



M I C R O C A P I V
PROGRAM PRO ANALÝZU ELEKTRICKÝCH OBVODŮ

Ing. Zdeněk Biolek
Doc. Ing. Dalibor Biolek, CSc

OBSAH

Předmluva	5
1. Konfigurace MC IV	6-7
Víceuživatelská konfigurace	6
Použití expanded memory	7
2. Ukázka stylu práce v MC IV	8-12
Ilustrativní příklad	8
Poučení	12
3. Micro - Cap IV	13-73
Základní informace o programu	13
Obecné zásady ovládání programu a práce s okny	13
Stručný průvodce možnostmi programu MC4	14
První kroky po spuštění programu	14
Načtení existujícího souboru a jeho uložení na disk	14
Popis obvodu	15
Simulace obvodu	17
Kmitočtová analýza	17
Časová analýza	21
Stejnoseměrná analýza	23
Přílohy	25
1. Spouštění MC4 v různých grafických režimech	25
2. Vyjádření čísel v MC4; konstanty a systémové proměnné, funkce	25
Konstanty a systémové proměnné MC4	27
Vnitřní proměnné a funkce MC4	27
Funkce, jejichž argumenty definuje uživatel	27
Obvodové funkce	27
Matematické operátory a funkce	29
3. Způsob zadávání parametrů součástek. Příkazy .DEFINE a .MODEL	31
4. Modely vybraných součástek	33
Pasivní součástky R, L, C a jiné	33
Zadávání tolerance součástek: klíčové slovo LOT	33
Zadávání teplotních součinitelů: klíčová slova TC, TCE	33
Zadávání počátečních podmínek akumulačních prvků pro časovou analýzu: klíčové slovo IC	33
Obvody se vzájemnými indukčnostmi	34
Cívky na nelineárním magnetickém jádře	34
Transformátory (Transformers)	34
Přenosová vedení (Lines)	34
Zdroje signálu	34
Baterie (Battery)	35
Pulsní zdroj (Pulse Source)	35

Zobecněný harmonický zdroj (Sine Source)	35
Funkční zdroj (Function Source).....	36
<i>Operační zesilovače</i>	36
<i>Subobvody SPICE</i>	37
5. Počet vnitřních uzlů modelů některých součástek	38
6. Tvorba makroobvodů	38
<i>Vnitřní zapojení makra</i>	38
<i>Vytvoření schématické značky</i>	39
<i>Přiřazení vývodů</i>	41
<i>Testování makra</i>	42
7. Tvorba subobvodů SPICE	44
<i>Základní pojmy</i>	44
<i>Vytvoření zdrojového souboru</i>	45
<i>Vytvoření schématické značky</i>	46
<i>Přiřazení vývodů</i>	46
<i>Testování podobvodu SPICE</i>	47
8. Práce v schématickém editoru	48
<i>Horní a spodní menu</i>	48
<i>Postup tvorby nového schématu</i>	49
Výběr součástky.....	49
Umístění značky součástky na obrazovku.....	50
Tip: Rotace součástky	50
Popis součástky.....	50
Kreslení spojovacích vodičů a spojování součástek.....	51
Způsob kreslení čáry.....	51
Změna atributu lomené čáry	51
Způsob kreslení souvislé vícenásobně lomené čáry	51
Způsob kreslení šikmé čáry	51
Způsob spojování vývodů součástek	51
Nevodivé křížení	52
Dobrá rada nejen pro začátečníky.....	55
Automatické sestavení příkazu .MODEL pro součástky knihovního typu	56
Přemísťování objektů.....	52
Select	53
Zrušení výběru objektu	53
Přemísťování objektů	54
Editace textu.....	54
Podrobněji o editaci textu v MC4.....	55
Dva režimy editace	55
Práce s bloky textu	55
Tvorba bloku.....	55
Kopírování obsahu bloku do pomocné paměti - schránky (clipboardu)	55
Kopírování obsahu paměti na obrazovku na pozici kurzoru	55
Vkládání textu do schématu.....	55
Pravidla pro vkládání symbolického popisu uzlů.....	56
Vyznačování rozsáhlejších částí schématu	56
Vyznačení souvislého bloku	57
Zrušení výběru objektu	57
Výběrové vyznačování.....	57
Mazání objektů.....	57
<i>Pohyb po pracovní ploše</i>	57
Pomocí klávesnice	57
Pomocí myši	57
<i>Časté problémy při práci se schématickým editorem a způsoby jejich řešení</i>	58
1. Je třeba hlídat právě nastavený režim	58
2. Zavření okna schématického editoru.....	58
3. Objeví se hlášení „Are you sure you want to quit?“	58
4. Objeví se okno s titulkem „Component Editor“.....	58
5. Některé schématické značky jsou deformovány nebo popis součástek je od značek nepřírodně vzdálen	58

6. Chyby v důsledku nesprávného spojování součástek navzájem a součástek a vodičů	58
7. Chyby v důsledku nesprávného umístování symbolických názvů uzlů	58
8. Ve schématu není značka uzemnění	58
9. Není vygenerován grid text .MODEL	59
10. Je vidět jen okraj schématu nebo ani toto	59
9. Časová analýza (Transient Analysis)	59
<i>Menu Transient Analysis Limits (meze časové analýzy)</i>	<i>59</i>
<i>Menu Transient options (podmínky časové analýzy)</i>	<i>60</i>
10. Střídavá - kmitočtová analýza (Frequency Analysis)	61
<i>Menu AC Analysis Limits (meze kmitočtové analýzy)</i>	<i>61</i>
<i>Menu AC options (podmínky kmitočtové analýzy)</i>	<i>63</i>
11. Stejnoseměrná analýza (DC Analysis)	63
<i>Menu DC Analysis Limits (meze stejnosměrné analýzy)</i>	<i>64</i>
<i>Menu DC options (podmínky stejnosměrné analýzy)</i>	<i>64</i>
12. Vícenásobná analýza - krokování (Stepping)	65
13. Práce s grafy	65
<i>Režim „P“</i>	<i>65</i>
<i>Práce v režimu Scale</i>	<i>66</i>
Posouvání křivek v obrázku	66
Zobrazování detailů a výřezů	66
<i>Práce v režimu Cursor</i>	<i>66</i>
Výběr křivky, na niž jsou přichyceny kurzory	67
Ovládání kurzorů z klávesnice	67
Ovládání kurzorů pomocí myši	67
Význam čísel v jednotlivých sloupcích	67
Změna počtu desetinných míst zobrazovaných souřadnic	67
<i>Práce v režimu Text absolute mode nebo Text relative mode</i>	<i>67</i>
Vložení textu	67
Dodatečná úprava textu	68
Odstranění textu	68
14. Pohyb v prostředí MC4	68
<i>Editace geometrie aktivního okna</i>	<i>68</i>
<i>Přepínání mezi otevřenými okny</i>	<i>68</i>
<i>Nejpoužívanější „horké“ klávesy</i>	<i>68</i>
15. Výstup výsledků simulace na tiskárnu, plotter nebo do souboru	69
<i>Možné formáty dat</i>	<i>69</i>
<i>Výstup dat v textovém formátu</i>	<i>69</i>
Konfigurace tisku v textovém režimu	69
Tisk netlistu	69
Tisk výsledků simulace v numerickém formátu	70
<i>Výstup dat v grafickém formátu</i>	<i>70</i>
Tisk schématu zapojení	70
1. Standardní výstup schématu na tiskárnu	70
2. Výstup schématu na plotter nebo do souboru	71
3. Tisk schématu standardními procedurami pro tisk grafiky	72
Tisk grafických výstupů (křivek)	72
Výstup na tiskárnu standardními procedurami pro tisk grafiky	72
Výstup na plotter nebo do souboru	72
16. Některé „horké“ klávesy	73
Literatura	74

PŘEDMLUVA

Skripta jsou určena jako studijní a referenční příručka simulačního programu MicroCap IV pro studenty 3. a 4. ročníků k zabezpečení vybraných počítačových cvičení předmětu *Programové vybavení*. Dále mohou sloužit všem, kteří pracují nebo se chtějí naučit pracovat s programem MicroCap IV. Těm je určena především druhá část skript, která je rozdělena na část sloužící k rychlému zaškolení do práce s programem a na část přílohovou, kde jsou možnosti programu objasněny detailněji s důrazem na popis v praxi nejčastěji vykonávaných úkonů.

Studentská verze programu MicroCap IV je analogovým simulátorem založeným na numerických algoritmech SPICE 2G.6. MicroCap IV vám umožní jednoduchým způsobem vložit schéma vašeho zapojení do osobního počítače a odzkoušet ho dříve, než si ho postavíte ze skutečných součástek. Můžete si také odpovědět na otázky, které zpravidla zajímají každého návrháře: Co se stane, když změním hodnotu tohoto odporu? Bude můj obvod pracovat i při extrémně nízkých nebo naopak vysokých teplotách? Jak se bude chovat při vysokých kmitočtech? Co se stane těsně po zapnutí napájecího napětí? S MicroCapem IV lze s obvodem zajímavě experimentovat a mnohému se naučit. K tomu je ovšem třeba, abyste při práci přemýšleli o tom, jak tyto experimenty vést a také o tom, co vám právě vychází. Pamatujte, že správná interpretace výsledků simulace je plně na vás. Simulátor pracuje s modely víceméně nedokonalými a vy byste se měli vždy ptát: jsou výsledky, které mi program nabízí, reálné? Odpovídají zdravému fyzikálnímu názoru? A jak mám postupovat, aby se výsledné zapojení chovalo opravdu tak, jak chci? Zkrátka - berte MicroCap IV jako rádce a pomocníka s velmi zajímavými možnostmi, ale ponechte si nad ním kontrolu. Odpovědnost za celkový návrh poneseš vy.

