- Aktivaci PDP kontextu

### 6.1 GPRS attach

GPRS attach znamená přihlášení MS do GPRS sítě. Existují tři typy MS attach, a to IMSI attach, GPRS attach a kombinovaný IMSI/GPRS attach. IMSI attach se týká přihlášení MS do klasické GSM sítě přes MSC/VLR a kombinovaný attach umožňuje efektivnější využití rádiových prostředků při současném přihlášení MS do GSM a GPRS sítě, které probíhá přes SGSN. Podle toho, zda je MS přihlášená v GPRS síti, se může nacházet v jednom ze tří stavů:

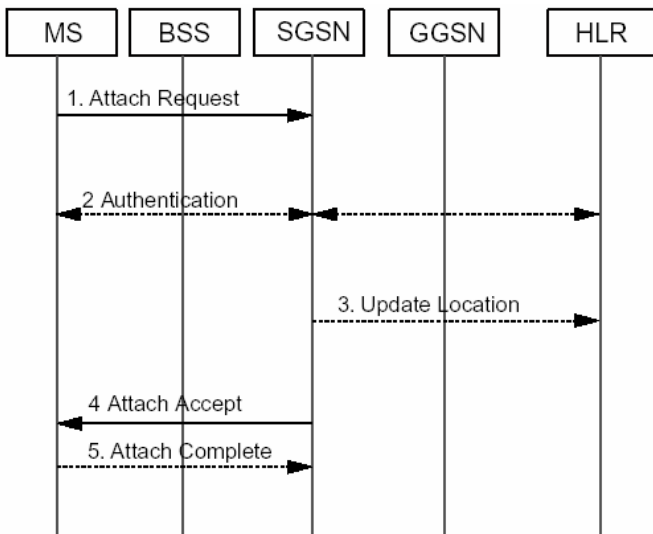
- Idle
- Standby
- Ready

Ve stavu idle není MS přihlášená a SGSN nemá platný záznam o její poloze. MS není schopna přijímat ani paginové informace o příchozích datech.

Ve stavu standby je MS přihlášená do GPRS sítě, ale není schopna provádět datové přenosy. V SGSN existuje platný zá-

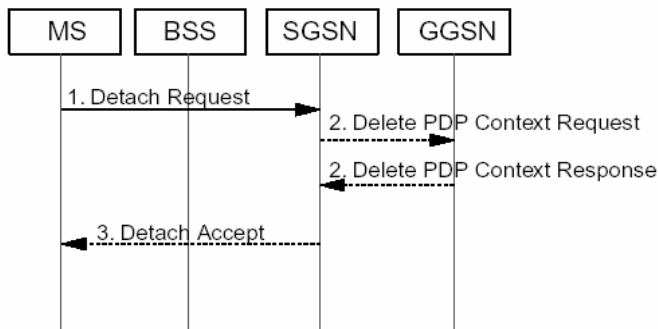
znam o dané MS. Přesná poloha MS není známa a v účastnickém profilu je uložena informace pouze o RA. V tomto stavu MS nemusí provádět RA update při každé změně buňky a jsou tak šetřeny přenosové prostředky a baterie MS. Při příchozím datovém spojení je přesná poloha MS zjištěna pomocí rozeslání paginových zpráv v rámci známé RA a MS se přepne do stavu ready, ve kterém je již schopna provádět datové přenosy. Účastnický profil v SGSN je doplněn o lokalizační informaci týkající se aktuální buňky, ve které se MS nachází. Setrvání v tomto stavu je hlídáno časovačem a po určité době po skončení datového přenosu je MS uvedena do stavu standby.

Průběh GPRS attach ukazuje obr.10.



Obr. 10 GPRS attach

1. MS vyšle žádost o GPRS attach, ve které uvádí svou identifikaci (IMSI nebo P-TMSI+RAI) a další údaje (kolik time slotů dokáže sloučit, attach type...)
2. Autentizace probíhá stejným způsobem pomocí tripletů jako v GSM. Pokud již existuje MM context (MS je přihlášená a pouze provádí RA update), není autentizace povinná.
3. Pokud došlo ke změně SGSN, je nutné aktualizovat účastnický profil v HLR. Dojde také k vymazání účastnického profilu v původním SGSN.
4. SGSN potvrdí MS úspěšný GPRS attach a případně přidělí nové P-TMSI.
5. MS potvrdí akceptování nového P-TMSI.



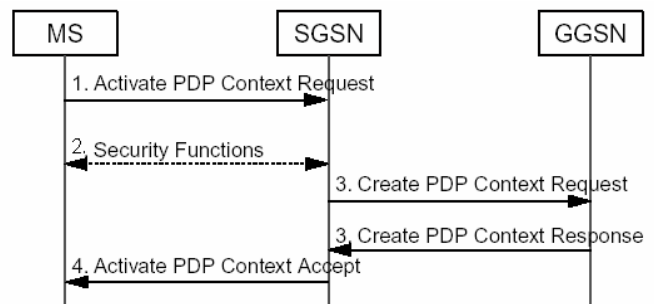
Obr. 11 GPRS detach

Pokud se chce MS odhlásit ze sítě, musí provést MS detach. Opět existují tři typy stejně jako v předchozím případě, a to IMSI detach, GPRS detach a kombinovaný IMSI/GPRS detach. MS detach může být proveden na žádost sítě (výpadek signálu) nebo na žádost MS (vypnutí telefonu). Průběh GPRS detach iniciovaného MS ukazuje obr.11.

1. MS žádá SGSN o detach a posílá svou identifikaci, detach type a důvod (zda se jedná o vypnutí telefonu)
2. SGSN inicializuje smazání PDP kontextu příslušné MS v GGSN
3. SGSN potvrzuje MS úspěšný detach (pouze v případě, že důvod nebyl vypnutí telefonu)

## 6.2 PDP context

Každá MS, která chce provádět datové přenosy, musí mít aktivovaný PDP context, který je uložený v MS, SGSN a v GGSN. Jedná se o uživatelské informace týkající se IP adresy, QoS a směrování. PDP context může být buď aktivní nebo neaktivní. V případě neaktivního PDP kontextu není možné směřovat příchozí data k MS. Aby MS mohla mít aktivní PDP context musí se nacházet ve stavu standby nebo ready. Pokud nemá MS přidělenou statickou IP adresu, GGSN přidělí adresu dynamickou při aktivaci PDP kontextu, viz obr.12.



Obr. 12 Aktivace PDP kontextu

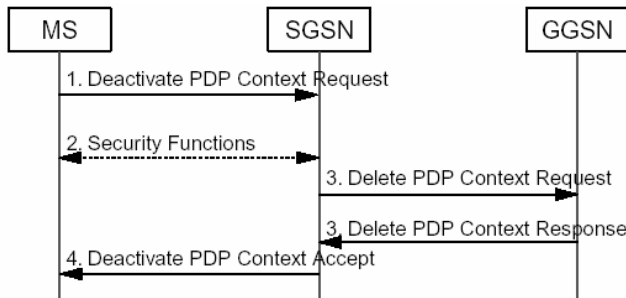
1. MS vyšle žádost o aktivaci PDP kontextu. Ve vyslané zprávě uvádí IP adresu (pouze v případě statické adresy), APN (označení externí datové sítě, do které se chce účastník přihlásit), QoS.
2. V tomto kroku může proběhnout autorizace, která ovšem není povinná.
3. SGSN vyhodnotí žádost o aktivaci a vytvoří pomocí tunelového protokolu GTP spojení s GGSN. GGSN vyhledá podle APN externí datovou síť a vyžádá pro MS IP adresu (pokud MS nemá přidělenou statickou IP adresu).
4. SGSN potvrdí úspěšnou aktivaci PDP kontextu.

Deaktivaci PDP kontextu může provést buď MS, SGSN nebo GGSN. Příklad, kdy deaktivaci inicializuje MS ukazuje obr.13.

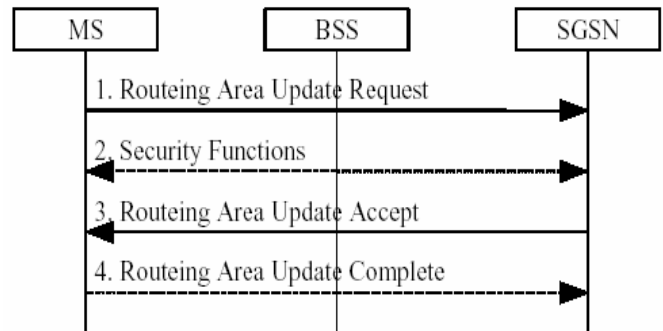
1. MS vyšle žádost o deaktivaci PDP kontextu.
2. V případě nutnosti může SGSN vyžadovat autorizaci MS.
3. SGSN vyšle zprávu směrem k GGSN se žádostí o vymazání příslušného PDP kontextu. Pokud MS měla při-

dělenou dynamickou IP adresu, je tato adresa nyní k dispozici dalším MS.

4. SGSN potvrdí MS úspěšnou deaktivaci PDP kontextu.



Obr. 13 Deaktivace PDP kontextu



Obr. 14 Intra RA update

Pokud při změně RA dojde i ke změně obsluhujícího SGSN je vyžadován inter RA update. Celou proceduru popisuje obr.15.

## 7 Lokalizační management

Údaje o poloze MS obsahuje tzv. MM context a je uložen v MS a v SGSN. Pro poskytování služeb MS nezávisle na poloze je nutné při každé změně buňky nebo RA tyto údaje v MM kontextu aktualizovat. Tato procedura se nazývá update a jsou rozlišovány tři základní typy:

- Cell update
- RA update
- Kombinovaný LA/RA update

### 7.1 Cell update

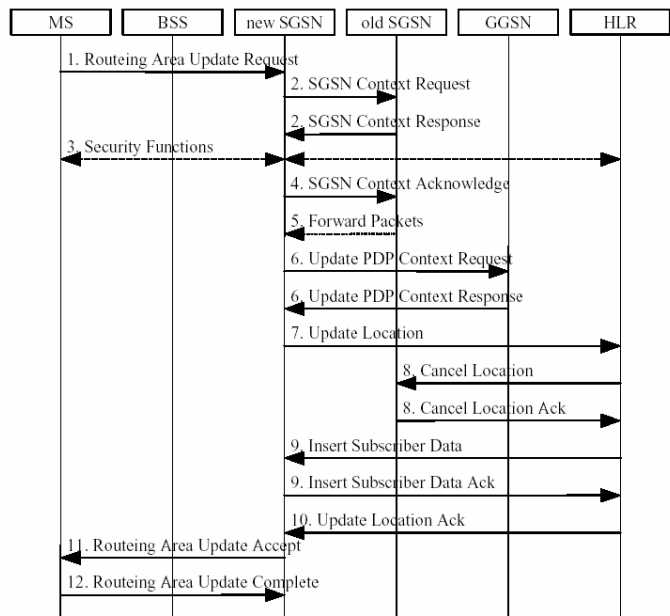
Pokud MS změní buňku v rámci jedné RA, je nutné tuto změnu nahlásit SGSN. MS vyšle zprávu, ve které se jednoznačně identifikuje, a BSC doplní jednoznačnou identifikaci buňky. V SGSN je aktualizován MM context.

### 7.2 Routing area update

Aktualizace RA nastává buď při změně RA nebo při periodickém update. Každá MS má nastavený časovač, který určuje, jak často se má MS hlásit síti, pokud nedojde k aktualizaci RA při změně polohy. Význam periodického update se projeví zejména při výpadku sítě, kdy dojde k vymazání MM kontextů některých MS. Díky periodickému update dojde do určité doby k obnovení lokalizačních údajů u všech MS.

RA update se dále rozlišuje na intra RA update a inter RA update (změna také obsluhujícího SGSN). Průběh procedury intra RA update ukazuje obr.14.

1. MS vyšle žádost o RA update, ve které uvádí původní RAI, P-TMSI a informaci, zda se jedná o periodický update. BSC doplní identifikaci buňky, RAC a LAC.
2. V případě nutnosti proběhne autorizace MS.
3. SGSN prověří novou RA, zda není pro příslušnou MS zakázána. Pokud MS má povolený přístup, SGSN aktualizuje její MM context a případně přidělí nové P-TMSI.
4. Pokud bylo MS přiděleno nové P-TMSI, potvrdí jeho akceptování.



Obr. 15 Inter RA update

1. MS vyšle žádost o RA update, ve které uvádí původní RAI, P-TMSI a informaci, zda se jedná o periodický update. BSC doplní identifikaci buňky, RAC a LAC.
2. Nový SGSN požádá původní SGSN o MM context a PDP context dané MS. V žádosti posílá identifikační údaje MS a svoji adresu. Původní SGSN zkontroluje P-TMSI a v případě souhlasu pošle MM context a PDP context. Pokud P-TMSI nesouhlasí, je požadována autentizace MS. Původní SGSN přestává posílat příchozí data směrem k MS a ukládá si je do paměti.
3. Probíhá autentizace MS pomocí tripletů.
4. Nový SGSN potvrzuje původnímu SGSN, že je již schopen směřovat data k MS. Uživatelský profil v původním SGSN je označen za neplatný.
5. Původní SGSN posílá uložená data (viz bod 2) k novému SGSN, který je může už poslat ke koncovému terminálu.

6. Nový SGSN posílá k GGSN zprávu o změně PDP contextu.
7. Domovský registr HLR je informován o změně SGSN
8. Domovský registr HLR informuje původní SGSN o tom, že již může vymazat MM context a PDP context příslušné MS. Až do této chvíle byly označeny pouze jako neplatné, aby mohly být jednoduše znovu použity v případě neúspěšného RA update.
9. Domovský registr HLR posílá k SGSN uživatelský profil.
10. Domovský registr HLR potvrzuje akceptování změny SGSN
11. Nový SGSN na základě obdrženého uživatelského profilu zjistí, zda se může MS přihlásit do nové RA (zda neexistují regionální omezení) a v kladné případě potvrdí MS úspěšný RA update.
12. MS potvrzuje akceptování nového P-TMSI, které přiřadil SGSN.

### 7.3 Kombinovaný RA/LA update

Při kombinovaném RA/LA update je zároveň obnoven uživatelský profil v MSC/VLR a v SGSN. Výhoda spočívá ve snížení zátěže signalizačních spojení. Podmínkou je existence rozhraní mezi SGSN a MSC/VLR.

## 8 Přenosové rychlosti v GPRS

Maximální dosažitelná přenosová rychlost je omezena rozhraním mezi MS a BTS. Při GPRS přenosech se využívá stejný mnohonásobný přístup TDMA/FDMA. Přenosová rychlost jednoho time slotu je 33,8 kbit/s, ale část datového toku musí být věnována pro řízení sítě, např. handover nebo synchronizaci. Dostupná přenosová rychlost pro uživatelská data je 22,8 kbit/s. V tomto datovém toku je ovšem ještě zahrnuta redundantní informace pro zabezpečení proti chybám. Podle kvality signálu lze zvětšovat nebo zmenšovat míru zabezpečení a tím i užitečnou přenosovou rychlost. V „klasických“ GSM přenosech je přenosová rychlost buď 9,6 kbit/s nebo 14,4 kbit/s. V GPRS přenosech existují čtyři kódovací schémata, která jsou volena podle kvality signálu:

- CS-1            9,06 kbit/s
- CS-2            13,4 kbit/s
- CS-3            15,6 kbit/s
- CS-4            21,4 kbit/s

Při alokaci všech 8 time slotů z TDMA rámce tak dosahuje maximální přenosová rychlost hodnoty 171,2 kbit/s. Tato hodnota je však pouze teoretická a v praxi nedostupná. Počet alokovaných time slotů řídí MS a síť. V současné době se na trhu nejčastěji objevují MS schopné obsloužit 3+1 (downlink/uplink) time slotů. Používaná kódovací schémata jsou ponejvíce CS-1 a CS-2 a v řídkých případech také CS-3 a CS-4. Reálná přenosová rychlost se tak pohybuje kolem 40 kbit/s při downlinku a 13,4 kbit/s při uplinku s použitím CS-2 a 60 kbit/s při downlinku a 21,4 kbit/s při s použitím CS-4.