Nesete odpovědnost také za to, že výsledky simulace budou řádně zdokumentovány, aby byly přístupné pro každého, kdo přijde po vás. Ve skriptech naleznete celou kapitolu o tom, jak dostat schémata zapojení, výsledné grafy a tabulky na záznamová média, tj. na disk a na papír. Zdokumentován musí být také postup, kdy obohacujete knihovny součástek o nové prvky, kdy vytváříte vlastní schématické značky a přiřazujete jim modely. Zde se seznámíte s některými postupy, které jistě uplatníte i v jiných oblastech vaší pozdější praxe.

Skriptum je účelné využívat především při současném experimentování na počítači. Po zvládnutí základů práce s programem doporučujeme, abyste si individuálně prošli na počítači projekt popsany v kapitole 2. *Ukázka stylu práce v MC4*.

Program MicroCap IV v. 1.03, Student Edition, je k dispozici u autorů skript. Na ně se rovněž můžete obracet jak s připomínkami týkajícími se obsahu skript, tak i s vašimi problémy, které je třeba překonávat na cestě k profesionálnímu zvládnutí počítačové simulace elektronických obvodů.

V Brně a Rožnově p.R. dne 27.12.1995

Autoři

1. KONFIGURACE MC IV

VÍCEUŽIVATELSKÁ KONFIGURACE

Program MC4 je nutno nakonfigurovat tak, aby s ním mohlo pracovat více studentů a přitom aby nedocházelo k prolínání mezi jejich projekty a knihovnamí. Tyto požadavky se dají snáze splnit v síťovém provozu než na sólo počítačích. Zaměříme se tedy na obtížnější případ sólo počítače.

Po nainstalování MC4 vznikne podadresář DATA, ve kterém se nacházejí mj. netlisty cvičných obvodů pro výuku. Nevýhodou je, že když tvoříte své vlastní obvody, dodáváte je do téhož adresáře, ve kterém jsou navíc umístěny i všechny knihovny a makra. Časem vznikne nepořádek. Lepší je rozdělit si adresář MC4 na tyto podadresáře:

SAMPLE - sem si uschováme výukové příklady, které si můžeme navíc ochránit před modifikací atributem *read only*.

SUBCKT - v tomto adresáři budeme shromažďovat tzv. subcircuits neboli podobvody typu *SPICE* s příponou *.MOD*.

LBR - zde budou centrální knihovny MC4. Standardně se dodává ke studentské verzi pouze knihovna *SMALL.LBR*, další lze dokoupit nebo vyrobit.

MACRO - zde budou shromážděny makroobvody vytvořené v prostředí MC4, tj. soubory s příponou *.CIR*. Ke studentské verzi se dodává 27 maker a můžeme si vytvořit další.

POKUSY - poslouží nám ke skladování dat, která vzniknou na základě našich experimentů a nebudou se plést mezi výukové příklady.

Každý student by měl mít svůj pracovní adresář pro své vlastní projekty, např. *STUDENTI\P4A\MC4*. Při víceuživatelské nesíťové instalaci je třeba vyřešit tyto problémy:

1) Nadefinovat cesty ke společným datům. Systém musí „vědět“, že např. podobvody *SPICE* má hledat v adresáři *MC4\SUBCKT*, i když pracovním adresářem je právě *STUDENTI\P4A\MC4*.

2) Překonat problém s konfiguračním souborem *MC4.DAT*. Po ukončení práce se do tohoto souboru ukládají takové informace jako je poslední pracovní adresář, parametry analýz, barvy prostředí, velikosti oken, jméno knihovny, se kterou se naposledy pracovalo aj. Po dalším startu MC4 se z tohoto souboru konfigurace obnovuje. Znamená to mj. to, že budete umístěni do toho adresáře, kde se pracovalo naposledy, což je pro víceuživatelskou práci na jednom počítači zcela nevhovující.

3) Oddělit od sebe uživatelské knihovny. Každý uživatel by měl mít svoji knihovnu součástek, kterou modifikuje nezávisle na druhých.

Následuje ukázka dávkového souboru, kterým si uživatel ze svého adresáře spouští MC4. Problém č.1, nadefinování cest k datům, se řeší použitím vnitřní proměnné MC4, která má název *MC4DATA*. Tato proměnná se nastaví dosovským příkazem *SET* a po odchodu z MC4 se opět vymaže.

Problém č.2 s konfiguračním souborem *mc4.dat* je vyřešen sestavením univerzální podoby tohoto souboru, který je zálohován v jistém adresáři (v našem případě je to adresář **SAMPLE**) a těsně před spuštěním MC4 se nakopíruje tam, kde má být (příkaz *copy* v dávce). Všechny nežádoucí zásahy do konfigurace tak budou ztraceny.

```
@echo off
set mc4data=c:\mc4\sample;c:\mc4\macro;c:\mc4\subckt;c:\mc4\lbr
copy \mc4\sample\mc4.dat \mc4>nul
\mc4\mc4s /v
set mc4data=
```

Následuje ukázka hlavičky takového univerzálního souboru MC4.DAT. Ve druhém řádku je informace o pracovním adresáři, kde je použita dosovská konvence pro označení aktuálního adresáře. Po spuštění MC4 se tedy aktuální adresář stane adresářem pracovním.

```
3
.\
small
```

Řešení problému č.3 s oddělením knihoven je zřejmé z třetího řádku souboru MC4.DAT, kde se uchovává informace o jménu knihovny, která se má použít po startu MC4. Vezme se tedy knihovna SMALL.LBR z aktuálního, tj. uživatelského adresáře.

Pokud chceme ochránit před nežádoucím zásahem také knihovnu schématických značek, přiřadíme souboru CS.MC4 atribut *read only*. Toto doporučení je velmi praktické, neboť může dojít velice jednoduše k nechtěnému zásahu do tohoto souboru (při „zablouzení“ do Component editoru a modifikaci libovolného údaje se soubor CS.MC4 aktualizuje bez varování). Atribut *read only* souboru odebereme pouze v případě, budeme-li vytvářet nové schématické značky. Informace uvedené v tomto oddílu jsou pouze doporučením a vycházejí ze zkušeností s víceuživatelským provozem MicroCapu IV na sólo počítačích ve školních podmínkách. Síťový provoz MicroCapu IV je také možný a poskytuje lepší možnosti pro ochranu dat a vzájemné oddělení projektů jednotlivých studentů.

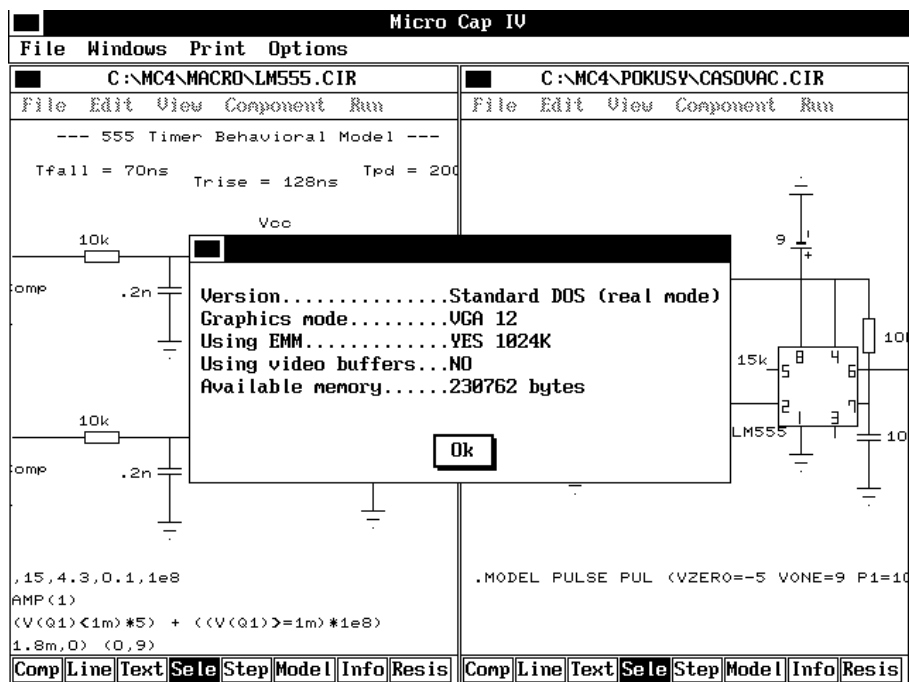
POUŽITÍ EXPANDED MEMORY

Chcete-li výrazně zvýšit výkon MC4, nainstalujte si přidanou neboli expanded paměť. V souboru CONFIG.SYS by měla figurovat patřičně upravená řádka

```
device=c:\dos\emm386.exe
```

bez přepínače *noems*. O tom, zda tuto paměť pro MC4 skutečně využíváte, se přesvědčíte v prostředí MC4 tak, že aktivujete „horkou klávesu“ Alt+Z. Objeví se tabulka s informacemi o typu a využitelnosti paměti a jiné užitečné informace (viz obr.1.1).

Jaké jsou výhody při používání přidané paměti? Máte možnost pracovat s několika obvody současně, přičemž každé schéma je v jednom otevřeném okně. Počet současně otevřených oken je omezen velikostí paměti. Tato zajímavá možnost se také projeví kladně v režimu *Info*, kdy dotazem na makro se otevře další okno s příslušným vnitřním zapojením makroobvodu a dotazem na podobvod typu *SPICE* se otevře okno s textovým souborem obsahujícím model této součástky. Obr.1.1 ukazuje zapojení s oblíbeným časovačem 555 vytvořeným v MC4 jako makroobvod. Základní schéma zapojení je v pravé a vnitřní schéma časovače v levé polovině pracovní plochy.



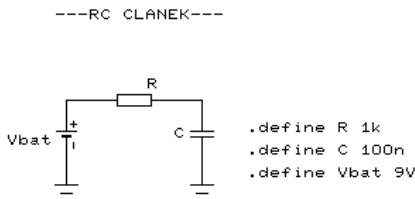
Obr.1.1. Prostředí editoru schémat MC4 po stisknutí kláves Alt+Z.

2. UKÁZKA STYLU PRÁCE V MC4

Cílem této kapitoly je ukázat takový styl práce se simulačním programem, který vede k dobrým výsledkům. Budeme řešit konkrétní problém návrhu zdrojové části vysílače dálkového ovládání s LED diodami. Všimněte si, že při práci se simulačním programem jste to vy, kdo celý návrh řídí, posuzuje výsledky a rozhoduje o dalším postupu. Pro úspěšnou práci se také vždy předpokládá, že budete mít solidní znalosti z oboru. To platí pro práci s jakýmkoli simulačním programem.

ILUSTRATIVNÍ PŘÍKLAD

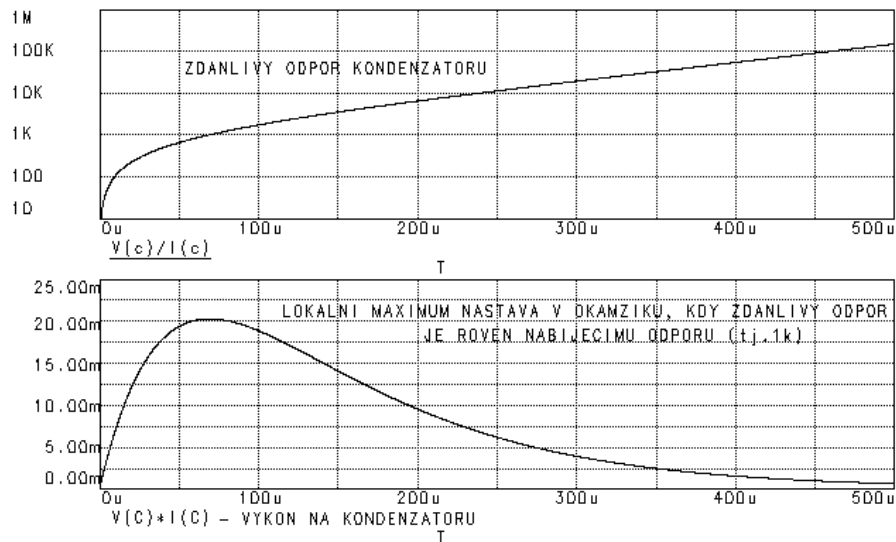
LED diodami protékají v nárazech proudové pulsy o vysoké amplitudě (jednotky ampérů) a velmi nízké střídě. Pro pokrytí těchto proudových špiček se proud odebírá z nabitého kondenzátoru, který se po většinu času nabíjí malým proudem přes odpor z destičkové baterie 9V. Malým proudem proto, aby se šetřila baterie. Budeme chtít prozkoumat, jaká je účinnost takového nabíjení kondenzátoru, tj. jaké procento z celkové energie dodané baterií se ztratí na nabíjecím odporu a kolik procent se využije na nabití kondenzátoru. Dále se budeme snažit tuto účinnost nějakým způsobem zvýšit, aby nám destičková baterie vydržela co nejdéle.



Obr.2.1. Nabíjení kondenzátoru přes rezistor.

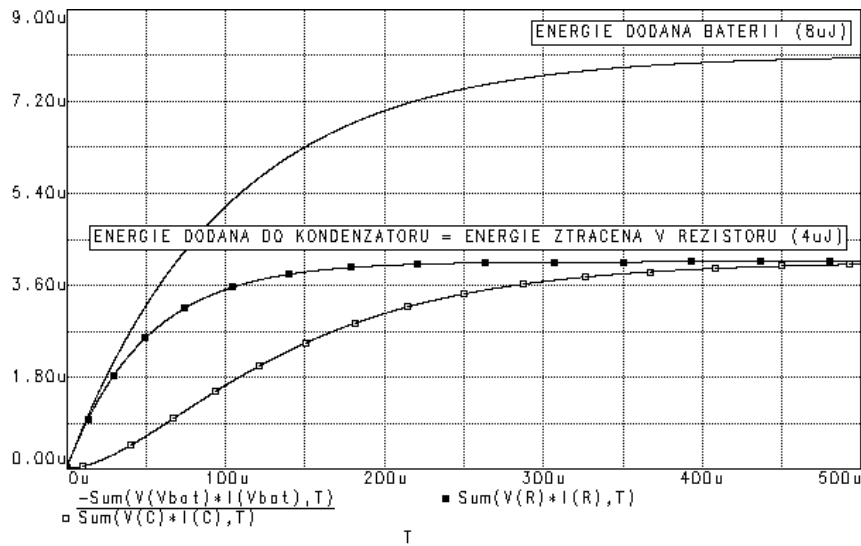
Uvažujme případ, kdy kondenzátor C je vybitý a připojíme na něj přes odpor R napětí Vbat. Kondenzátor se nabíjí podle známé exponenciální křivky (viz obr.2.4) na napětí baterie. Z hlediska Ohmova zákona se vybitý kondenzátor chová v čase $t = 0$ jako dokonalý zkrat a počáteční nabíjecí proud tedy bude pro náš konkrétní případ činit 9 mA. Nabíjecí proud postupně klesá až k nule a zdánlivý odpor kondenzátoru tedy stoupá až k nekonečnu. Kondenzátor v našem zapojení se chová jako rezistor, jehož odpor stoupá od nuly do nekonečna podle vztahu $R_c = U_c / I_c$.

Graf na obr.2.2 ukazuje, jak program MC4 vypočetl časovou závislost zdánlivého odporu kondenzátoru od okamžiku zapnutí. Z důvodu přehlednosti je zdánlivý odpor vynesena v logaritmickém měřítku. Druhá závislost ukazuje výkon $P_c = U_c * I_c$, který nabíjený kondenzátor odebírá z baterie. Tato křivka musí začínat i končit v nule, protože v okamžiku zapnutí je na kondenzátoru nulové napětí a po dostatečné době zase kondenzátorem neteče téměř žádný proud. Křivka tedy musí mít extrém. Počítačová analýza ukazuje, že k tomuto extrému dochází právě v okamžiku, kdy se zdánlivý odpor kondenzátoru přesně rovná nabíjecímu odporu (viz obr.2.2). Znáte vysvětlení tohoto jevu? (Vzpomeňte si na podmínku pro maximální přenos výkonu ze zdroje do zátěže ve stejnosměrných obvodech).



Obr.2.2. Zdánlivý odpor kondenzátoru a přenos výkonu.