## 9 Shrnutí

Zavedení paketových přenosů GPRS do stávajících GSM sítí s sebou přináší mnoho výhod. V první řadě dochází k efektivnějšímu využívání přenosových prostředků, které jsou dynamicky přidělovány podle potřeby uživatele a okamžitého zatížení sítě. Podstatnou změnu oproti HSCSD představuje i způsob tarifikace. U GPRS je účastník zpoplatněn za objem přenesených dat a ne za dobu připojení. Další výhoda spočívá v tom, že po aktivaci PDP contextu je uživatel stále připojen k datové síti, aniž by platil za dobu připojení. Výše uvedené výhody lze využít např. pro periodické vyzvedávání elektronické pošty, synchronizaci dat s podnikovými databázemi nebo jen obyčejné procházení Internetu.

## Literatura

- [1] Zvonar, Z.-Jung, P.-Kammerlander, K.: GSM-Evolution Towards 3rd Generation Systems. Kluwer Academic Publishers 1999
- [2] 3GPP TS 03.60 version 7.9.0 Release 1998:GPRS Service Description
- [3] 3GPP TS 01.61 version 7.0.0 Release 1998: GPRS ciphering algorithm requirements
- [4] Materiály Ericsson

### Použité zkratky:

BSC	Base Station Controller
BSS	Base Station Subsystem
BSSGP	Base Station Subsystem GPRS Protocol
BTS	Base Transceiver Station
CS	Circuit Switched
FDMA	Frequency Division Multiple Access
GGSN	Gateway GPRS Support Node
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Group Special Mobile
GTP	GPRS Tunneling Protocol
HLR	Home Location Register
HSCSD	High Speed Circuit Switched Data
IMSI	International Mobile Subscriber Identity
IMSI	International Mobile Subscriber Identity
LA	Location Area
LAI	Location Area Identity
LLC	Logical Link Control
MAC	Medium Access Control
MCC	Mobile Country Code
MM	Mobility Management
MNC	Mobile Network Code
MS	Mobile Station
MSC	Mobile Switching Center
MSIN	Mobile Subscriber Identity Number
MSISDN	Mobile Subscriber ISDN Number
NSAPI	Network Service Access Point Identifier
PCU	Packet Control Unit
PDP	Packet Data Protocol
PLMN	Public Land Mobile Network
PSTN	Public Switched Telephone Network
QoS	Quality of Service
RA	Routing Area
RAI	Routing Area Identity
RLC	Radio Link Control
SGSN	Serving GPRS Support Node
SNDPCP	SubNetwork Dependent Convergence Protocol
TCP	Transfer Control Protocol
TDMA	Time Division Multiple Access
TFI	Temporary Flow Identity
TLI	Temporary Logical Link Identification
TLI	Temporary Logical Link Identity
TMSI	Temporary Mobile Subscriber Identity
UDP	User Datagram Protocol
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
VLR	Visitor Location Register

## DRUŽICOVÝ SEGMENT UMTS

Rostislav Kramský

ATE spol. s r. o., Hradec Králové

Pozemské sítě nestačí vyhovět všem požadavkům, klade-ným v současné době na mobilní komunikace. Nemohou například zajistit pokrytí v odlehlých oblastech Země a na moři. Družicová síť může celosvětové pokrytí zajistit, musí ale respektovat nároky na širokopásmové spojení mobilní stanice, přenos signálu v reálném čase a zajištění kvality služeb. V tomto článku se seznámíme s družicovou částí mobilní sítě třetí generace UMTS, označovanou jako S-UMTS.

### 1 Úvod

Kvůli narůstajícím požadavkům na mobilní multimediální služby podporující vysoké bitové toky se ATM, TCP/IP a družicové technologie stávají středem zájmu jako prostředek k vybudování celosvětové internetové infrastruktury. V tomto scénáři dochází ke stírání rozdílu mezi pozemskými a družicovými komunikačními systémy, stejně jako mezi pevnými sítěmi a mobilními sítěmi třetí generace.

Cílem mobilní sítě třetí generace IMT2000/UMTS (International Mobile Telecommunications after the year 2000/Universal Mobile Telecommunication System) je rozšířit možnosti sítí druhé generace o vysokorychlostní přenosy s podporou mobilního internetu, přenosu dat, e-mailových zpráv, hlasu a dalších širokopásmových služeb.

Družicový segment UMTS (S-UMTS) poskytne globální pokrytí a také možnost využívání sítě uživatelům UMTS v rozvojových zemích. Mezinárodní společenství se shoduje na potřebě celosvětového pokrytí. V tomto ohledu bude hrát významnou roli družicový segment globální informační infrastruktury.

V Evropě se pozemský segment systému třetí generace zaměřuje na přenos pokročilých multimediálních služeb při přenosové rychlosti 144 kb/s (nebo přednostně 384 kb/s) pro rychle se pohybující uživatele a široké pokrytí a 2 Mb/s pro pomalu se pohybujícího uživatele a lokální pokrytí. Pro družicový segment uvažuje UMTS s bitovou rychlostí 144 kb/s. Předpokládá se použití přístupové metody SW-CDMA (Satellite Wideband – Code Division Multiple Access) a SW-CTDMA (Satellite Wideband – Code/Time Division Multiple Access), která kombinuje kódový a časový multiplex. V současné době předpokládá standard UMTS provoz na kmitočtech 1885-2025 MHz a 2110-2200 MHz s rezervací pásma pouze 30 MHz pro družicový segment.

Družicové spojení může pomoci exponenciálnímu růstu Internetu a aplikacím založených na TCP/IP, zvláště když multimediální služba potřebuje širokopásmový přístup nebo šířku pásma na vyžádání. A tak se ATM (Asynchronous Transfer Mode), TCP/IP a družicové technologie stanou základem globálního komunikačního systému. Modifikovaná technologie ATM, přizpůsobená pro družicový segment se označuje jako S-ATM. Družicový protokol S-IP umožní přenos pomocí „Internet Protokolu“, se schopností přímého připojení na páteřní IP síť s možností rozšíření o nové Internetové standardy jako IPv6, RSVP (Resource Reservation Protocol) a „Mobile IP“.

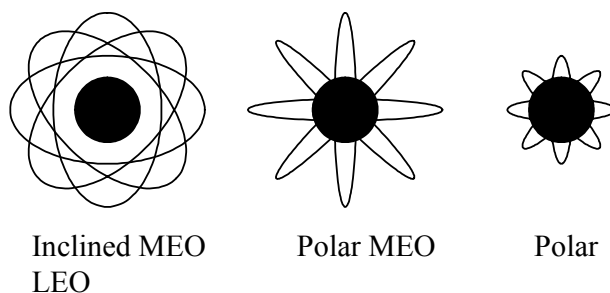
### 2 Vícedružicové systémy

Vícedružicové systémy (MSS - Multi Satellite System) jsou družicové systémy s více družicemi. Ze všech konfigurací vyčleníme tři skupiny, rozdělené podle výšky orbitálních drah:

- 1) LEO (Low Earth Orbit) – družice na nízkých oběžných drahách.
- 2) MEO (Middle Earth Orbit) – družice na středních oběžných drahách 3000 km až GEO.
- 3) GEO (Geostationary Earth Orbit) – družice na geostacionární oběžné dráze.

Družicové systémy typu GEO s jednou družicí jsou často s minimální vlastní „inteligencí“ a bez spolupráce s ostatními družicemi. Výhodou takového systému je stálá poloha družice, která nemizí za obzorem. Tato družice musí být umístěna nad rovníkem a proto je v blízkosti pólů velmi nízko nad obzorem. Družice musí být umístěna v relativně velké vzdálenosti od země, proto takový družicový spoj má zpoždění přibližně půl vteřiny a tak je nepoužitelný pro přenos signálu v reálném čase, jako je třeba telefonní hovor. Tyto družice obecně poskytují špatný signál v zástavbě a ještě horší uvnitř budov.

V nových širokopásmových systémech s nízkým zpožděním musí být družice viditelné pod velkými elevačními úhly, proto je třeba použít více družic v jiné než geostacionární konfiguraci. V úvahu přicházejí systémy družic na středních drahách MEO a na nízkých drahách LEO. Následující obrázek ukazuje pro tento účel vhodné vícedružicové systémy.



Obr. 1 Rozmístění družic na oběžných drahách, pohled ve směru pólu.

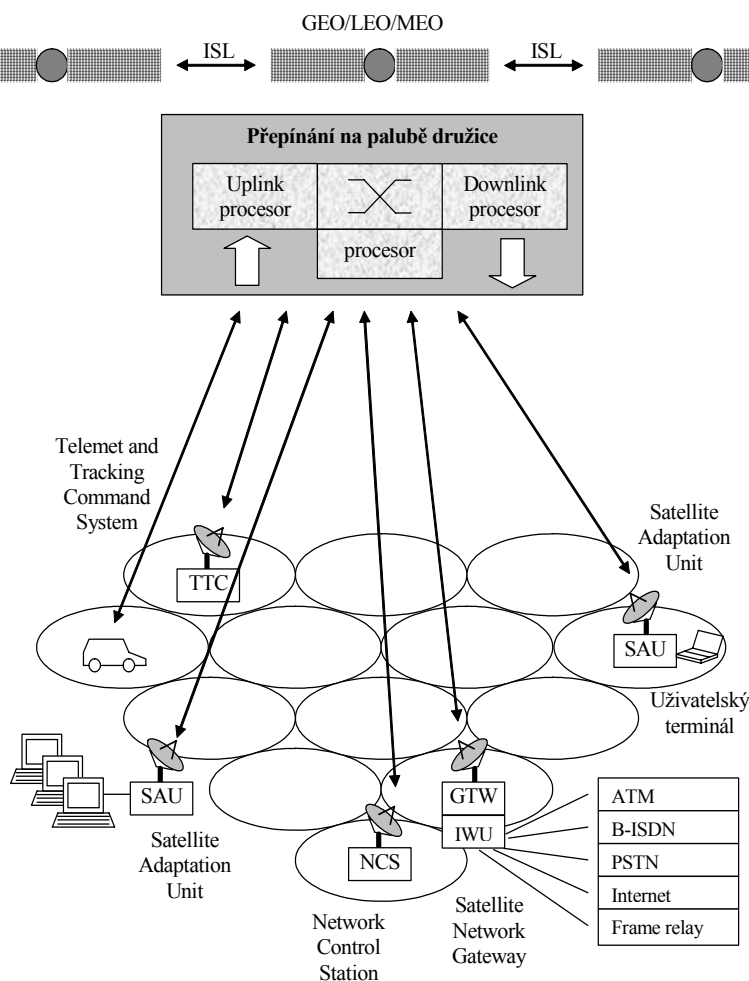
Družice LEO mají jednocestné zpoždění přibližně 10-40 ms v porovnání s 250 ms u geostacionární družice. Nízká orbitální výška má za následek nutnost použít více družic. Větší rychlost vůči Zemi způsobuje výrazný Dopplerův efekt.

Sítě MEO s operační výškou 3000 km až GEO budou dobrým kompromisem mezi GEO (velké zpoždění) a LEO (nároky na předávání spojení). Navíc každá družice je vidět již hodinu před nutností přepnout na další.

### 3 Architektura sítě

Výběr typu rozmístění družic má významný vliv na návrh družicové sítě. Důležitým parametrem družicové sítě je závislost na infrastruktuře pozemské sítě. Spojení mezi družicemi (ISL – Inter Satellite Link) je prostředkem pro signalizaci v případě, že neexistuje pozemská infrastruktura. Například většina GEO systémů nepotřebuje pozemské spojení mezi pozemskými stanicemi. MEO a LEO systémy potřebují jen málo spojů s pevnými pozemskými stanicemi v případě, že použijeme spojení mezi družicemi – ISL, v opačném případě jsou silně závislé na rychlé pozemské páteřní síti.

Následující obrázek ukazuje architekturu dynamické více-paprskové družicové sítě a její propojení s pevnou pozemskou sítí.



Obr. 2 Architektura dynamické více-paprskové družicové sítě.

Každá oblast obsluhovaná družicí má alespoň jednu pozemskou stanicí, která je připojena do pozemské sítě a má funkci družicové brány (GTW – Satellite Network Gateway). Mezi-družicová spojení jsou určena k omezení počtu právě těchto bran. SAU (Satellite Adaptation Unit) převádí protokol terminálu na protokol družicové sítě a poskytuje standardní rozhraní, podobné rozhraní UNI (User Network Interface) v sítích ATM. NCS (Network Control Station) je centrální jednotka, která řídí využívání zdrojů družicové sítě.

V negeostacionárních sítích většinou tuto funkci zastávají různé družicové brány GTW.

V družicových osobních komunikačních sítích může mít pevná pozemská stanice (FES – Fixed Earth Station) stejnou funkci jako MSC (Mobile Switching Center) v síti GSM. Při příjmu volání je vhodnější směřovat volání na FES, která má větší pravděpodobnost spojení udržet.

Mobilní stanice by měla využívat družici, která poskytuje neoptimálnější kanál, dokonce i tehdy, když nemá přímé spojení na cílovou FES. Omezení výběru družice pouze na ty, které mají přímé spojení s cílovou FES by ovlivnilo kvalitu služeb (QoS), která má přímou vazbu na kvalitu signálu mezi mobilní stanicí a družicí. Jestliže pro spojení použijeme místo nejvyšší družice druhou nejvyšší, dosáhneme z pohledu předávání spojení větší překrývající oblast a tím lepší podmínky pro jeho úspěšné provedení.

Vzhledem k dynamickému pohybu družic v LEO a MEO systémech by převzetí postupů k zajištění mobility z GSM standardu vedlo k významnému zvýšení nároků na signalizaci, proto se používá alternativní metoda. V této metodě se provádí obnova polohy mobilní stanice až po změně polohy o předem stanovenou vzdálenost od bodu, kdy měla stanice poslední kontakt se sítí. Pohyb uživatele se monitoruje pomocí družicového polohovacího systému.

V dynamických družicových ATM sítích je možné použít hodně prvků z bezdrátových ATM sítí, jako například koncept virtuálního propojovacího stromu. Podle tohoto algoritmu se mohou mobilní terminály volně pohybovat po velké ploše, která je pokrytá několika rádiovými přístupovými body. Předávání spojení je zajištěné pomocí předdefinované skupiny čísel virtuálních okruhů pro každou aktivovanou cestu. Mobilní uživatel je přijatý do virtuálního propojovacího stromu buď stanice GTW (Network Gateway), která pokrývá omezenou oblast nebo ATM přepínač pevné sítě. Virtuální stromy se dynamicky vytvářejí a uvolňují podle pohybu družic. Pokaždé, když mobilní stanice přistupuje k družici, aby navázala spojení, může být vypočítána její přesná poloha a může být přesně předpovězen čas jejího dalšího požadavku na předání spojení. Toto je velká výhoda proti pozemským mobilním sítím.