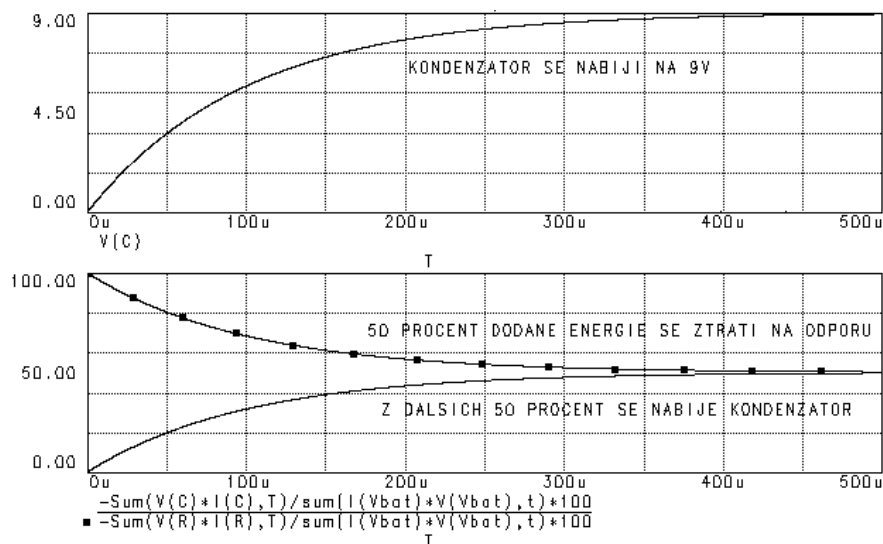
Výkon přijímaný kondenzátorem je rychlost, se kterou přijímá energii. Vidíme, že tato rychlost stoupá až do okamžiku, kdy se zdánlivý odpor kondenzátoru vyrovná nabíjecímu odporu (v tomto okamžiku tvoří oba odpory symetrický dělič a na kondenzátoru musí být poloviční napětí zdroje, tj. 4,5V), a pak klesá až k nule. Plocha pod touto křivkou (neboli časový integrál z výkonu) se rovná celkové energii, kterou baterie dodala do kondenzátoru. Grafy na obr.2.3 ukazují časové závislosti této energie, energii ztracenou v nabíjecím odporu a energii dodanou baterií do celého obvodu.



Obr.2.3. Energetické poměry.

Ukazuje se, že baterie dodala na úplné nabití kondenzátoru asi 8 mikrojoulů, avšak pouze polovina (4mikrojouly) se využila na nabití kondenzátoru a druhá polovina se přeměnila v teplo na nabíjecím odporu. Účinnost takového nabíjení je tedy pouze 50% ! Názorně to ukazuje graf 2.4.

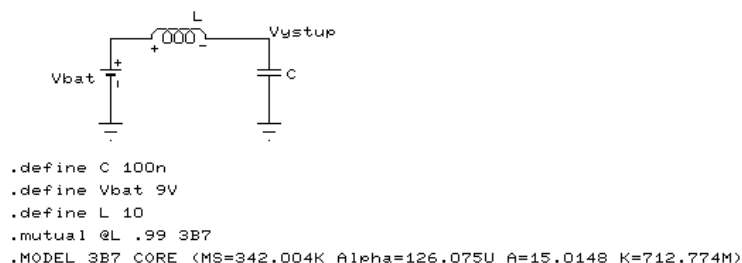
Účinnost 50% při nabíjení kondenzátoru přes odpor není závislá na velikosti odporu ani kondenzátoru. Je vždy 50% nezávisle na časové konstantě. Pokuste se tuto zákonitost odvodit (integrální počet) nebo alespoň ověřit pomocí programu MicroCap IV pro různé hodnoty R a C .



Obr.2.4. Účinnost při nabíjení kondenzátoru přes odpor v %, nahoře napětí na kondenzátoru.

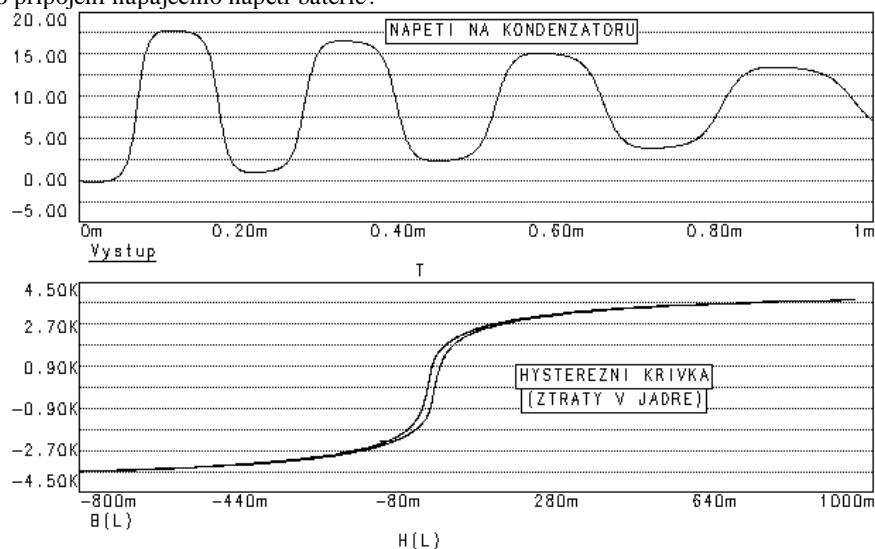
Znamená to tedy, že při bateriovém napájení našich přístrojů se polovina drahocenné energie napájecí baterie vždy ztratí na nabíjecích odporech? Nemusí tomu tak být vždy (viz obr.2.5).

---EKONOMICKE NABÍJENÍ KONDENZÁTORU---



Obr.2.5. Nabíjení kondenzátoru přes cívku.

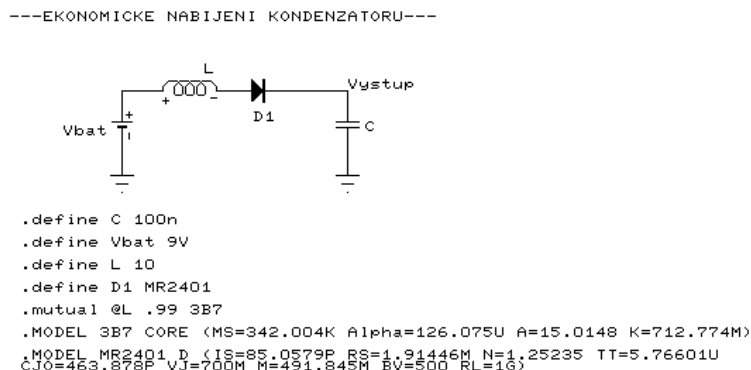
Místo nabíjecího odporu jsme použili cívku L o 10 závitů na nelineárním magnetickém jádru materiálu 3B7. Co se bude dít po připojení napájecího napětí baterie?



Obr.2.6. Poměry na kondenzátoru a cívce.

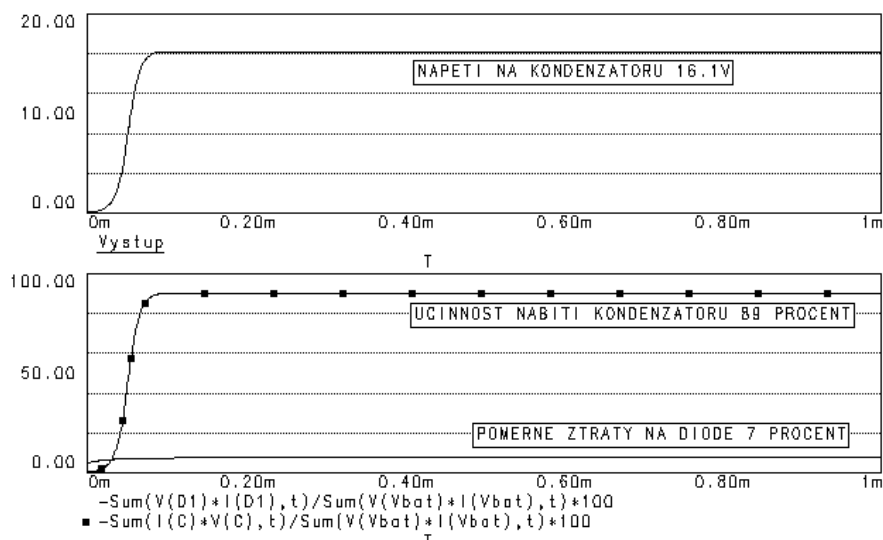
Obr.2.6 ukazuje, že zapojení tvoří relativně málo tlumený rezonanční obvod. Tlumení obstarává pouze vnitřní odpor baterie, který je v MC4 nastaven implicitně na $1m\Omega$, a ztráty v magnetickém materiálu jádra. Představu o ztrátách v jádře můžeme získat z hysterezní křivky (plocha uvnitř křivky). Čím užší a sevřenější hysterezní křivka, tím menší ztráty.

Na kondenzátoru se střídavě objevuje napětí, které je podstatně vyšší než napětí destičkové baterie 9V. Energie ze zdroje se postupně akumuluje v magnetickém poli cívky a s určitým zpožděním se transportuje do kondenzátoru. Abychom zabránili zpětné výměně, vřadíme mezi cívku a kondenzátor diodu (viz obr.2.7.). Požadujeme malé ztráty a proto použijeme diodu s malým úbytkem napětí v propustném směru (oblíbené jsou některé typy Schottkyho diod).



Obr.2.7. Nabíjení kondenzátoru přes cívku a diodu.

Nyní budeme zkoumat, s jakou účinností se nabije kondenzátor C. Jinými slovy nás bude zajímat, kolik procent z celkově vynaložené energie dodá baterie do kondenzátoru a kolik se nenávratně ztratí na diodě a v magnetickém jádru cívky. Grafické výsledky analýzy jsou k dispozici v obr.2.8. Co všechno můžeme z těchto grafů vyčíst?



Obr.2.8. Účinnost při ekonomickém nabíjení kondenzátoru.

Všimněme si, že kondenzátor se nabil z destičkové baterie 9V na napětí 16,1V. Je to možné proto, že magnetické pole cívky načerpalo z baterie s velmi nízkými ztrátami energii, která se projevila indukovaným napětím, působícím souhlasně s napětím baterie. Další výhodou oproti odporovému nabíjení je vysoká účinnost nabíjení, která v našem případě činí 89 %. Z grafu vyplývá, že asi 7 % energie se spotřebuje na nevratné ztráty na diodě a zbytek, tj. 4%, se ztratí v materiálu cívky.

Neuvažovali jsme žádný činný odpor přívodů v nabíjecí větvi, který by se přirozeně projevil nižší účinností při nabíjení. Pro danou aplikaci je také nutné vzít v úvahu, jakým způsobem budeme ze zdroje odebírat proud. Podle frekvence, s jakou budeme odebírat proudové impulsy pro vysílač dálkového ovládní, musíme dimenzovat časovou konstantu obvodu tak, aby se kondenzátor stačil ekonomickým způsobem nabíjet přes magnetické pole cívky. Obvod je samozřejmě možno různými způsoby modifikovat. Od našeho jednoduchého zapojení již není daleko k problematice spínaných zdrojů.

POUČENÍ

Programů pro analýzu elektrických obvodů je dnes již celá řada. Světovým standardem je *SPICE*. Z této kategorie programů je běžně dostupná free varianta simulátoru *PSPICE* - Design Center for Windows, v současné době verze

6.2, od firmy MicroSim (zájemce odkazujeme na literaturu [9]). Každá nová varianta *SPICE* přichází s něčím novým a možnosti v této oblasti jsou dnes již značné. Existuje také množství jiného software pro profesionální simulaci i pro výukové a studijní účely. MicroCap od firmy Spectrum Software prošel verzemi 1 až 4 a nejnovější verze 5 pro Windows se svými algoritmy přiblížila programům *SPICE* a v komfortu uživatelského rozhraní je v mnohém napřed. Řešení našeho problému s ekonomickým nabíjením kondenzátoru by probíhalo na každém z těchto simulátorů trochu jinak, ale závěry by byly stejné. Také hlavní zásady, které návrhář musí při práci se simulátorem elektrických obvodů dodržovat, jsou vždy stejné bez ohledu na typ používaného software.

Návrhář musí být dobře teoreticky vybaven pro svoji práci. Nespoléhejte se na to, že počítačovými experimenty se o elektrickém zapojení něco nového naučíte, když vám budou chybět základní vědomosti z elektrických obvodů a elektroniky. A naopak - kdo tyto základy má, ten se může prostřednictvím vlastních pokusů pomocí počítače dozvědět o zákonitostech v elektrických obvodech mnohdy více než studiem některé literatury.

Každý simulátor má svá omezení. Toho si musíte být vědomi při posuzování výsledků simulace. Za příklad si vezměme energetické poměry při odporovém nabíjení kondenzátoru na obr.2.3. Při standardním nastavení MC4 vyjde konečná energie dopravená do kondenzátoru o něco větší než $4\mu\text{J}$ a energie spálená na odporu o něco menší než $4\mu\text{J}$. To by znamenalo, že účinnost nabití kondenzátoru přes odpor může být vyšší než 50%, což odporuje teorii. Chyba je v tom, že standardní nastavení parametrů časové analýzy je co do velikosti výpočetního kroku poměrně hrubé. Stačí zjemnit krok vyplněním položky **Limits/Maximum Time Step** vhodným údajem a výsledek bude odpovídat skutečnosti.

Musíme mít také jasnou představu o základních pojmech, týkajících se elektrických obvodů. Standardní nastavení časové analýzy předpokládá, že před vlastní simulací se vypočítá pracovní bod obvodu, od kterého se pak budou odvíjet časové průběhy navolených veličin. Pokusíme-li se s tímto standardním nastavením zjistit časový průběh napětí na kondenzátoru nabíjeného přes odpor podle obr.2.1, vyjde nám nesmyslný výsledek. Nejprve se totiž spočítá pracovní bod neboli ustálený stav obvodu, tj. stav, kdy je kondenzátor nabitý na napětí 9V. Výstupem pak bude konstantní napětí 9V. Máme-li přitom navolen režim automatické volby souřadnic, výsledkem bude „klikatá čára“ neboli numerický šum kolem 9V. Pro nápravu stačí zakázat výpočet pracovního bodu před simulací odblokováním položky **Options/Operating Point**.

3. MICRO-CAP IV

Tato část skript obsahuje stručný popis vybraných možností studentské verze programu Micro-Cap IV, verze 1.03 (dále MC4). Zaměřuje se na praktické zvládnutí základní práce s programem. Z důvodu omezeného rozsahu skript zde nejsou popisovány mnohé funkce programu, které nejsou pro základní práci nutné. Bližší podrobnosti naleznete v originálním manuálu [1], který je k dispozici u autorů skript.

ZÁKLADNÍ INFORMACE O PROGRAMU

MC4 je výkonný interaktivní program pro simulaci elektrických obvodů. Studentská verze má oproti verzi profesionální omezení v rozsahu analyzovaného obvodu do 50 uzlů včetně vnitřních uzlů modelů složitějších součástek a makroobvodů, příp. subobvodů *SPICE*. V příloze 5 je uveden seznam některých součástek, které mimo své vnější uzly vyžadují definici uzlů vnitřních. Z tabulky vyplývá, že např. při simulaci obvodu obsahujícího více než dva operační zesilovače (OZ) nebudeme zřejmě moci využít nejvyšší úroveň modelování OZ (level 3), která vyžaduje 15 vnitřních uzlů.

Program lze provozovat na počítačích PC 286 a vyšších pod operačním systémem DOS od verze 3.3. Pracuje prakticky se všemi grafickými adaptéry. Na disku zabírá bez rozšiřujících knihoven součástek a bez programu MODEL.EXE méně než 1.5 MB.

V adresáři **MC4** je několik souborů, z nichž pro nás důležité jsou tyto:

- MC4C.EXE** Spustíme v případě, máme-li počítač s matematickým koprocesorem.
MC4E.EXE Spustíme v případě, máme-li počítač bez matematického koprocesoru.
MC4S.EXE Univerzální spouštěcí program: Nejprve je provedena automatická detekce přítomnosti matematického koprocesoru a poté se spustí buď program **MC4C.EXE** nebo **MC4E.EXE** (o spuštění programu viz doporučení v kap. 1. *Konfigurace MC4*).
MC4.DAT Konfigurační soubor MC4. Automaticky se přepíše vždy při ukončení práce s programem a zapíše se do něj aktuální konfigurace programu (rozložení oken, používaná knihovna součástek, nastavená cesta k datům apod.). Je výhodné uložit si kopii originálního souboru pro případ nahrání nevyhovující konfigurace.
Jde o obyčejný textový soubor, kde v 2. řádce je uvedena cesta k datům (soubory s příponou .CIR, kde je uložena informace o schématu analyzovaného obvodu a podmínkách analýzy). V 3. řádce je pak plné jméno knihovny modelů se standardní příponou .LIB, která bude při běhu programu využívána. K studentské verzi je dodávána knihovna **SMALL.LIB**. Je však možné dokoupit rozšiřující knihovny, případně si uživatel může knihovny sám obohacovat o vlastní modely.
CS.MC4 Zde jsou uloženy schématické značky používané schématickým editorem. Opět je vhodné pořídit si záložní kopii tohoto souboru.

Před spuštěním programu doporučujeme odstranit z paměti rezidentní programy a diskové manažery (NC, M602 apod.).

Máme-li v počítači výkonnější grafickou kartu, můžeme si vyzkoušet spuštění programu s příponami, umožňujícími větší grafické rozlišení (viz příloha 1).

OBECNÉ ZÁSADY OVLÁDÁNÍ PROGRAMU A PRÁCE S OKNY

Program je teoreticky možné ovládat pouze z klávesnice, pohodlnější je však používání myši. Většina myši je vybavena buď dvěma nebo třemi tlačítky. Levé tlačítko je výkonné (provádíme akce), pravé má pomocnou funkci a příliš jej nebudeme používat (pouze pro rotaci součástek a posouvání obsahu obrazovky).

Ovládání je velmi podobné jako v systému Windows. Pokud neznáte základní zásady pro práci s okny a pull-down menu, požádejte učitele o inštrukci. Některé informace naleznete v příloze 14.