### 4 Spojení mezi družicemi

Systémy LEO s malým zpožděním jsou atraktivním řešením pro družicové připojení k internetu. Důležitým úkolem při návrhu tohoto systému je spojení mezi družicemi, které je vzhledem k pohybu družic časově proměnné. Jde o síť s časově proměnnou topologií.

Spojení dvou mobilních stanic v případě, že obě mají spojení s totožnou družicí nečiní potíže, protože k přepojování dochází pouze na palubě jedné družice. V případě spojení dvou stanic, z nichž každá má spojení s jinou družicí je to již složitější. Je totiž nutné řešit dynamické spojování mezi družicemi, které se vůči sobě pohybují. Jednou z metod jak řešit dynamické spojování mezi družicemi je metoda DT-DVTR.

Algoritmus metody DT-DVTR (Discrete-Time Dynamic Virtual Topology Routing):

- 1) Rozmístění družic se periodicky opakuje s periodou, která je dána nejmenším společným násobkem orbitální periody a periody rotace Země. Metoda v prvním kroku vypočte virtuální topologii (polohy všech družic) pro všechny diskrétní časové okamžiky s ohledem na pohyb družic a rotaci Země v celkovém intervalu podle předchozí věty.
- 2) Pro každou dvojici družic a každý časový krok vypočítá tabulky alternativních cest.
- 3) Několik tabulek pro následující časové kroky uloží do paměti družic, odkud jsou přečteny, když se změní časový krok.
- 4) Výběr cesty v určitých časových krocích řídí optimalizační algoritmus.

ATM verze metody DT-DVTR společně s promyšlenou volbou cesty dosahuje z hlediska přepínání cest dobrých výkonů, dokonce i v prostředí s přepínáním spojením mezi družicemi (ISL), jako například v polárním systému Iridium.

## 5 Hospodaření s kmitočtovým spektrem

S ohledem na omezené spektrum přidělené vícedružicovému systému LEO, bylo vypracováno několik strategií, jak s tímto spektrem zacházet:

*FCA (Fixed Channel Allocation)*

Při použití této techniky má každá buňka pevně přidělený počet kanálů. V každé buňce může být současně přijaté pouze omezené množství hovorů. Při vyčerpání všech zdrojů je další spojení blokováno.

*DCA (Dynamic Channel Allocation)*

Tato technika umožňuje kterýkoliv kanál dočasně přidělit kterékoli buňce. Novému volání je přidělený kmitočet také podle požadavku omezení interferencí. Tato strategie je vzhledem k omezení interferencí a schopnosti reagovat na časově proměnné zatížení jednotlivých buněk vhodná pro použití v systémech LEO.

*SMP (Simplified maximum packing)*

Jde o modifikovanou DCA techniku. Dosahuje dobrých výsledků při nestejném zatížení sítě. Hlavní nevýhodou jsou velké nároky na výpočetní výkon.

V systému LEO jsou požadavky na předávání spojení mezi jednotlivými paprsky během volání extrémně časté. Předávání spojení mezi paprsky můžeme očekávat jednou za minutu nebo i častěji a při každé změně paprsku může být spojení přerušeno kvůli neúspěšnému předání. Z pohledu uživatele je přerušeno již probíhajícího spojení méně žádoucí než blokování nového

příchozího volání. Proto systém LEO–MSS potřebuje specifické techniky k zajištění požadavku priority na předávání spojení před novým voláním, aby pokud možno co nejvíce snížil pravděpodobnost přerušeno již navázaného spojení.

Když mobilní uživatel s probíhajícím spojením přechází z jedné buňky do druhé, existuje překrývající oblast, kde tento uživatel přijímá signál s přijatelným výkonem z obou buněk. Předávání spojení mezi paprsky, založené na technice řazení do fronty (QH – Queuing of handover requests) je základem pro zajištění kvality služby (QoS – Quality of Service) v systémech LEO–MSS.

Nejobecnější metoda řazení do fronty je technika FIFO (First In First Out), kde se požadavky na předávání spojení řadí podle času příchodu požadavku. V jiném postupu, nazývaném LUI (Last Usefull Instant) procesor na palubě družice přesně spočítá čas, který zbývá každé stanici do opuštění překrývající oblasti a požadavky řadí podle tohoto času. První bude vybaveno předání spojení stanice, které zbývá do opuštění překrývající oblasti nejméně času.

Technika ABSR (Adaptive Bandwidth Reservation Scheme) je použitelná pro FCA i DCA metodu v dynamických družicových sítích. Výpočet stavových informací nazývaných MRS (Mobility Reservation Status) se provádí při každém navázání spojení, zrušení spojení nebo při předání spojení. Toto poskytuje v každém okamžiku aktuální informaci o požadavku na šířku pásma všech aktivních spojení každého paprsku a navíc o požadavcích sousedních paprsků. Při zpracování nových volání a požadavků na předání spojení se používají dvě mezní hodnoty. Nové volání je v rámci paprsku přijaté, když má tento paprsek dostatek volných kanálů a MRS nepřekročil stanovenou mezní hodnotu. Předání spojení je úspěšné, když má cílový paprsek dostatek kanálů a jeho MRS nepřekročil stanovenou mez. Algoritmus pro přidělování pásma je dost jednoduchý na to, aby mohl být vyhodnocovaný v reálném čase.

## 6 Protokoly

V širokopásmových družicových sítích mohou být k zajištění kompatibility s ATM zařízeními použity dva hlavní postupy:

- Zapouzdření ATM protokolu a použití rychlého přepínání paketů v družicovém segmentu. Tento přístup má výhodu snadné implementace, družicový protokol je transparentní a umožňuje zapouzdřit různé protokoly, které není třeba pro tento účel upravovat.
- Použití specializovaného družicového ATM protokolu, kde S-ATM vrstva nahradí standardní vrstvu ATM.

Oba dva přístupy mají některé vlastnosti velmi podobné a označují se pojmem „ATM kompatibility“. Z tohoto pojmu vyplývá společná pevná velikost informační jednotky, která putuje samostatně různými typy sítí a může přenášet řídicí příkazy nebo data. Toto je závislé na velmi rychlém přepínání v nižších vrstvách komunikačních protokolů. Je možné předpokládat, že během příštích dvou až pěti let dojde k přidělení K pásma pro novou modifikovanou verzi ATM protokolu (S-ATM), která bude respektovat specifika družicového spojení při minimálních změnách současného ATM protokolu.

## 7 Rádiové rozhraní

Důležitými charakteristikami družicové sítě jsou zpoždění a rozmístění družic. Měření zpoždění v pásmu L bylo v minulosti provedeno několika organizacemi pro systémy LEO, MEO i GEO. Na vyšších kmitočtech v EHF pásmu ukazují nové výzkumy, že u přímého signálu se projevuje odstínění (shadowing) a mimo města se odrazy uplatní vzácně. V porovnání s výsledky měření v L pásmu, prováděném ve stejném místě, je v pásmu EHF počet odrazů výrazně menší a útlum odrazů vyšší. V městském prostředí je vliv odstínění pro přímý signál výraznější a počet odrazů vyšší. Řešení jak omezit vliv odstínění je „trasová“ nebo „družicová“ diversita. Družicová diversita je obecný příklad, kdy minimálně dvě družice pokrývají danou oblast na Zemi. Důsledkem je překrývání ploch, které jsou definovány oblastí, kde jsou družice viditelné pod určitým elevačním úhlem. Družicové antény mohou být konfigurovány tak, aby pokryly danou oblast buď pevnými paprsky nebo paprsky, které dynamicky mění svůj tvar a velikost při využití aktivních anténních polí. V obou případech je nejdůležitějším požadavkem kontinuální pokrytí dané oblasti.

Systémy třetí generace (UMTS) přebírají metodu W-CDMA kvůli dobrému opakovanému užití kmitočtů, snadnému přizpůsobení službám s různými rychlostmi přenosu a schopnosti adaptivního omezení interferencí. CDMA je také základem S-UMTS.

TCH kódy (Tomlinson, Cercas, Hughes) patří do třídy binárních, nelineárních, nesystematických a cyklických blokových kódů s délkou  $n = 2^m$ . Mají dobré vlastnosti pro FEC (Forward Error Correction) a při použití signálového procesoru umožňují realizovat velmi jednoduchý dekodér. Kódy mají dobré korelační vlastnosti pro omezení interferencí různých kanálů a dobré autokorelační vlastnosti pro synchronizaci.

## 8 Závěr

V tomto článku jsme si přiblížili problematiku družicového segmentu S-UMTS mobilní sítě třetí generace UMTS, který může zajistit opravdu celosvětové pokrytí signálem pro univerzální síť pro mobilní i pevné pozemské stanice.

Význam této sítě je v tom, že nabídne uživateli nový kvalitativní skok v poskytovaných službách tím, že umožní spojení dvou lidí kdykoliv, ať jsou kdekoliv na Zemi. Tato výhoda „neomezené“ dosažitelnosti bude samozřejmě využita i při spojení člověk-stroj nebo stroj-stroj.

Síť umožní poskytovat služby se šířkou pásma na vyžádání, tedy i video a rychlý přístup na internet. Na této bázi bude v budoucnu založeno mnoho nových služeb, které byly se současnými prostředky jen těžko proveditelné nebo neuskutečnitelné.

## Literatura

- [1] Re E. - Pierucci L.: Next-Generation Mobile Satellite Networks, IEEE Communications Magazine, Sept. 2002, Vol. 40 No. 9, pp. 150 - 159
- [2] Sestini F. - Schwartz S. - Fernandes J.: Expanding the Wireless Universe: EU Research on the Move, IEEE communications, Oct. 2002, Vol. 40 No. 10, pp. 132 - 140
- [3] Hu Y. - Li V.: Satellite-Based Internet: A Tutorial, IEEE Communications, March 2001, Vol. 390 No. 3, pp. 154 - 162

## PŘÍLOHA (NEJEN) PRO MLADÉ INŽENÝRY SLABOPROUDÝ OBZOR

### Počítačová analýza a simulace – část 1

Dalibor Biolek

*Katedra elektrotechniky a elektroniky, Univerzita Obrany Brno*

#### Abstrakt

V úvodní části seriálu o počítačové analýze a simulaci elektronických obvodů je detailně popsána časová neboli „tranzientní“ analýza. Výklad je orientován na simulační programy rodiny SPICE. Problematika časové analýzy je demonstrována v prostředí programu MicroCap na konkrétních příkladech, které jsou součástí instalačních souborů volně dostupných na Internetu.

**Klíčová slova:** SPICE, MicroCap, časová analýza, stavové proměnné, počáteční podmínky, pracovní bod, ustálený stav, .IC, .NODESET

#### Abstract

Transient analysis is described at large in this introductory article about computer analysis and simulation of electronic circuits. The explanation is focused on SPICE-family simulation programs. Problems of transient analysis are illustrated in MicroCap environment on concrete examples which are included in installation of MicroCap free evaluation version.

**Keywords:** SPICE, MicroCap, Transient Analysis, State Variables, Initial Conditions, Operating Point, Steady State, .IC, .NODESET

## 1 Úvod

Simulační programy, využívající výkonnost soudobých počítačů, otevírají dříve nevídané možnosti pro analýzu a simulaci dějů v složitých elektronických obvodech. Výsledkem historického vývoje, který započal zhruba v padesátých letech minulého století, jsou programy určené pro simulaci analogových obvodů („analogové simulátory“) a pro simulaci digitálních obvodů na logické úrovni („digitální simulátory“). Celosvětově rozšířeným standardem simulace analogových obvodů je program SPICE a jeho komerční verze [1-5], zatímco u digitální simulace existuje několik celosvětově používaných programů. Simulátory s přívlastkem „Mixed-Mode“ mají schopnost simulovat obvody na analogové i logické úrovni.

Programů pro analogovou, resp. smíšenou simulaci obvodů je dnes celá řada. Kromě simulátorů z rodiny SPICE (PSPICE, HSPICE, Spice-IT a další), jsou velmi zajímavé programy MicroCap [6-7], Tina [8], Electronics Workbench, resp. Multisim [9-10], a další. U nás vznikl zajímavý program CIA [11-12], který využívá modelů SPICE, jeho numerické algoritmy jsou však odlišné. Z programů vytvořených pro pracovní stanice jmenujme SABER [13] a ELDO [14]. Některé z programů, určené pro klasické počítače PC, které jsou dostupné zdarma nebo za symbolický poplatek, jsou představeny v knize [19].

V poslední době se kromě výše zmíněných standardních programů, jejichž matematickým základem jsou numerické metody řešení rozsáhlých soustav rovnic, objevují programy, pracující na tzv. symbolickém, resp. semisymbolickém principu [20]. Tyto programy mají schopnost prezentovat výsledky analýzy ve formě matematických vzorců. Protože interní algoritmy si činí extrémní nároky na výkon hardware, nacházejí tyto programy uplatnění až v současné době. K rozšířeným programům tohoto typu patří Analog Insydes [15], nadstavba softwarového balíku Mathematica. Symbolické výpočty umožňuje i program TINA, který jinak využívá numerické algoritmy. Programy CIA a Multisim poskytují

jednu z forem semisymbolických výpočtů – nulové body a póly obvodových funkcí. Tyto údaje získávají na základě čistě numerických metod. Z programů „dostupných pro každého“, které jsou založeny na symbolických algoritmech, jmenujme programy SNAP [16-20], COCO, COFACTOR a LTP2 [18], vzniklé na VUT v Brně.

V našem seriálu, který volně navazuje na článek „Analýza elektronických obvodů (nejen) na počítači“, Slaboproudý obzor, 4/2001, se budeme zabývat v praxi nejrozšířenějšími programy, jejichž jádro tvoří numerické algoritmy. Protože možnosti současných programů jsou značné, běžný uživatel má často takové problémy v orientaci, že není schopen simulátor efektivně využívat. Proto se zaměříme na popis nejrůznějších typů analýz, analyzačních módů a režimů, které jsou typické pro širokou třídu komerčních programů. Výklad a konkrétní ilustrační příklady vycházejí z programu MicroCap. Jeden z důvodů, který nás k tomu vedl, je snadná dostupnost výkonné evaluační verze tohoto programu, která je volně k dispozici na Internetu [6]. Z prostorových důvodů se nemůžeme věnovat základům počítačové simulace elektrických obvodů ani detailnímu popisu jednotlivých programů a způsobu jejich ovládání. Podrobnosti lze nalézt například v knize [21]. Náš text, který z ní vychází, je tedy určen zejména čtenářům, kteří již mají za sebou první krůčky ve využívání některého z programů, a zejména těm, kteří budou ochotni stáhnout si z Internetu MicroCap a při čtení si prakticky ověřovat popisované skutečnosti.

## 2 Typy analýz, analyzační módy a režimy

**Základními typy analýz** v numerických simulátorech jsou analýzy „Transient“ (časová analýza, simulace osciloskopu), „AC“ (kmitočtová analýza, simulace obvodového analyzátoru) a „DC“ (stejnoseměrná analýza, simulace charakterografu).

Různé simulátory nabízejí nad rámec těchto základních typů **rozšiřující analýzy**. Na obr. 2.1 jsou uvedeny typy, používané v MicroCapu.

analizační módy	základní typy analýz	analizační režimy
- Klasický - Probe (sonda)	- Transient (časová)... +ss. prac. bod + Fourier. analýza a DSP - AC (kmitočtová, střídavá) + šumová analýza a DSP - DC (stejnoseměrná)	- Klasický - Stepping (krokování) - Teplotní analýza - Performance Analysis (vyhodnocovací analýza) - Monte Carlo (statistická analýza) - Optimization (optimalizace)
	rozšiřující typy analýz	
	- Dynamic DC (dynamická stejnosměrná) - Transfer Function (přenosová funkce) - Sensitivity (citlivostní analýza) .....	

Obr. 2.1 Rozdělení typů analýz, analyzačních módů a režimů komerčních simulačních programů se zaměřením na MicroCap

Základní analýzy mohou být provozovány v tzv. **analyzačních módech**. Například základem práce v PSpice je klasický mód, což znamená posloupnost: tvorba modelu obvodu, analýza, zobrazení výsledků analýzy. MicroCap navíc umožňuje práci v interaktivním módu Probe, kdy je obrazovka rozdělena na dvě části. V jedné z nich je schéma obvodu, v druhé části se zobrazují výsledky analýzy. Uživatel kliká do různých míst ve schématu (uzly, součástky..) a bezprostředně se mu objevují výsledky analýzy, například časové průběhy signálů v příslušných uzlech, kmitočtové charakteristiky apod. V tomto módu je tedy imitováno používání měřicích sond (Probe) v laboratoři.

Dále je možno základní typy analýz provozovat v několika **analyzačních režimech**. Kromě klasického režimu se často využívá režimu „Stepping“ – krokování, neboli režimu vícenásobné analýzy, kdy je analýza prováděna opakovaně v cyklu, přičemž dochází ke krokování jednoho nebo několika parametrů součástek obvodu. Speciálním případem vícenásobné analýzy je teplotní analýza. Mnoho simulačních programů je kromě toho vybaveno dalšími režimy, zejména možnostmi statistické analýzy nebo optimalizace.

První dva typy základních analýz – „Transient“ a „AC“ – většinou nabízejí i další možnosti analýzy. V menu časové analýzy bývá možnost vybrat vyhodnocení stejnosměrného pracovního bodu obvodu. Dále je možno časové průběhy, získané analýzou, podrobit Fourierové transformaci a nalézt spektrum signálů, popřípadě provádět další operace nad signálem, které se označují zkratkou DSP („Digital Signal Processing“ – číslicové zpracování signálů).

Kmitočtová analýza bývá obvykle doplněna tzv. šumovou analýzou, jejímž cílem je posouzení, do jaké míry proniká vlastní šum jednotlivých součástek obvodu na výstupy. V rámci kmitočtové analýzy bývá možnost aplikace operací „DSP“ na kmitočtové charakteristiky například s cílem stanovení časových průběhů zpětnou Fourierovou transformací. Těchto možností analýzy se však využívá jen velmi okrajově.

V dalších částech probereme podrobněji tři základní typy analýz v klasickém analyzačním módu. Práci v módu Probe je možné snadno nastudovat z dokumentace MicroCapu. Zájemce o hlubší studium této problematiky, o rozšiřující typy analýz a analyzační režimy odkazujeme na [21] a na další zdroje uvedené na konci tohoto dílu.

### 3 Analýza „Transient“ neboli časová analýza

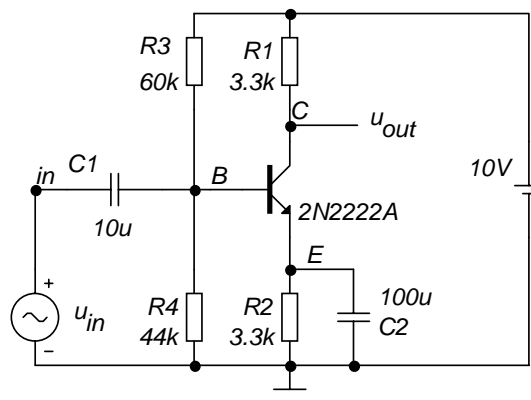
#### 3.1 Cíle analýzy

Prvotním cílem časové analýzy je imitace činnosti „inteligentního osciloskopu“, tj. zjišťování časových průběhů signálů v obvodu, který se může nacházet v libovolném přechodovém nebo ustáleném stavu.

Druhotné cíle časové analýzy mohou spočívat v různých způsobech dalšího zpracování analyzovaných signálů. Zde se často používá Fourierova analýza s cílem získání spektrálních charakteristik signálů.

#### 3.2 „Inteligentní osciloskop“

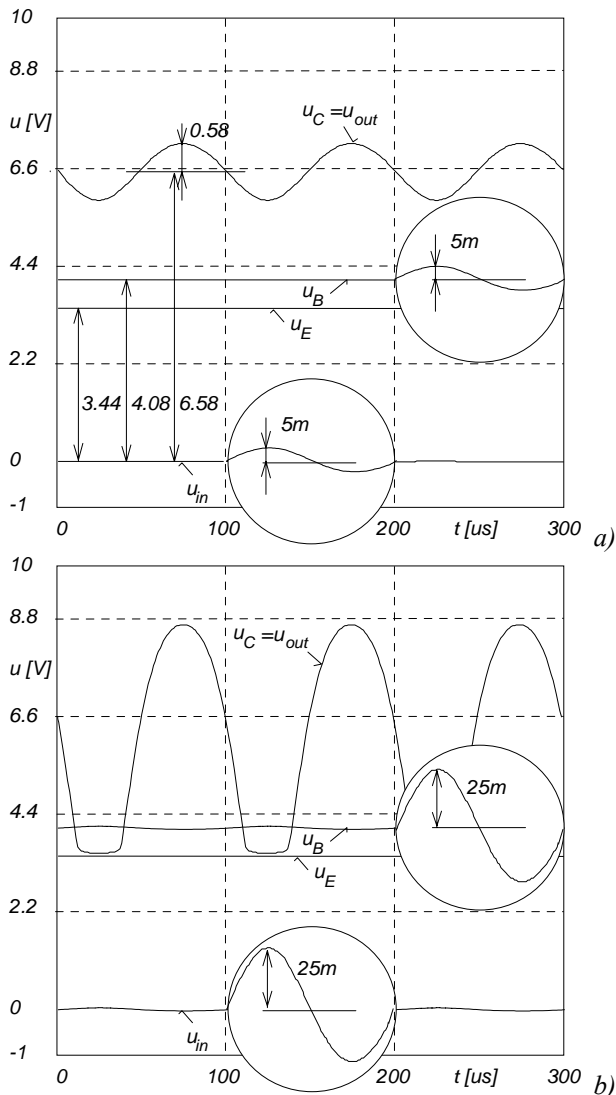
Uvažujme tranzistorový zesilovač na obr. 3.1. Pracovní bod tranzistoru je nastaven do třídy A. Na vstupu je harmonický signál o kmitočtu 10 kHz a nastavitelné amplitudě. Úkolem obvodu je signál napětově zesílit.



Obr. 3.1 Příklad analyzovaného tranzistorového zesilovače

Pomocí běžného osciloskopu je možné sledovat časové průběhy napětí v různých uzlech obvodu v ustáleném stavu. Ukázky jsou na obr. 3.2 a) a b) pro vstupní signál o amplitudách 5 mV a 25 mV.

Simulátor by při časové analýze měl umět mnohem více. Jednak by měl umožňovat zobrazení všech možných časových průběhů, které lze odvodit na základě napětí a proudů, například časový vývoj kolektorových ztrát tranzistoru, výkonovou účinnost zesilovače apod.

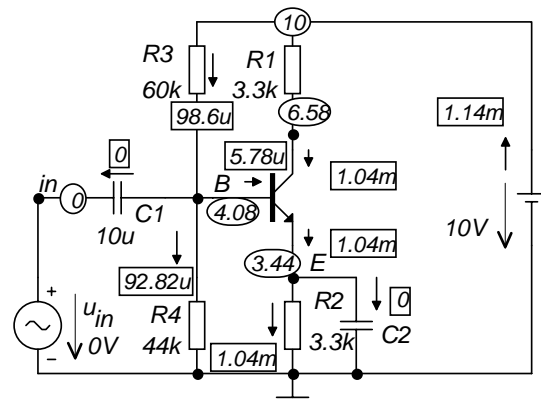


Obr. 3.2 Výsledky časové analýzy zesilovače z obr. 3.1 pro harmonický vstupní signál o amplitudách a) 5 mV, b) 25 mV

Dále by měl program simulovat činnost dokonalého paměťového osciloskopu k zaznamenávání jednorázových přechodných dějů. Na obr. 3.3 je ukázka děje, ke kterému by došlo po připojení napájecí baterie k zesilovači, přičemž zesilovaný signál zatím na vstupu nepůsobí (lépe řečeno, jeho

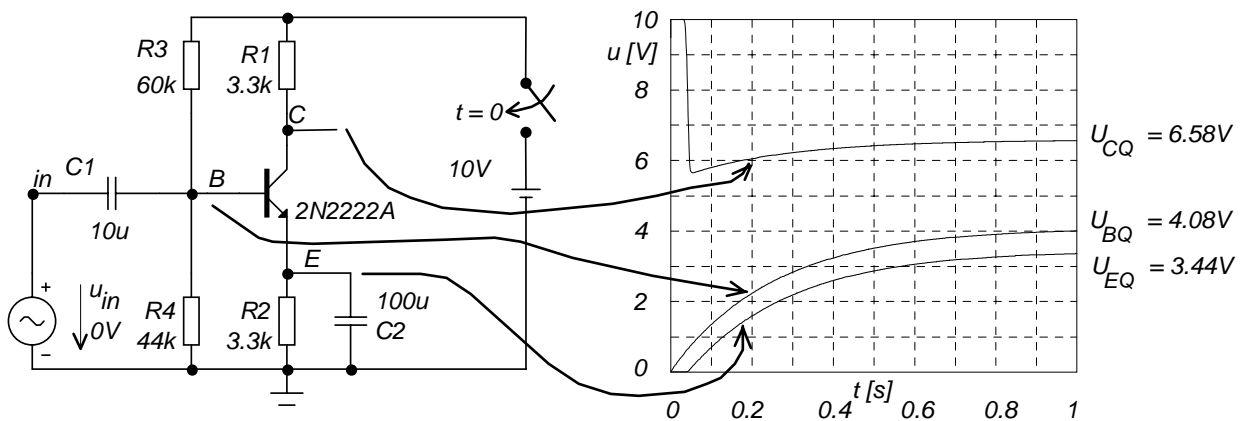
napětí je nulové). Vznikne přechodný děj, jehož výsledkem je „náběh“ obvodu do stejnosměrného ustáleného stavu. Ustálená napětí  $U_{BQ}$ ,  $U_{CQ}$  a  $U_{EQ}$  na bázi, kolektoru a emitoru pak můžeme považovat za souřadnice stejnosměrného pracovního bodu tranzistoru. Vidíme, že tento „náběh“ obvodu do pracovního bodu trvá asi sekundu. Průběh přechodu bude jistě záviset na tom, zda v okamžiku připojení napájecího zdroje byly všechny vnitřní akumulací prvky, včetně modelovaných parazitních, vybity či nikoliv. Tyto vlivy by měl program rovněž dokázat modelovat.

V řadě případů nás nemusí zajímat přechod do pracovního bodu, nýbrž jen daný pracovní bod jako takový. Program by měl dokázat „přeskočit náběh“, přímo vypočítat souřadnice pracovního bodu a prezentovat je uživateli vhodnou formou, například promítnutím stejnosměrných napětí a proudů přímo do schématického editoru, jak je ukázáno na obr. 3.4.

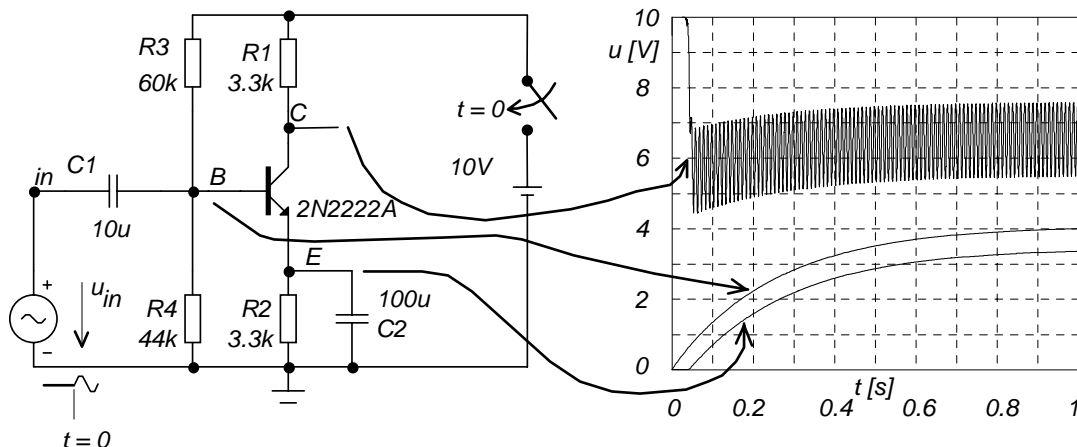


Obr. 3.4 Ukázka zobrazení stejnosměrných poměrů přímo ve schématu obvodu

Na obr. 3.5 je ukázka složitého přechodného děje, kdy současně s připojením napájecí baterie začíná na vstup zesilovače působit střídavý signál. Výsledkem jsou signály, které znázorňují pomalý přechod obvodu do ustáleného stavu. V našem případě tento přechod trvá řádově 10000 period vstupního signálu. Takováto simulace s sebou přináší vysoké nároky na paměť počítače i rychlost programu, nehledě na problémy s rozlišením grafiky. Proto je výhodné, umí-li si program řešení časových průběhů „rozkouskovat“ na posloupnost časově navazujících oken, kdy analýzu v daném okně naváže na výsledky analýzy na konci předchozího okna. MicroCap toto umožňuje v tzv. režimu LEAVE.



Obr. 3.3 Analýza ustalování stejnosměrných poměrů v zesilovači z obr. 3.1 po připojení napájecího zdroje



Obr. 3.5 Analýza složeného přechodného děje – reakce obvodu na připojení napájecího zdroje při současném působení vstupního signálu

Existuje řada elektronických obvodů, kdy náběh do periodických ustálených stavů trvá relativně velmi dlouho. Typickým příkladem jsou krystalové oscilátory. Při simulaci těchto obvodů bývá velmi ceněnou vlastností simulátoru okamžité nalezení ustáleného stavu. Bohužel z dostupných simulátorů se touto schopností může pochlubit snad jen program CIA. V MicroCapu je k studiu ustálených stavů nutno použít režim LEAVE. V příslušné kapitole se seznámíme s dalším dobrým nástrojem pro řešení podobných problémů, s možností spuštění simulace za přesně definovaných tzv. **počátečních podmínek**. Tato možnost je využitelná ve všech standardních simulátorech.

V následující kapitole provedeme shrnutí a zobecnění uvedených poznatků s cílem objasnit, jak správně nastavit simulátor podle toho, co konkrétně požadujeme v režimu „Transient“ analyzovat.

### 3.3 Stavové proměnné a počáteční podmínky pro časovou analýzu

Pro ilustraci uvažujme sériovou kombinaci rezistoru a kapacitoru. Připojíme-li k tomuto RC článku v čase  $t = 0$  zdroj napětí, bude časový průběh napětí na kapacitoru, sledovaný od počátečního času  $t = 0$ , záviset na dvou faktorech: 1. na časovém průběhu budicího signálu v čase  $t \geq 0$ , 2. na počátečním napětí, na něž byl kapacitor nabit v čase  $t = 0$ .