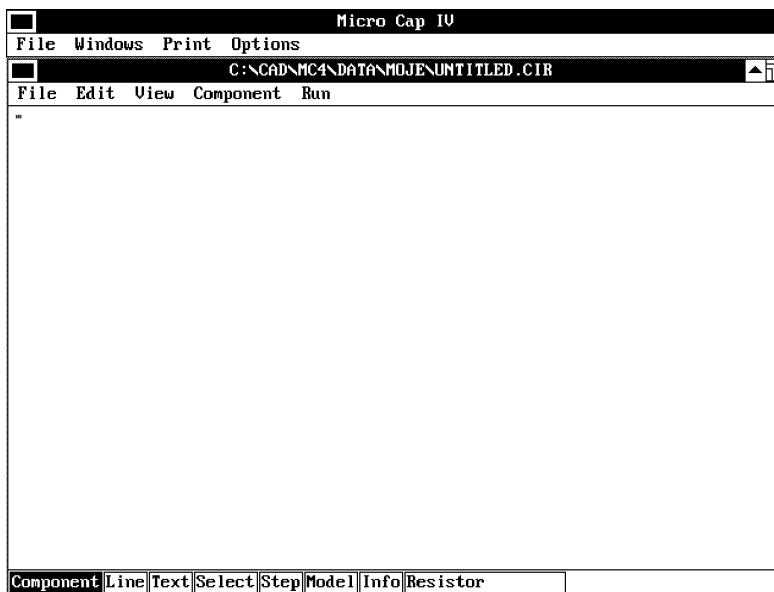
Program MC4 má některé často používané „horké klávesy“, jejichž seznam je uveden v příloze 16.

Příručka je sestavena tak, že většina podstatných informací je soustředěna do příloh. Následující text slouží ke globálnímu seznámení s prostředím programu a jeho možnostmi.

STRUČNÝ PRŮVODCE MOŽNOSTMI PROGRAMU MC4

PRVNÍ KROKY PO SPUŠTĚNÍ PROGRAMU

Po spuštění programu se objeví dvě překrývající se okna podle obr.3.1. Přední okno je okno vyhrazené souboru UNTITLED.CIR (nepojmenovaný). Je připraveno pro nakreslení schématu obvodu, které se pak může uložit na disk buď pod uvedeným jménem, nebo pod jiným jménem, které si zvolíme.



Obr.3.1. Úvodní okno

Máme však i jinou možnost, totiž pracovat s obvodem, jehož zadání je již uloženo na disku. Program MC4 je dodáván s řadou vzorových souborů, které využijeme na seznámení se s možnostmi programu. Pak ale musíme nejprve odmítnout nabídku na tvorbu vlastního schématu. Provedeme to například volbou

File (přední okno)

1: Unload circuit

(postupně klikneme myší na uvedené položky).

V tom okamžiku zmizí přední okno a pracovní plocha vyjma horních titulkových pruhů zešedne. Nyní klikneme do položky

File

Rozbalí se následující menu:

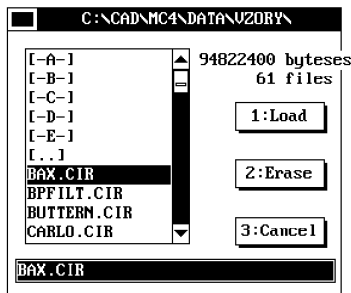
- | | |
|----------------------------|---|
| 1: New schematic | Vrátí bychom se opět do režimu zadávání nového obvodu UNTITLED.CIR |
| 2: New SPICE file | Režim zadávání textového souboru formátu SPICE |
| 3: Load schematic | Režim načtení dříve vytvořených dat ve formě schématu |
| 4: Load SPICE file | Režim načtení dříve vytvořených dat ve formě textového souboru SPICE |
| 5: Change data path | Změna cesty k datovým souborům. Cesta je nastavena v inicializačním souboru MC4.DAT. Pokud ji změníme, zapíše se tato změna do daného souboru v okamžiku ukončení programu. |

Popíšeme způsob načtení již vytvořených dat.

NAČTENÍ EXISTUJÍCÍHO SOUBORU A JEHO ULOŽENÍ NA DISK




Načteme do schématického editoru již vytvořené schéma, které je uloženo na disku v souboru BAX.CIR. Vybereme tedy položku **3: Load schematic** (buď klikneme myší na tuto položku, nebo stlačíme klávesu 3).

Objeví se okno se seznamem souborů s příponou .CIR, které jsou nalezeny v adresáři určeném pro data (viz obr.2.2). Soubor, jehož název známe, můžeme vybrat několika způsoby. Pro začátek zvolíme následující postup:



Obr.3.2. Okno načtení dat.

Stlačíme klávesu **B** (první písmeno názvu požadovaného souboru). Ukazatel se v seznamu posune na první položku začínající písmenem B. Poté kurzorovou klávesou **↑** nalistujeme položku BAX.CIR. Volbu potvrdíme klávesou **ENTER**.

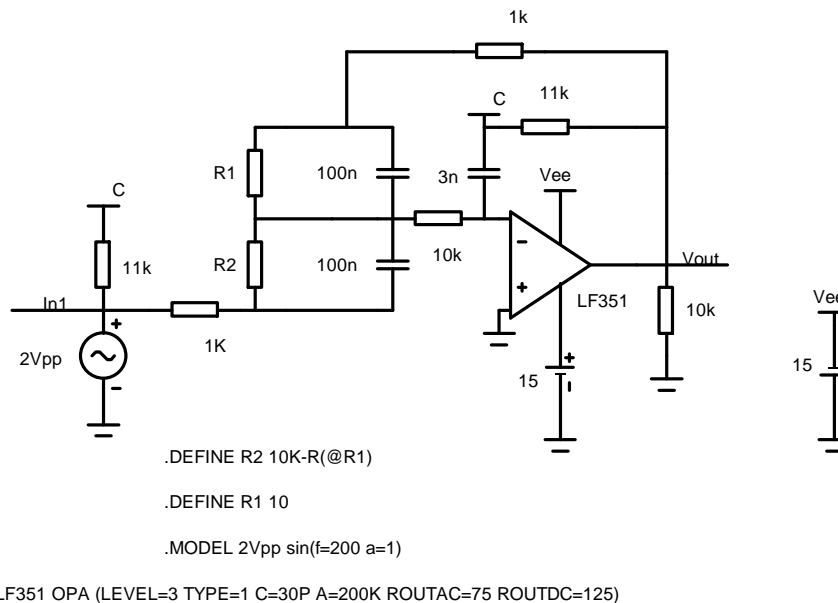
Zobrazí se schéma *Baxandalova korekčního zesilovače* na obr.3.3. Hodláme-li maximalizovat aktuální okno, klikneme na symbol  v pravém horním rohu (zkuste - okno se maximalizuje, pak se symbol změní na , další kliknutí - původní stav  a tak pořád dokola).

Data obsahující informace o analyzovaném obvodu můžeme kdykoliv zpět uložit na disk buď pod původním jménem (**File, 2:Save circuit**, pak se původní soubor nenávratně přepíše novým), nebo pod jiným jménem (**File, 3:Save circuit as**). Protože v následujících experimentech můžeme změnit některá data, nebudeme riskovat přepsání originálního souboru BAX.CIR. Data nahrajeme do nového souboru s názvem např. BAXA.CIR a budeme dále pracovat s touto kopií souboru původního.

Aktivujeme postupně příkazy:

File

3:Save circuit as



Obr.3.3. Schéma Baxandalova korektoru.

Objeví se okénko pro zadání nového jména. Zapišeme

BAXA

a stlačíme **ENTER**. Na disku se objevil soubor BAXA.CIR - kopie původního souboru, který zůstal nezměněn. Od této chvíle budeme pracovat s nově vytvořeným souborem.

POPIS OBVDU

Program si sám provede očíslování uzlů obvodu. Čísla pak využíváme k zadávání požadavků na simulaci. Čísla uzlů si můžeme zobrazit volbou

View

4: Show node numbers

Kromě toho si však můžeme uzly, které nás zajímají, pojmenovat vlastními jmény. Ve schématu jsou to uzly označené jmény In1 a Vout. Jedná se o text umístěný u příslušných vodičů (formát viz příloha 2, zásady umístění textu příloha 8).

Jaké jsou výhody symbolického značení uzlů? Upravujeme-li schéma, mohou se čísla jednotlivých uzlů měnit. Pak může dojít k změně čísla uzlu, které např. používáme k označení výstupního uzlu při analýze. Při symbolickém označení výstupního uzlu se to nemůže stát.

Dále si všimněte značek typu T - jsou to tzv. spojky, angl. TIE. Někdy je třeba elektricky spojit dva uzly například geometricky hodně vzdálené. Je to možné řešit nakreslením dlouhého vodiče. Jeho případné nevodivé křížení s jinými vodiči lze překlenout pomocí tzv. JUMPERu. Druhou možností jsou spojky. Označíme-li několik spojek stejnými názvy, znamená to automaticky jejich vodivé spojení. Tím je v našem schématu spojkou C zabezpečeno spojení uzlu 6 s „horním“ vývodem rezistoru 11k a spojkou Vee přivedení napájecího napětí -15V k operačnímu zesilovači. Každý analyzovaný obvod bez výjimky musí mít definován nulový potenciál schématickou značkou uzemnění (GROUND). Není-li tato značka ve schématu, je generováno chybové hlášení.