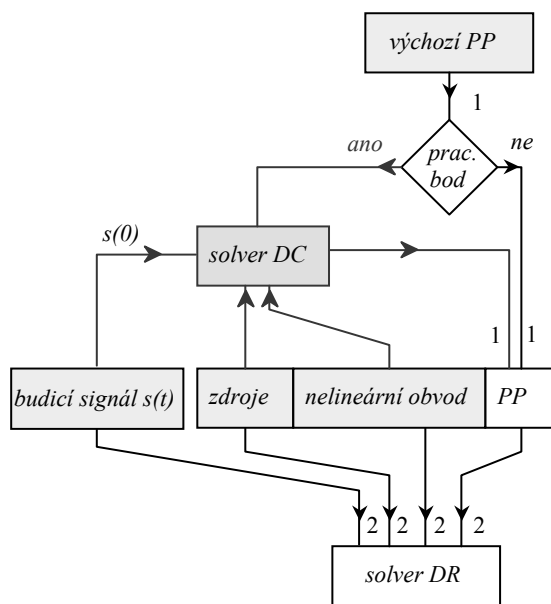
Po zobecnění dostáváme známou poučku: napětí na všech kapacitorech a proudy všemi induktory v obvodu jsou tzv. **stavové veličiny**. Definují (energetický) stav obvodu v daném okamžiku. Známe-li stav obvodu v čase  $t = 0$  a průběh budících signálů v časovém intervalu od 0 do  $T > 0$ , pak můžeme jednoznačně určit stav, do něhož obvod dospěje v čase  $T$ .

V analogových simulátorech se z praktických důvodů považují za stavové veličiny, kterým se zde říká **stavové proměnné** („State Variables“), všechna uzlová napětí plus proudy všemi induktory. Uzlová napětí jsou přímo neznámé, které simulátor průběžně počítá na základě modifikované metody uzlových napětí [21], a jednoznačně určují i napětí na kapacitorech, které z nich lze odvodit lineárními kombinacemi. Hodnoty stavových proměnných v počátečním čase simulace  $t = 0$  se nazývají **počáteční podmínky** simulace („Initial Conditions“, IC). Aby mohlo dojít k analýze v režimu „Transient“, potřebuje mít simulátor definované počáteční podmínky. Způsob jejich nastavení bude záviset na tom,

z jakého výchozího stavu obvodu si bude uživatel přát daný obvod analyzovat. Tato problematika bude podrobně popsána v další kapitole.

### 3.4 Jak postupuje simulátor při časové analýze

Jak uvidíme dále, před vlastní analýzou se musí uživatel simulačního programu rozhodnout pro určité nastavení parametrů simulace, které program nabízí. Jsou to zejména položky, rozhodující o tom, zda počítat stejnosměrný pracovní bod a jaké zvolit počáteční podmínky simulace. Uživatel nezalý věci raději ponechá implicitní nastavení těchto položek. Musí pak ovšem počítat s tím, že v některých situacích obdrží jiný výsledek simulace, než jaký požaduje. Ve výhodě jsou zde ti uživatelé, kteří rozumí pojmem „pracovní bod“ a „počáteční podmínka“ a zhruba vědí, jaký je postup simulátoru při řešení. Základní teoretické poznatky jsou shrnuty v již zmíněném článku v SO 4/2001. Je zde rovněž uvedeno zjednodušené znázornění interních mechanismů, působících v simulátoru při časové analýze (viz obr. 3.6).



Obr. 3.6 Zjednodušené schéma mechanismu časové analýzy v simulačním programu

Vstupy simulace jsou reprezentovány následujícími bloky: vlastním nelineárním obvodem, stejnosměrnými napájecími zdroji, signálovými zdroji a výchozími počátečními podmínkami PP (implicitně nulovými). V první fázi simulace, označené číslem 1, se definuje vektor počátečních podmínek. V druhé fázi (2) se vstupní data využijí k vlastnímu numerickému řešení časových průběhů v bloku řešení nelineárních diferenciálních rovnic (solver DR). Způsob definice vektoru počátečních podmínek závisí na tom, je-li povolen výpočet pracovního bodu (implicitně je povolen). Jednoduché je to při nepovolení: pak se výchozí počáteční podmínky překopírují do vektoru PP. Je-li vyžadován výpočet pracovního bodu, použijí se výchozí počáteční podmínky jako „násada“ pro iterativní řešení v solveru DC. Solver si z modelu obvodu „vypůjčí“ jeho rezistivní část, budící signály nahradí jejich tzv. DC atributy, a provede řešení. Nalezený pracovní bod se pak překopíruje do vektoru počátečních podmínek a stává se počátečním bodem, od něhož se odvíjí řešení časových průběhů.

Činnost solverů DC a DR lze do jisté míry ovlivňovat pomocí parametrů v globálních podmínkách simulátoru. Blíže je o tom pojednáno v [21].

Výše popsanou strukturu řešení z obr. 3.6 musíme respektovat při volbě strategie simulace konkrétních obvodů. Problematiku ukážeme na konkrétních příkladech v části 3.6.

### 3.5 Menu „Transient Analysis Limits“

Toto menu je pro program MicroCap 7 ukázáno na obr. 3.7. K vysvětlujícímu obrázku 3.6 mají úzký vztah položky „State Variables“, „Operating Point“, „Operating Point Only“.

„State Variables“ (stavové proměnné).

Zde se definují počáteční podmínky analýzy. Je třeba vybrat z těchto možností:

Zero Nulové počáteční podmínky.

Read Počáteční podmínky se načtou ze souboru.

Leave První běh analýzy je proveden s nulovými počátečními podmínkami. Stav obvodu na konci analyzačního běhu se zapamatovává a stává se výchozími počátečními podmínkami pro další běh.

„Operating Point“ (pracovní bod).

Zatržením/nezatržením této položky realizujeme rozhodování, které je na obr. 3.6 znázorněno rozhodovacím blokem „prac. bod ano/ne“.

„Operating Point Only“ (počítat jen pracovní bod).

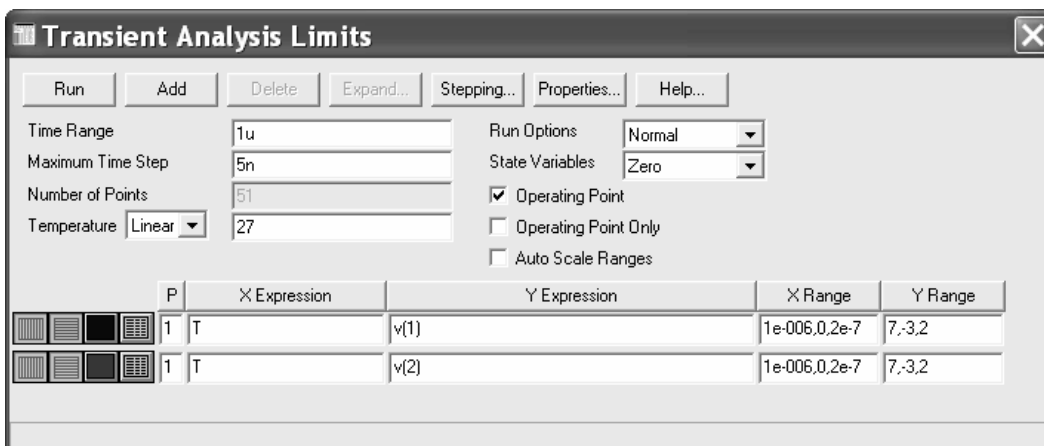
V tomto režimu program vypočítá pouze pracovní bod a analýza se ukončí, aby měl uživatel možnost prohlédnout si výsledky. Následná časová analýza již neproběhne, protože bychom si tak „přepsali“ souřadnice nalezeného pracovního bodu.

### 3.6 Typická nastavení časové analýzy při řešení různých typů obvodů

V tabulce 3.1 jsou shrnuty všechny nastavitelné kombinace stavů položek „State Variables“ a „Operating Point“. Ke každé kombinaci je uvedena jedna nebo více typických analyzačních úloh.

Tabulka 3.1: Typické příklady analýzy „Transient“ a správně nastavených podmínek analýzy

State Var.	Operating point	
	ano	ne
Zero	I - Obvod je již připojen k napájecím zdrojům, řešíme jeho reakci na vstupní signály (nejčastější typ úlohy).	IV - Rozběh oscilátorů a generátorů kmitů. - Analýza pasivních obvodů s nulovými počátečními stavy. - Hledání ss pracovních bodů u obvodů, kde klasický výpočet selhává.
Read	II - Hledání pracovních bodů, které leží blízko zadaných počátečních podmínek.	V - Ustálené kmity autonomních obvodů. - Start analýzy z přesně definovaných stavů obvodu. - Řešení přechodných dějů v obvodech s nenulovými počátečními podmínkami. - Hledání ss pracovních bodů u obvodů, kde klasický výpočet selhává, v okolí počátečních podmínek.
Leave	III ?	VI - Postupný přechod obvodu do ustáleného stavu sledem opakovaných analyzačních běhů.



Obr. 3.7 Menu „Transient Analysis Limits“ programu MicroCap 7

Obecně pracovní bod není nutné počítat v obvodech, kde je nulový (všechna stejnosměrná napětí a proudy jsou nulové), tj. v pasivních obvodech a ve všech obvodech bez stejnosměrných zdrojů. Údaje v tabulce jsou jen logickým vyústěním principu fungování simulátoru podle obr. 3.6. Ke kombinaci III se praktická aplikace hledá opravdu těžko.

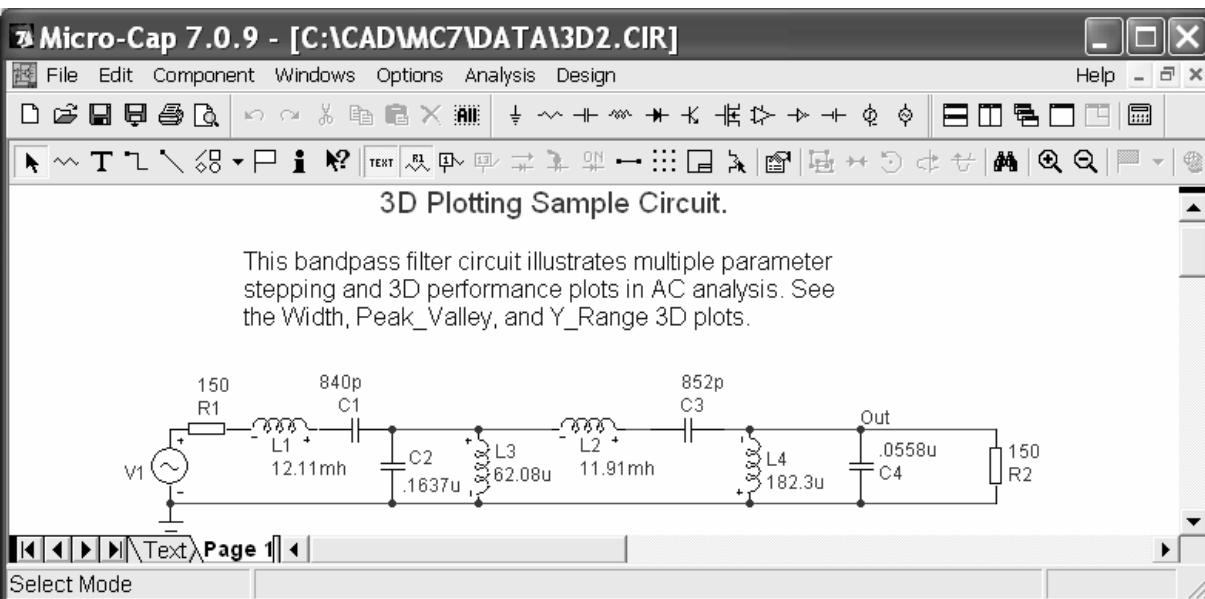
S kombinacemi II a V souvisí dva příkazy simulá-

torů z rodiny SPICE, které používá i MicroCap, a to .IC a .NODESET. Pomocí těchto příkazů můžeme dále modifikovat mechanismy fungování simulátoru při časové analýze podle obr. 3.6 i při ostatních typech analýz. Pojednáme o nich v části 3.8.

### 3.7 Konkrétní příklady časové analýzy

Kombinace I z tabulky 3.1 je typická pro řešení řady obvodů. Kombinace II je naopak velmi speciální a běžný uživatel simulátoru ji použije jen výjimečně. V ukázkách se proto zaměříme – kromě kombinace I – zejména na kombinace IV až VI.

#### Příklad 1 – analýza pasivního příčkového filtru (soubor 3D2.CIR z instalace MicroCapu)



Obr. 3.8 Analyzovaná pasivní pásmová propust z ukázkového příkladu 3D2.CIR

Do editoru načteme ukázkový soubor 3D2.CIR, který je uložen v adresáři ..MC7DEMO/DATA. Protože jej budeme modifikovat, uložíme si jej volbou „File/Save As“ pod jiným názvem, například 3D2x.CIR.

Jedná se o příčkový filtr typu pásmová propust. Soubor je sice původně určen k demonstraci speciální funkce MicroCapu v analýze „AC“, ale dobře poslouží i k vysvětlení mechanismů analýzy „Transient“.

Poklepáním na značku zdroje signálu V1 zjistíme, že se jedná o zdroj sinusového signálu o kmitočtu 1 MHz a amplitudě 1 V. Protože pásmová propust je navržena na 50 kHz, změním v modelu zdroje obsah položky F na 50k. Zobrazením čísel uzlů se přesvědčíme, že vstupní uzel filtru má číslo 1.

Poté aktivujeme analýzu „Transient“. Simulační čas nastavíme na desetinásobek doby trvání opakovací periody buďícího signálu, tedy

$$10 \cdot \frac{1}{50k} = 200 \mu s$$

Původní obsah položky „Time Range“ tedy přepíšeme údajem 200U. Musíme změnit měřítko na ose X: Klikneme levým tlačítkem myši na položku „X Range“ a vybereme „TMAX,TMIN“.

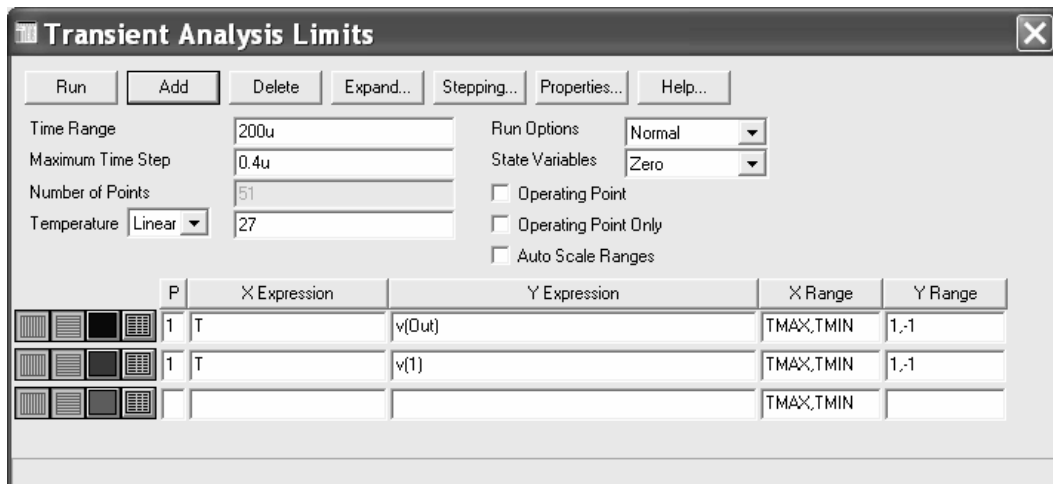
V okénku „Maximum Time Step“ je nula, což ve skutečnosti znamená implicitní rozdělení časového rozsahu 200μs na 50 dílů. Protože v tomto rozsahu je 10 opakovacích period buďícího signálu, připadalo by na vykreslení jedné periody 5 bodů, což je velmi málo. Kdybychom zvýšili počet bodů na periodu alespoň na 50, vycházel by maximální časový krok  $200\mu s / 50 = 0,4 \mu s$ .

Změníme i měřítko na ose Y. Přizpůsobíme je rozkmitu vstupního signálu (-1, +1) V.

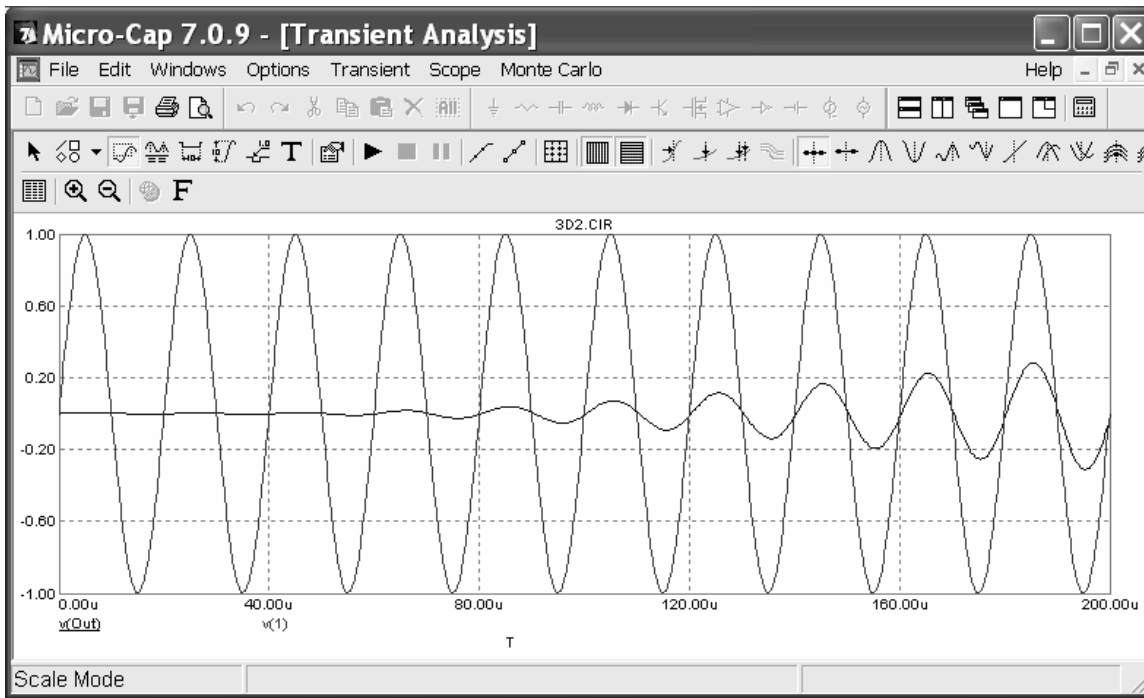
Budeme řešit odezvu filtru na signál za předpokladu, že v okamžiku připojení zdroje signálu na vstup budou všechny vnitřní kapacity vybity a cívkami nepoteče proud. Tomu bude odpovídat nastavení „State Variables – Zero“. Pracovní bod není třeba počítat, protože ve filtru nejsou žádné stejnosměrné zdroje.

Kdybychom položku „Operating Point“ přesto zatrhl, program by při jeho výpočtu v souladu s obr. 3.6 uvažoval jediný stejnosměrný zdroj, a to na vstupu, o velikosti, rovné hodnotě vstupního signálu v čase 0. U sinusového signálu je to nula.

Na konci našich úprav by okno „Transient Analysis Limits“ mělo vypadat jako na obr. 3.9. V jediném obrázku se vykreslí časové průběhy výstupního a vstupního napětí filtru.



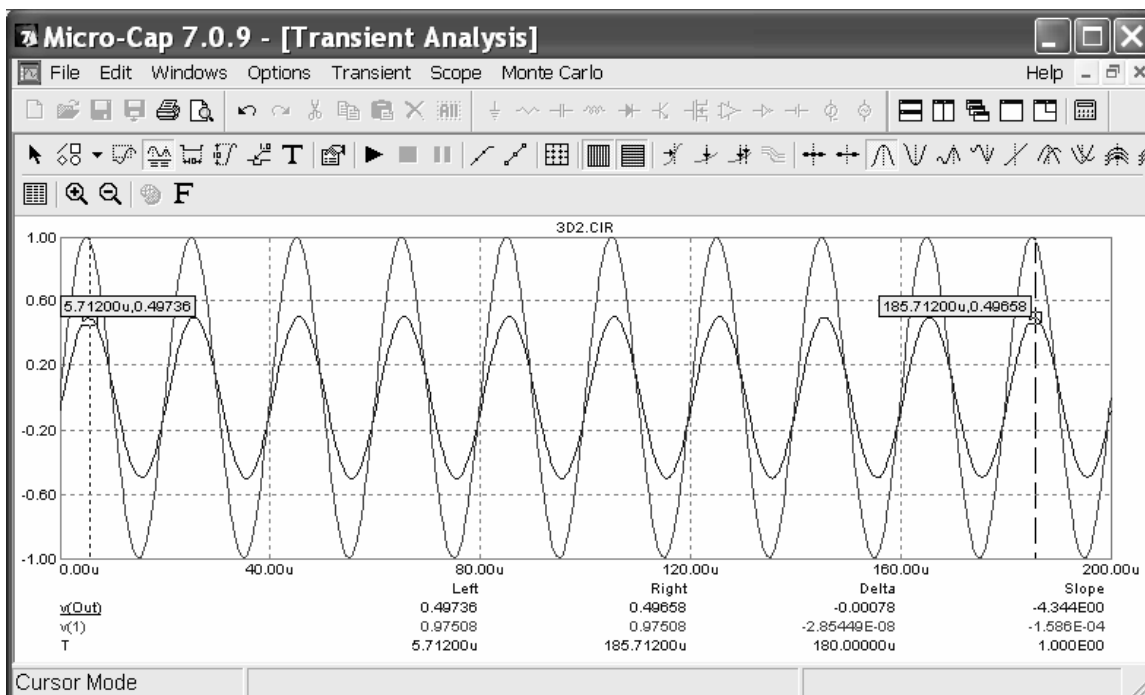
Obr. 3.9 Požadované nastavení podmínek simulace



Obr. 3.10 Analýza náběhu filtru z obr. 3.8 do harmonického ustáleného stavu

Po proběhnutí analýzy dostaneme výsledek podle obr. 3.10. Je zřejmé, že po 10 opakovacích periodách se filtr ještě nedostal do ustáleného stavu, z něhož bychom byli schopni posoudit přenosové vlastnosti na kmitočtu 50 kHz.

Vrátíme se do okna „Transient Analysis Limits“ (buď jeho zástupce nalezneme na spodní liště Windows, nebo se k němu dostaneme volbou „Transient/Limits“). Změníme nastavení položky „State Variables“ na „Leave“. Spustíme analýzu a po jejím ukončení ještě několikrát stiskneme F2 (horká klávesa pro spuštění analýzy), dokud nevidíme, že došlo k ustálení odezvy. Výsledný stav je zachycen na obr. 3.11. Z obrázku je zřejmé, že na kmitočtu 50 kHz má filtr přenos asi 0,496. Je zde patrné i určité zpoždění výstupního signálu oproti vstupu.



Obr. 3.11 Dosažení ustáleného stavu v režimu počátečních podmínek „Leave“

Nyní provedeme opatření, abychom mohli filtr analyzovat v ustáleném stavu bez mezivýpočtů přechodných dějů. Jestliže je nyní filtr v ustáleném stavu, uložíme si vektor jeho stavových veličin do souboru. Spustíme-li pak analýzu v režimu „Read“, vykreslí se přímo ustálený stav.

Volbou „Transient/State Variables Editor“ se dostaneme do editoru stavových proměnných. Objeví se okno na obr. 3.12. Text „Time = 0.0002“ připomíná, že se jedná o výpis

stavových proměnných obvodu v čase 200 μs od zahájení posledního simulačního běhu. Klikneme do tlačítka „Write“. Na disk uložíme soubor 3D2X.TOP se současným stavem obvodu. Pozor, soubor je třeba uložit do stejného adresáře, kde je „circuit file“ 3D2X.CIR.

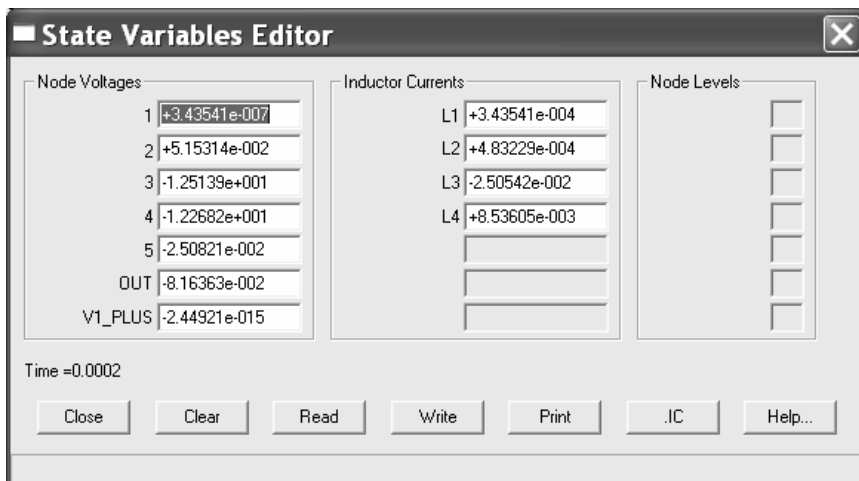
Nyní změníme v okně „Transient Analysis Limits“ položku „State Variables“ na „Read“. Po spuštění analýzy dostaneme přímo časové průběhy ustáleného stavu.

Z příkladu vyplývá, že k spuštění analýzy za přesně stanovených počátečních podmínek potřebujeme soubor s příponou .TOP, ve kterém jsou uloženy počáteční podmínky. Lze jej vyrobit v editoru stavových proměnných.

Někdy je výhodnější počáteční podmínky začlenit přímo do vstupního souboru \*.cir. Pak k analýze nebude potřebný žádný další soubor. Následující postup využívá příkazu .IC („Initial Conditions“, počáteční podmínky).

Vyvoláme opět okno editoru stavových proměnných a klikneme na prvek „IC“. Objeví se okno s následujícím hlášením:

*This command translates the voltages, currents, and states in this editor into .IC statements and places them in the*



Obr. 3.12 Výpis stavových proměnných obvodu v čase 200  $\mu$ s od zahájení posledního simulačního běhu

*text area of the current circuit.*

Do you wish to continue?  
Yes No

Tento příkaz převádí napětí, proudy a (logické) stavy z tohoto editoru do příkazů .IC a umísťuje je do složky „Text“ aktuálního obvodu.

Přejete si pokračovat?  
Ano Ne

Potvrdíme *Ano*. Horkou klávesou F3 uzavřeme všechna okna a vrátíme se do schématického editoru. V složce „Text“ nalezneme následující příkazy:

```
.IC V(1)=3.43042e-007 V(2)=0.0514566 V(3)=-12.4771
V(4)=-12.3191 V(5)=-0.0309229
+ V(OUT)=-0.0815314 V(V1_PLUS)=-2.44921e-015
.IC I(L1)=0.000343042 I(L2)=0.000486991 I(L3)=-0.0255052
I(L4)=0.00855447
```

Význam příkazů .IC je intuitivně zřejmý. Na závěr příkladů

provedeme shrnutí a zobecnění.

Nyní zkusme spustit znovu časovou analýzu v režimu „State Variables – Zero“. Program provede přímo analýzu ustáleného stavu.

Ukážeme užitečnost příkazu .IC ještě na dalším příkladu. U filtru na obr. 3.8 řešíme případ, kdy kapacitor C4 na výstupu je nabit na počáteční napětí 1V. Jaký bude vývoj tohoto napětí při nepůsobení zdroje vstupního napětí?

Nejprve nahradíme zdroj vstupního signálu zkratem. Pak se přesuneme do složky „Text“, vymažeme všechny příkazy .IC a místo nich umístíme tento text:

```
.IC V(out)=1
```

Před analýzou je třeba vyblokovat kreslení křivky V(1) vymazáním jedničky ze sloupce „P“ (zkratováním vstupní brány stejně došlo k přečíslování uzlů). Analýza poskytne tentokrát výsledek podle obr. 3.13.

Dané nastavení počátečních podmínek je samozřejmě možné provést přímo pomocí editoru stavových proměnných.

#### Příklad 2 – analýza nasazování kmitů oscilátoru (soubor COLPITTS.CIR)

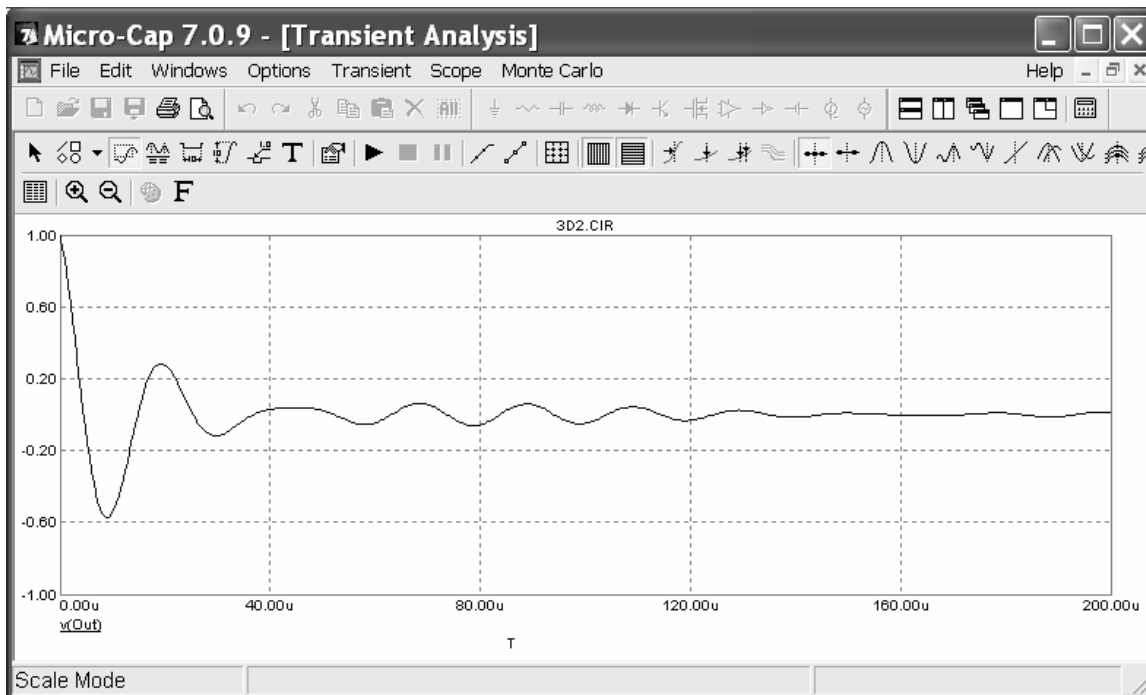
V adresáři MC7DEMO/DATA/ vyhledáme soubor COLPITTS.CIR a načteme jej do editoru. Pak jej z bezpečnostních důvodů uložíme pod jiným jménem, například COLPITTSx.CIR. Zviditelníme čísla uzlů. Situaci znázorňuje obr. 3.14.