Dále vidíme, že parametry součástek lze definovat různými způsoby. Například kapacity všech kapacitorů a odpory většiny rezistorů jsou uvedeny přímo u schématických značek. Jde o tzv. přímé zadávání. Jinak je to u rezistorů R1 a R2. Jejich odpory jsou definovány nepřímou tzv. *grid textem*. Podrobnosti o nepřímém způsobu definice jsou v příloze 3. Text je možné umístit kdekoliv na pracovní plochu. Definovat součástku lze příkazem .DEFINE. Jaký význam mají definice R2 a R1 v našem obvodu?

.DEFINE R2 10K-R(@R1)

R2 = 10kΩ minus odpor rezistoru R1; symbol @ značí, že R1 je chápán jako proměnná veličina z důvodů vícenásobné analýzy (viz dále).

.DEFINE R1 10

R1 = 10Ω.

Rezistory R1 a R2 totiž modelují potenciometr o celkovém odporu 10kΩ a s jezdcem vyvedeným na spojnici R1 a R2. Proto R2 je rozdílem mezi 10kΩ a R1. Jestliže pak budeme při analýze krokovat R1 od (0-10) kΩ, budeme mít uvedenými definicemi automaticky ošetřeno, že v opačném směru se bude měnit i R2.

Z uvedeného plyne, že nepřímá definice parametrů součástky může skýtat více možností pro analýzu než definice přímá. Podrobnosti viz příloha 3.

Všimněme si, že při zadávání číselných hodnot lze používat tzv. inženýrskou notaci (k = kilo apod.). Formát inženýrské notace používaný v MC4 je uveden v příloze 2. Na tomto místě pouze uvedeme, že MC4 nerozlišuje velká a malá písmena, takže pro zkratky mili a mega se musí použít rozdílné symboly (M a MEG).

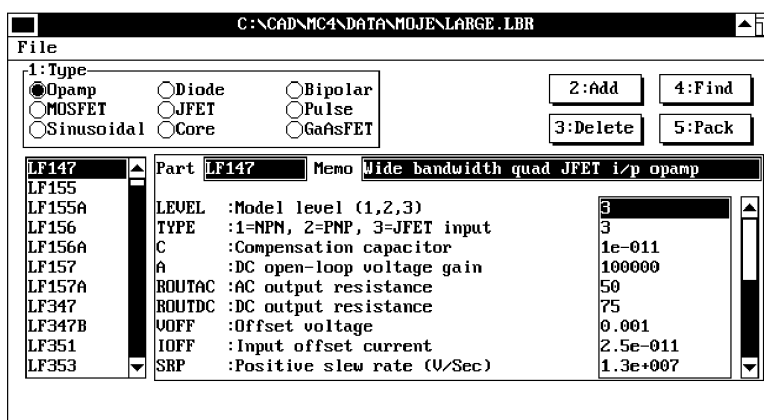
Parametry součástek, které mají složitější modely, jsou uchovávány v knihovně součástek. Objeví-li se ve schématu „knihovní součástka“, například operační zesilovač, musíme uvést výčet jejích parametrů příkazem .MODEL. V našem případě se to týká operačního zesilovače LF351 a harmonického zdroje 2Vpp. Podrobnosti o způsobu práce s příkazem .MODEL jsou uvedeny v příloze 3, konkrétní význam parametrů modelů vybraných součástek pak v příloze 4.

Do knihovny můžeme nahlédnout pomocí tzv. **Model Editoru**. Aktivujeme postupně tyto položky:

Windows

2:Model Editor

Objeví se okno aktuální knihovny, viz obr. 3.4. Ze sekce **1:Type** je zřejmé, že knihovna obsahuje 9 dílčích knihoven. Seznam součástek v každé dílčí knihovně a její parametry si můžeme vybavit klepnutím na kruhovou značku před jménem knihovny.



Obr.3.4. Okno knihovny.

MC4 umožňuje různé operace v knihovně, jako např. slučování dílčích knihoven, vytváření nových položek apod. Tyto činnosti však nepřísluší začátečníkům!

Pozor! Jakákoliv změna v uložených datech se automaticky zapíše do příslušného souboru *.LIB po ukončení práce s programem. Může tak dojít k znehodnocení dat originální knihovny.

Aktivní okno opustíme stlačením **ESC** nebo jiným způsobem běžným pro práci s okny.

Kreslicí plocha, která je k dispozici pro tvorbu schématu, je větší než plocha momentálně zobrazovaná. Při prohlížení rozměrných schémat je třeba pohybovat se po celé pracovní ploše. Pak je možné použít elegantního postupu pomocí myši: stiskneme pravé tlačítko a neustále jej držíme. V místě kurzoru se objeví symbol ruky. Pohybem myši posunujeme zobrazovaný výřez tam kam potřebujeme. Jinak je možné použít klasický posuv přes kurzorové klávesy a tlačítka **HOME** a **END**.

Další možností je měnit měřítko zobrazení. Vyzkoušejte si příkazy:

View

1:Scale

Nabízejí se 4 zobrazovací režimy: 1:1, 2:1, 4:1 a 8:1. Normálně se používá zobrazení 1:1. Zkuste kliknout do položky 2:1. Pak stejným způsobem nastavte původní zobrazení.

Režimy 1:1 a 8:1 se dají rychle přepínat horkou klávesou **F9** (viz seznam horkých kláves v příloze **16**).

Další činnosti se naučíme v kapitole o schématickém editoru. Nyní si ukážeme příklady simulací daného obvodu.

SIMULACE OBVODU

(vysvětleno na příkladu souboru BAXA.CIR)

Simulace obvodu představuje proces modelování jeho chování v různých situacích. Chování obvodu zjišťujeme analýzou jeho modelu. Program MC4 je schopen několika typů analýz, jejichž výčet zobrazíme kliknutím na položku **Run**:

1:Transient analysis	Přechodová analýza (analýza obvodu v časové oblasti).
2:AC analysis	Střídavá, kmitočtová analýza (analýza obvodu v kmitočtové oblasti).
3:DC analysis	Stejnoseměrná analýza (analýza statických charakteristik obvodu).
4:Probe mode	Zvláštní režim, použitelný u všech tří typů analýz, který zde nebude probíráán.

Pro úplnost dodejme, že v rámci všech tří typů analýz je možné podrobit obvod analýze vícenásobné a analýze statistické metodou Monte Carlo.

Kmitočtová analýza (AC Analysis, AC = Alternating Current)

(vysvětleno na příkladu souboru BAXA.CIR)

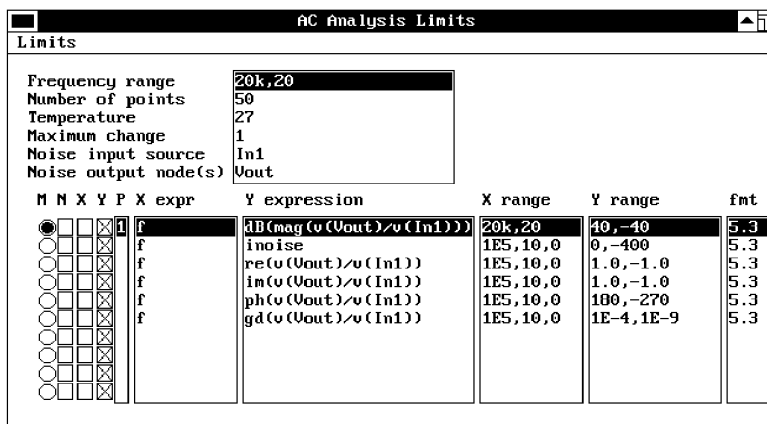
Nyní provedeme výpočet kmitočtových charakteristik korekčního filtru při různých hodnotách R_1 (viz obr.3.3). Vstupem filtru je napětí uzlu In1 proti zemi, výstupem pak napětí uzlu Vout. Vybereme položky

Run

2:AC analysis

Objeví se menu na obr.3.5. Přesný význam jednotlivých položek je uveden v příloze **10**. Nyní postačí konstatovat, že:

- Kmitočtová charakteristika bude počítána v rozmezí kmitočtů od 20 Hz do 20 kHz.
- Analýza proběhne při teplotě prostředí 27°C. Teplota prostředí je v MC4 ztotožněna s teplotou součástky.
- Na vodorovnou osu se bude vynášet kmitočet, na svislou osu modul přenosu napětí z vstupu na výstup v decibelech.
- Kmitočtová charakteristika bude vykreslena v rozmezí kmitočtů od 20 Hz do 20 kHz.
- Modul na svislé ose bude zobrazen v intervalech od -40 dB do +40 dB.
- Ostatní průběhy definované v řádcích č.2 a dále nebudou vykresleny, protože není zadáno číslo obrázku v sloupci P (picture = obrázek).



Obr.3.5. Základní nabídka kmitočtové analýzy.