Jedná se o model Colpittsova oscilátoru. Naším úkolem bude prozkoumat, jak se obvod bude chovat po připojení baterie, konkrétně zda se z nulového počátečního stavu postupně dostane do kmitavého režimu. Jedná se o typickou úlohu č. IV z tabulky 3.1 (nulové počáteční podmínky, vyblokování počítání ss pracovního bodu).

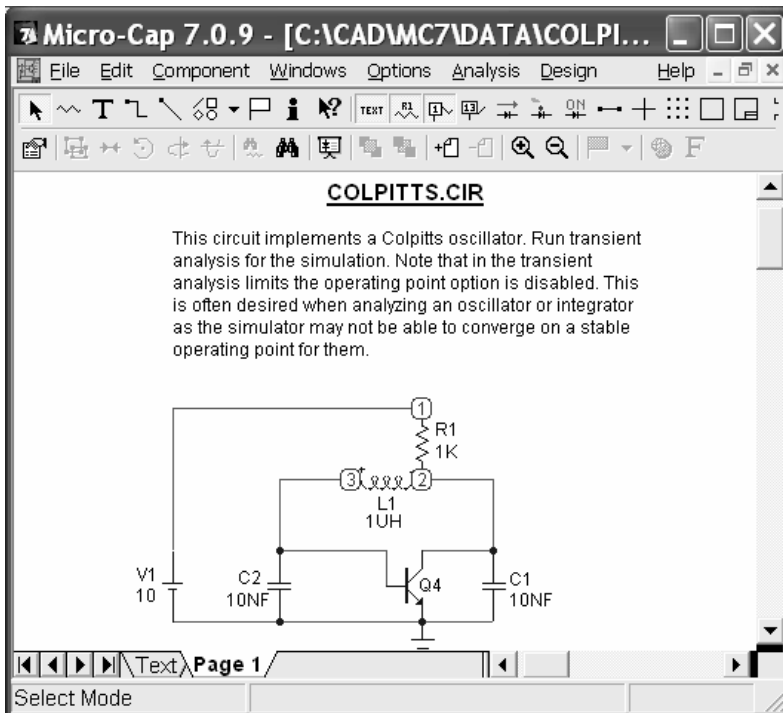
Obsah okna „Transient Analysis Limits“ je přednastaven tak, jak vidíme na obr. 3.15. Do dvou obrázků se vykreslí průběhy napětí V(2) a V(3), tj. napětí na kolektoru a bázi tranzistoru. Zkontrolujte, že počáteční podmínky jsou nulové a není požadován výpočet pracovního bodu.

Výsledek analýzy je na obr. 3.16. Oscilátor naběhne do ustáleného režimu asi 2  $\mu$ s po připojení napájecího zdroje.

Vyzkoušejte si přechod oscilátoru do ustálených kmitů v režimu „Leave“. Ověřte, že kmitočet je 2,3 MHz.



Obr. 3.13 Průběh výstupního napětí filtru z obr. 3.8, změnil-li se vstupní napětí na nulu a kapacitor C4 je nabit na počáteční napětí 1V



Obr. 3.14 Model Colpittsova oscilátoru ze souboru COLPITTS.CIR

### Příklad 3 – analýza ustálených kmitů krystalového oscilátoru

(soubor XTAL1.CIR)

Námět k samostatné práci: Analyzujte krystalový oscilátor z ukázkového příkladu ze souboru „XTAL1.CIR“. Krystal je definován makroobvodem. Nasazování kmitů trvá tak dlouho, že je nutná analýza v režimu „State Variables – Read“.

### 3.8 Využívání příkazů .IC a .NODESET

V předchozích příkladech jsme měli možnost poznat výhody použití příkazu .IC. Tento příkaz má následující obecnou strukturu:

- .IC V(uzel)=hodnota\_napeti, nebo
- .IC V(uzel1,uzel2)=hodnota\_napeti, nebo
- .IC I(induktor)=hodnota\_proudu

První formou definujeme počáteční hodnotu konkrétního uzlového napětí.

Druhou formou definujeme počáteční hodnotu napětí mezi dvěma uzly.

Třetí formou definujeme počáteční hodnotu proudu konkrétním induktorem.

Jednotlivé formy lze sdružovat do jediného příkazu, např.

$$.IC V(out)=5 I(L1)=1M$$

Pokud simulátor počítá stejnosměrný pracovní bod, respektuje zadané počáteční podmínky tak, že mezi příslušné uzly umístí zdroje napětí a namísto induktorů zdroje proudu. Tyto zdroje jsou odstraněny až po nalezení pracovního bodu.

Pro podrobnější vysvětlení účinků příkazů .IC na průběh analýzy je původní obrázek 3.6, objasňující mechanismus časové analýzy, rozkreslen do podoby na obr. 3.17.

Výchozí počáteční podmínky (Zero, Read, nebo Leave) jsou příkazy .IC modifikovány. Například pokud je režim „State Variables – Zero“ doplněn příkazem .IC V(1)=1, pak uzlové napětí příslušející uzlu 1 je změněno z 0 V na 1 V. Toto nastavení se „překopíruje“ jako výchozí údaj do vektoru obvodových proměnných, které pro simulátor představuje neznámé veličiny. Jeho úkolem je tyto veličiny vypočítat ze složité soustavy rovnic.

Pokud není povolen výpočet pracovního bodu, překopíruje se výchozí vektor obvodových proměnných do vektoru počátečních podmínek pro časovou analýzu. Uvažujeme-li například výše uvedené nastavení (stav „State Variables – Zero“ je doplněn příkazem .IC V(1)=1), pak to znamená, že časové průběhy všech stavových proměnných budou vycházet z nuly kromě průběhu napětí uzlu 1, který bude mít počáteční hodnotu 1 V.

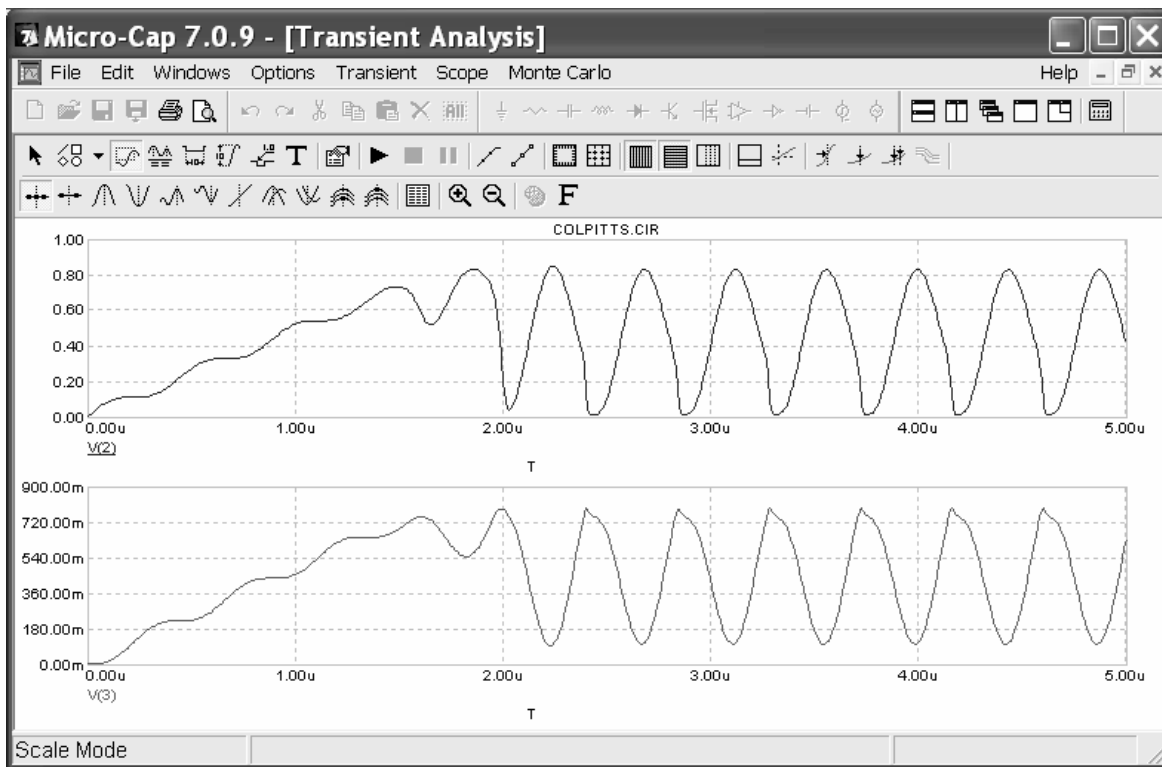
Je-li povolen výpočet pracovního bodu, doplní se obvod o zdroje napětí a proudu, které modelují vliv nenulových počátečních podmínek, zadaných příkazem .IC, vyloučí se vliv akumulčních prvků (kapacity se rozpojí, indukty zkratují) a signálové zdroje se nahradí stejnosměrnými zdroji, jejichž napětí, resp. proudy se budou rovnat hodnotám těchto zdrojů v

čase 0. Vznikne model odporového obvodu ve formě soustavy nelineárních algebraických rovnic, které jsou řešeny iterační metodou v solveru DC. Jestliže vektor neznámých splňuje ve dvou po sobě jdoucích iteracích zadané chybové kritérium, je obsah tohoto vektoru prohlášen za řešení a překopíruje se do vektoru počátečních podmínek pro časovou analýzu.

Časová analýza je pak provedena solverem DR (blokem pro řešení diferenciálních rovnic). V této fázi jsou již pomocné zdroje odpojeny a neovlivňují řešení.

P	X Expression	Y Expression	X Range	Y Range
1	T	V(2)	5e-006,0,1e-6	1,0,0,2
	T	V(1)	5E-6,0,1e-6	1,0,0,2
2	T	V(3)	5e-006,0,1e-6	0,9,0,0,18

Obr. 3.15 Požadované podmínky simulace rozběhu oscilátoru



Obr. 3.16 Výsledek simulace rozběhu oscilátoru z nulových počátečních podmínek

Tímto mechanismem je zajištěno, že jednotlivé časové průběhy budou vždy vycházet z počátečních podmínek, které byly zadány.

Podobnou strukturu jako příkaz .IC, ale jiný význam, má příkaz .NODESET. Tento příkaz využije běžný uživatel simulátoru jen zřídka. Může nám pomoci v překonávání

předkládáme programu první odhad řešení.

Struktura příkazu .NODESET je následující:

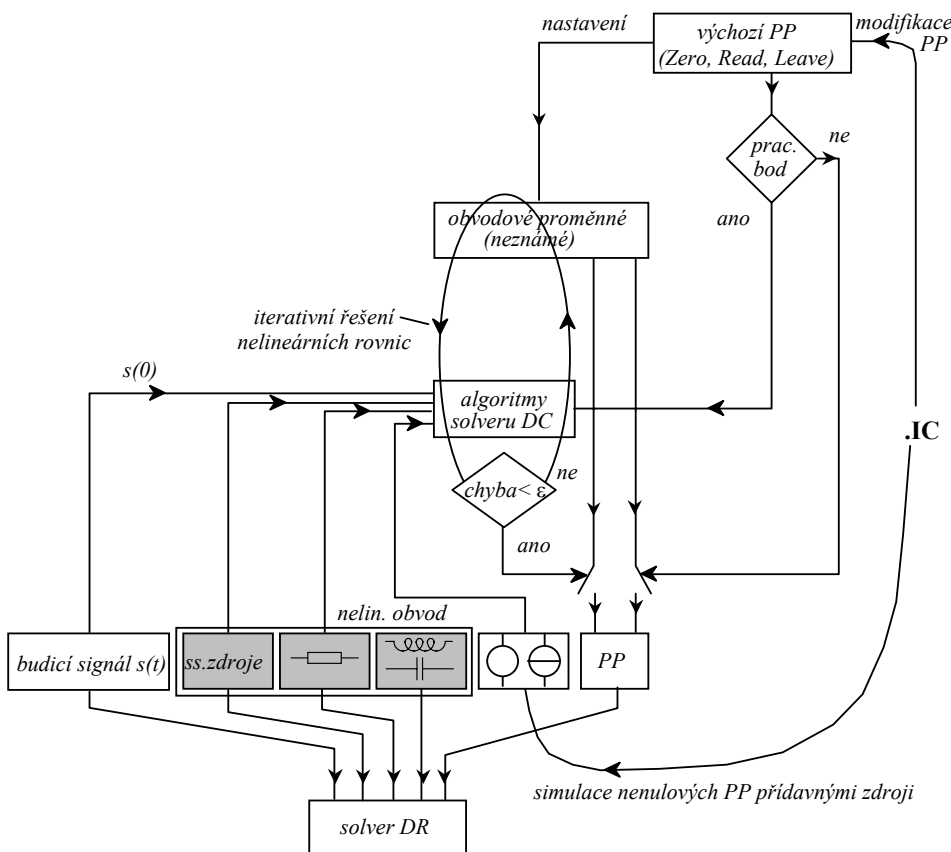
.NODESET V(uzel)=hodnota\_napeti,  
nebo  
.IC I(induktor)=hodnota\_proudu

Obě formy lze opět jako u příkazu .IC sdružovat, například

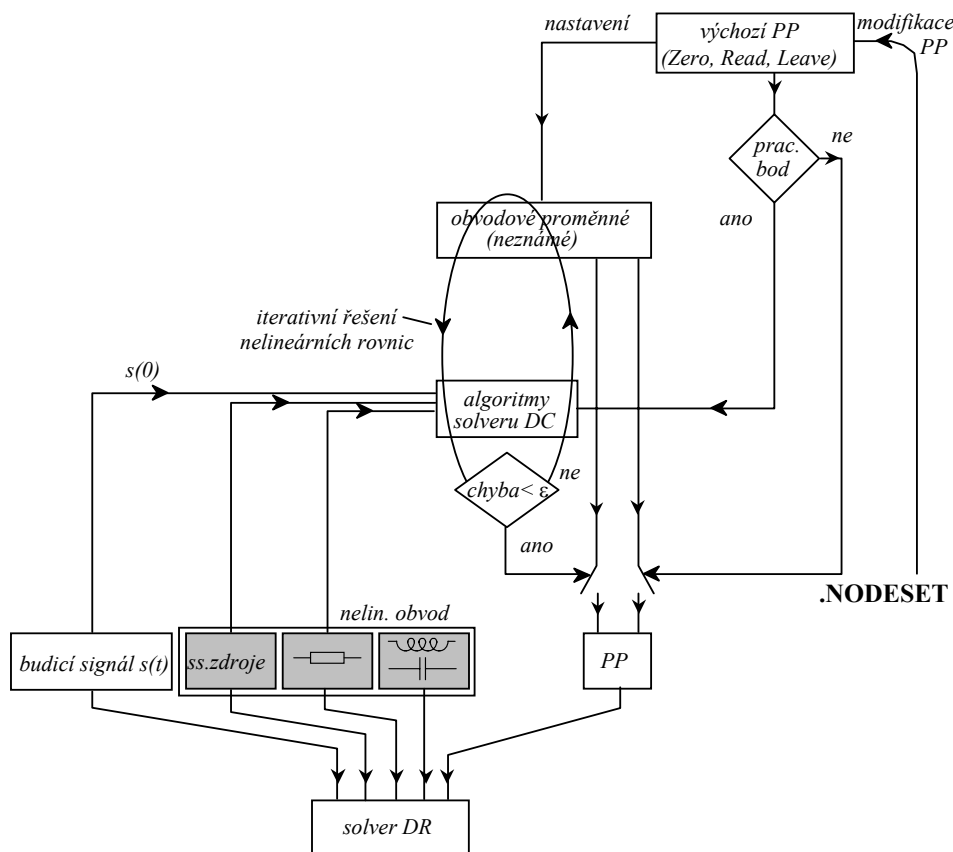
.NODESET V(out)=5 I(L1)=1M

Rozdíl mezi příkazy .NODESET a .IC spočívá v tom, že zatímco příkaz .IC vnucuje počáteční podmínky simulátoru po celou dobu řešení pracovního bodu, příkaz .NODESET programu definuje pouze počáteční „násadu“ pro iterační řešení. Tento rozdíl vyplývá i po srovnání obrázků 3.17 a 3.18. Z obr. 3.18 vyplývá, že příkaz .NODESET obecně ovlivňuje počáteční podmínky časové analýzy, není-li povolen výpočet pracovního bodu. Je však třeba upozornit, že příkaz .NODESET byl vyvinut právě pro překonávání problémů s konvergencí při hledání pracovních bodů, takže jeho použití v režimu zakázaného výpočtu pracovního bodu nemá praktický smysl.

Jestliže použijeme při simulaci současně příkazy .IC a .NODESET, pak prioritu mají příkazy .IC. Příkazy .NODESET jsou pak ignorovány.



Obr. 3.17 Podrobné schéma ovlivňování mechanismů, působících při analýze „Transient“, příkazem .IC



Obr. 3.18 Podrobné schéma ovlivňování mechanismů, působících při analýze „Transient“, příkazem .NODESET

Ještě je vhodné poznamenat, že nemá smysl používat příkazy .IC a .NODESET na uzly, kterým přísluší přesně definovaná napětí. Například příkaz .IC V(1,2)=10 se neprovede, pokud mezi uzly 1 a 2 je již zdroj napětí nebo třeba induktor, který je v počátečním stavu analýzy nahrazen zkratem.

## Literatura a další zdroje informací

Informace o simulačních programech:

### SPICE

- [1] pcb.cadence.com/company/move.asp,
- [2] bwrc.eecs.berkeley.edu/Classes/IcBook/SPICE/
- [3] KOLKA,Z. MicroSim PSpice A/D™. Program pro analýzu elektrických obvodů. Skriptum VUT Brno, 1997.
- [4] BURIAN,Z., KREJČÍŘÍK,A. .Simuluj!-simulace vlastností analogových elektronických obvodů. BEN, technická literatura, 2002.
- [5] KEJHAR,M. a kol. Program SPICE v příkladech. Skriptum ČVUT Praha, 1995, 240 s.

### MicroCap

- [6] www.spectrum-soft.com
- [7] user.unob.cz/biolek/veda/publikMicroCap.htm

### Tina

- [8] www.designsoftware.com

### MultiSim

- [9] www.cadware.cz/cad204.htm,
- [10] www.electronicworkbench.com/

### CIA

- [11] DOBEŠ,J. Návrh radioelektronických obvodů počítačem. Skriptum ČVUT Praha, 1997.
- [12] DOBEŠ,J. Analýza nelineárních statických a dynamických elektronických obvodů. 1. seminář "Spolupráce vysokých a středních škol", Pardubice, 13. říjen 1999, s. 13-18.

### SABER

- [13] www.synopsys.com/products/avmrg/saber\_cosim\_ds.html

### ELDO

- [14] www.mentor.com/eldo/overview.html

### Analog Insydes

- [15] www.analog-insydes.de

### SNAP

- [16] snap.webpark.cz
- [17] user.unob.cz/biolek/veda/publikSNAP.htm

### LTP2

- [18] wes.feec.vutbr.cz/UTEE/programy\_ke\_stazeni.htm

O komerčních simulačních programech pro každého:

- [19] LÁNÍČEK, R. Simulační programy pro elektrotechniku. Nakladatelství BEN, 2000.

O symbolických a semisymbolických programech:

- [20] BIOLEK,D. Využití programů pro symbolickou a semisymbolickou analýzu elektrických obvodů ve výuce i výzkumu. ELEKTROREVUE, prosinec 1999. K dispozici na [www.elektrorevue.cz/clanky/99012/index.htm](http://www.elektrorevue.cz/clanky/99012/index.htm)

O analýze a simulaci elektronických obvodů se zaměřením na SNAP a MicroCap:

- [21] BIOLEK,D. Řešíme elektronické obvody aneb kniha o jejich analýze. Nakladatelství BEN, 2004.

## Josef Punčochář: **Operační zesilovače, historie a současnost**

Nakladatelství BEN - technická literatura, Praha, 2002, 1. vydání, 66 stran, ISBN 80-7300-047-4

Nakladatelství BEN přináší na trh knihu, popisující velmi stručným způsobem základní zesilovací struktury. Uvádí i jejich analýzu pomocí elementárních zákonů elektrotechniky. Stručnost informací je dána samotným rozsahem publikace, která čítá 66 stran včetně seznamu literatury i rejstříku. Samotný výklad je rozdělen do šesti kapitol.

První kapitola popisuje formou tabulky historii "klasického" operačního zesilovače. Ta v heslech připomíná základní mezníky elektroniky, od objevu Edisonova jevu, přes objev tranzistoru, až k dobám první výroby dnes již klasických operačních zesilovačů. Druhá kapitola je věnována popisu základních zesilovacích prvků, zejména operačního, transkonduktančního a transimpedančního zesilovače, kterému předchází popis proudového konveje. Popis je proveden pomocí jednoduchých lineárních makromodelů těchto prvků, na kterých jsou demonstrovány principy jejich činnosti a analyzovány charakteristické vlastnosti.

V další kapitole je ukázána analýza vybraných prvků pomocí zobecněné metody uzlových napětí (ZMUN), přičemž ideální prvky jsou příslušně upraveny, aby bylo možné daný obvod touto metodou vůbec analyzovat. Analýza obvodů s ideálními prvky je uvedena v další kapitole, kde je využito nulorových modelů. Základní principy a odvození ZMUN a její maticové vyjádření je navíc zařazeno v dodatku publikace.

V tomto případě by však, podle mého názoru, bylo vhodnější použití modifikované metody uzlových napětí, kde se lze vyhnout abstraktním prvkům – nulorovým modelům. Navíc je při použití této metody názornější odvození pravidel pro sestavení "admitanční" matice a vektoru neznámých veličin.

Čtvrtá kapitola je nazvána "Principy realizace struktur", přestože obsahuje pouze schéma principu autokalibrace operačního zesilovače CMOS a schéma struktur proudových konveje CCII+ a CCII-. I její rozsah je nezvykle krátký – tři strany. Poslední kapitola se zabývá použitím proudových konveje při realizaci některých elektronických funkčních bloků.

Kniha poskytuje základní přehled principů moderních zesilovacích struktur a je určena především studentům odborných středních škol s elektrotechnickým zaměřením, studentům nižších ročníků elektrotechnických fakult a každému, kdo se s danou problematikou seznamuje. U knihy oceňuji zejména srozumitelnost výkladu, která je z pedagogického hlediska velmi důležitá. Nelze se však nezmínit o velmi slabé úrovni grafické úpravy tiskoviny. Jedná se o nepřehlednou formu sazby matematických výrazů, ale především o kresbu elektrotechnických schémat, která je přinejmenším neupravená. Přes uvedené nedostatky věřím, že kniha naplnila vytčený cíl a najde si svůj okruh čtenářů.

**Dr. Ing. Jiří Hospodka**

## Karel Zaplatílek, Bohuslav Doňar: **MATLAB pro začátečníky**

Nakladatelství BEN - technická literatura, Praha, 2003, 1. vydání, 144 stran, ISBN 80-7300-095-4

Programový systém MATLAB je jedním ze softwarových produktů, který nabízí uživatelům podporu v oblastech matematiky, fyziky, elektrotechniky, strojírenství, stavebnictví aj. Jeho nasazení je možné jak k přímým výpočtům, tak k provádění simulací na hotových nebo navržených modelech. Není proto náhoda, že instalaci systému MATLAB je možné nalézt na mnoha školách nejen technického zaměření, ale i v mnoha výzkumných institucích, firmách o pod.

Na tento trend reaguje i kniha autorů Karla Zaplatílka a Bohuslava Doňara - MATLAB pro začátečníky. Pochopí-li čtenář a uživatel princip práce se systémem MATLAB, je schopen už samostatně tvořit vlastní aplikace a využít nepřeberné množství funkcí nabízených s tímto systémem.

Již po prvním nahlédnutí do knihy je čtenáři zřejmé, že se nejedná o pouhý překlad uživatelské příručky MATLABu, ale o propracované dílo, kde autoři zúročili roky praktické práce a zkušenosti s tímto produktem. Také skutečnost, že autoři jsou erudovanými vysokoškolskými pedagogy přidala knize na

poutavosti. Veškerý text je logicky členěn a doplněn o typické příklady, které demonstrují jak silné stránky systému MATLABu, tak provádí průřez nejvíce používanými funkcemi. I když v podtextu knihy je napsáno "pro začátečníky", věřím, že mnoho ilustrovaných praktických příkladů, které mimochodem neobsahují žádné záludnosti, budou přínosem i pro zkušenější uživatele. Zejména předvedení multimediálních funkcí, jako jsou práce se zvukem či vytváření animovaných sekvencí, je velmi poutavá, didakticky použitelná nejen pro výukové účely, ale i pro vlastní pochopení některých dílčích simulovaných procesů či jevů.

Je možné konstatovat, že kniha autorů Karla Zaplatílka a Bohuslava Doňara - MATLAB pro začátečníky je zdařilým dílem a neměla by chybět zejména v knihovně vysokoškolských studentů a to nejen technického zaměření.

Nelehký cíl, který si autoři vytýčili, je v této knize naplněn.

**Doc. Ing. Jaroslav Čechák, Ph.D.**

## ZÁKLADNÍ INFORMACE PRO AUTORY

Časopis Slaboproudý obzor publikuje původní odborné a vědecké práce a referáty kompilačního charakteru v českém nebo slovenském jazyce. Časopis dále uveřejňuje krátké původní dopisy redakci, recenze odborných knih a počítačových programů, informace o nových normách a nejrůznější další zprávy z celé oblasti slaboproudé techniky.

Příspěvky nejsou honorovány.

### ***Všeobecné informace***

Příspěvky zasílejte redakční radě v elektronické podobě. Pouze obrázky, grafy, tabulky, fotografie a vzorce lze zaslat v papírové podobě. Podklady v papírové podobě budou po zpracování navráceny autorovi.

Příspěvky lze zaslat na médiu (3,5" disketa, ZIP 100 MB, CD-ROM) poštou na adresu redakce: Československá sekce IEEE, redakce časopisu Slaboproudý obzor, Fakulta elektrotechnická, Technická 2, 166 27 Praha 6. Je však možné je zaslat také elektronickou poštou (jako přílohy) na adresu slabobzor@ieee.cz.

Hlavní příspěvky se skládají z názvu, autorů, abstraktu, klíčových slov, vlastního obsahu příspěvku a literatury. Název příspěvku, abstrakt a klíčová slova se píše také v jazyce anglickém.

### ***Autoři***

Každý autor uvede své celé jméno (bez titulu), pracoviště a adresu. U více autorů je třeba určit jednoho autora pro komunikaci s redakcí. Ke komunikaci uveďte mimo telefonu také elektronickou adresu.

### ***Text příspěvku***

Povolené formáty textů jsou: RTF (Rich Text Format), DOC (Word ver. 6.0, 7.0 a 97) a ASCII v kódování češtiny CP 1250, Latin 2 a Kamenický.

Pro psaní textu používejte styl písma Times New Roman, velikost písma 12 a jednoduché řádkování. Při psaní textu nepoužívejte žádné jiné textové úpravy, např. zarovnání do bloku, používání tabulátoru.

Místa pro vložení obrázku, grafu, tabulky nebo vzorce označte následujícím textem s kurzívou: „*Vložit ...*“, př. *Vložit vzorec 1*. Tato místa oddělte od textu prázdnými řádky

### ***Obrázky, grafy, tabulky a vzorce***

Každý obrázek, graf, tabulku a vzorec vytvořte v samostatném souboru. K vytvoření lze použít programy: WORD (verze 6.0, 7.0 a 97), EXCEL (verze 5.0, 7.0, 97), Adobe PhotoShop, Adobe Illustrator a Corel Draw. Doporučujeme použít následující typy grafických formátů: TIFF (Tagged Image File Format), BMP (Windows Bitmap), EPS (Encapsulated PostScript), GIF (Graphic Interchange Format), CDR (Corel Draw Format) a AI (Adobe Illustrator Format).

Papírové předlohy musejí být na papíru formátu A4 (mimo fotografií) v poměru 1 : 1 nebo n : 1. Poměr předlohy uveďte na druhou stranu.

### ***Literatura***

Autor musí uvést o literatuře tolik údajů, aby čtenář byl schopen nalézt originál. Příklady nejčastějších odkazů na literaturu (kniha, příspěvek v časopisu, příspěvek ve sborníku):

- [1] Vladimirescu, A.: The SPICE book. John Wiley & Sons 1994.
- [2] Wedge, S. W. – Rutledge, D. B.: Wave techniques for noise modeling and measurement. IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. MTT – 40, November 1992, pp. 2004–2011.
- [3] Biolek, D. – Biolková, V.: FIR-BL Analog Filters. In: Proceedings of MWSCAS ,99, Las Cruces, New Mexico, USA, August 8–11, 1999, pp. 259–262.

**Podrobné informace poskytne redakce nebo je lze získat na internetové stránce  
[www.ieee.cz/slabobzor/pokyny](http://www.ieee.cz/slabobzor/pokyny)**

# MODULÁRNÍ KURZY MODERNÍCH SENZORŮ

<http://sensor.feld.cvut.cz>

Leonardo da Vinci project CZ/PP-134026

České vysoké učení technické v Praze  
fakulta elektrotechnická, katedra měření



Education and Culture

Leonardo da Vinci



## Cíle projektu

Vytvoření výukových kurzů moderních senzorů pro :

- vzdělávání odborníků v průmyslu včetně malých firem, které nemají vnitropodnikové instituce pro vlastní vzdělávání
- kurzy pro školy – od průmyslových po univerzity
- distanční vzdělávání, včetně celoživotního
- rekvalifikační kurzy

## Náplň projektu

- senzory tlaku
- optické senzory
- průtokoměry
- sběrnice pro senzory a inteligentní senzory
- akcelerometry
- chemické senzory a biosenzory
- senzory vzdálenosti a polohy
- senzory teploty
- gyroskopy a navigace
- magnetické senzory
- nové technologie a materiály

## Dostupnost

Moduly jsou dostupné ve formě :

- učebnice
- CD-ROM verze
- On-line WWW verze



## Nabízíme

- školení pro podniky i jednotlivce

## Partneři projektu



Vervolmakingscentrum voor  
Industriel-technische Applicaties



České vysoké učení technické



Škoda Auto



Berufsbildungswerk



Institut Catala de Tecnologia



Industrial Development and Education  
Centre



M2A Technologies



Zespół Szkol Elektronicznych



Dublin City University

## Kontakt

Ing. Antonín Platil, Ph.D.

ČVUT - fakulta elektrotechnická, Technická 2, Praha 6, 166 27; e-mail: [platil@fel.cvut.cz](mailto:platil@fel.cvut.cz), fax: +420 - 233 339 929

## Acknowledgement

This project has been carried out with the support of the European Community. The content of this project does not necessarily reflect the position of the European Community or the National Agency, nor does it involve any responsibility on their part.