Dříve než odstartujeme simulaci, podíváme se na to, jak jsou nastaveny ostatní podmínky simulace. Klepneme na položku

AC analysis

v prostředním okně a pak na položku

AC

Rozbalí se toto menu:

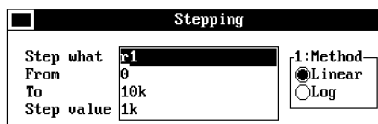
- | | | |
|-------------------------|------------|---|
| 1:Run | F2 | Spuštění analýzy |
| 2:Limits | F9 | Toto okno je již otevřeno |
| 3:Options | F10 | Další podmínky simulace |
| 4:Stepping | F11 | Podmínky režimu krokování (vícenásobné analýzy) |
| 5:Numeric output | | Zablokováno |
| 6:Plot analysis | | Generování dat pro plotter |

Obsah položek **3** a **4** je vysvětlen v přílohách **10** a **12**. Klepneme na položku

4:Stepping

(nebo zmáčkneme horkou klávesu **4** nebo **F11**). Objeví se okno s údaji, které znamenají toto:

Při analýze bude krokován parametr R1 od 0 do 10kW po 1kW lineární metodou, což značí, že bude vykresleno celkem 11 různých frekvenčních charakteristik obvodu pro hodnoty R1 = (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10) kW.



Obr.3.6. Okno pro zadávání podmínek vícenásobné analýzy.

Zavřeme okno **Stepping** (šetříme paměť) a spustíme analýzu buď stlačením

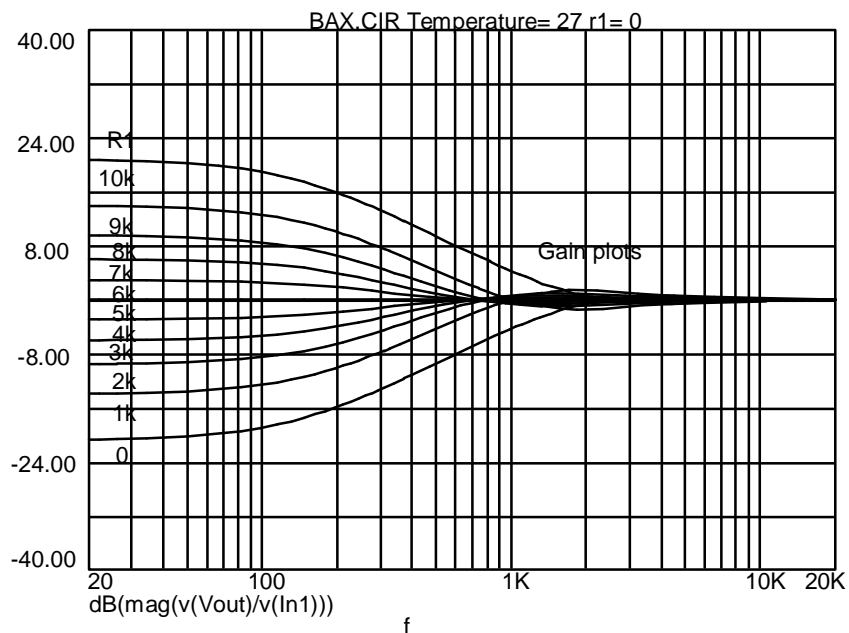
F2

nebo aktivací

AC

1:Run

Proběhne analýza a vykreslí se soustava 11 kmitočtových charakteristik. Ukázka znázorňuje, že do grafu je možné přidávat popis (po aktivaci příkazů **Scope, 3:Text absolute mode** nebo **4:Text relative mode**; pak po kliknutí na vybrané místo do grafu se objeví prostor pro zápis textu, který se pak umístí do grafu; podrobnosti viz příloha **13**).



Obr.3.7. Výsledky kmitočtové analýzy.

Mnohdy potřebujeme detailně analyzovat křivky získané simulací, zejména odečítat jejich souřadnice a vyhledávat důležité body jako např. lokální extrémy, inflexní body apod. K tomu nám slouží speciální režim zobrazení. Řízení režimů zobrazení se skrývá pod položkou **Scope**. Kliknutím na tuto položku se rozbálí příslušné menu. Standardně je nastaveno

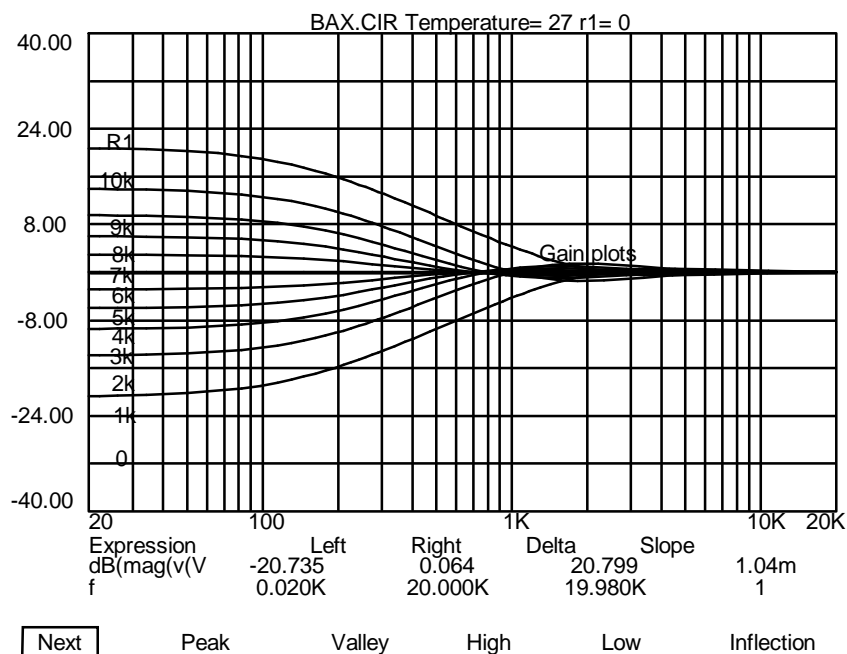
1:Scale mode Zobrazení v předem zadaných měřítkách.

Seznámíme se s užitečným režimem

2:Cursor mode Režim kurzorového odečítání. V tomto režimu lze odečítat souřadnice křivek a hledat jejich význačné body.

Aktivujeme tento režim. Do spodní části obrazovky se umístí speciální menu. Umístíme kurzor myši do libovolného místa plochy grafu a klikneme levým tlačítkem myši. Objeví se vertikála s vyznačeným bodem kolem spodní křivky. Tím je definován tzv. *levý kurzor*. Technikou *Click and Drag*, případně klávesami \leftarrow a \rightarrow lze tento kurzor posouvat po obrazovce. Dole čteme aktuální souřadnice dané křivky v sloupci *Left* (levý). *Pravý kurzor* je zatím implicitně v pravém rohu grafu (protože jsme s ním zatím nehýbali). V sloupci *Right* (pravý) vidíme jeho příslušné souřadnice, v sloupci *Delta* (rozdíl) rozdíl souřadnic pravého a levého kurzoru. V sloupci *Slope* (strmost) je uvedena strmost spojnice souřadnic obou kurzorů. Kurzorovými klávesami - a \rightarrow lze přepínat mezi jednotlivými křivkami v grafu (Pozor, jen v případě, že křivky byly vykresleny **vícenásobnou analýzou**).

Klikneme-li pravým tlačítkem myši, objeví se na místě kurzoru myši *pravý kurzor*. Můžeme jím opět pohybovat technikou *Click and Drag* (ovšem při používání pravého tlačítka myši), nebo klávesami \leftarrow a \rightarrow při současném držení klávesy **Shift**.



Obr. 3.8. Práce v režimu Cursor.

Spodní položky

Next	další vypočítaný bod
Peak	lokální maximum
Valley	lokální minimum
High	absolutní maximum
Low	absolutní minimum
Inflection	inflexní bod

se aktivují kliknutím a slouží k vyhledávání charakteristických bodů křivky. Vyhledávání probíhá od aktuální pozice kurzoru buď

- doprava** - aktivací \rightarrow pro levý kurzor, **Shift** \rightarrow pro pravý kurzor, nebo
- doleva** - aktivací \leftarrow pro levý kurzor, **Shift** \leftarrow pro pravý kurzor. Vyzkoušejte si!

Podrobnosti jsou uvedeny v příloze 13.

Nyní se vrátíme do režimu

AC

3:Options

a vyzkoušíme si různé možnosti grafické úpravy křivek. Okno **AC options** přesuneme (technikou *Click and Drag* - uchopíme za modrý panel **AC options**) například do pravého horního rohu obrazovky, aby nám příliš nebránilo v pohledu na křivky. Postupně poklepávejte na všechny položky v **Other options** (další podmínky). V grafu se budou okamžitě objevovat příslušné změny.

Poznámka: Položka **Tokens** v našem případě není aktivní. Slouží ke grafickému rozlišení křivek různých obvodových veličin. Tady se jedná pouze o vícenásobné vykreslení průběhu jedné veličiny.

Po stlačení

F3

se vrátíme do prostředí schématického editoru. Všechna dosud otevřená okna kmitočtové analýzy se zavřou.

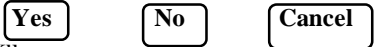
Soubor BAXA.CIR odstraníme z paměti:

File

1:Unload circuit

Pokud program zjistil, že došlo k změně některých dat určujících podmínky analýzy, zeptá se, zdali chceme uložit změny:

**File has changed.
Full name of circuit
Do you want to save it?**



Je-li naše odpověď ne, klepneme na položku

No

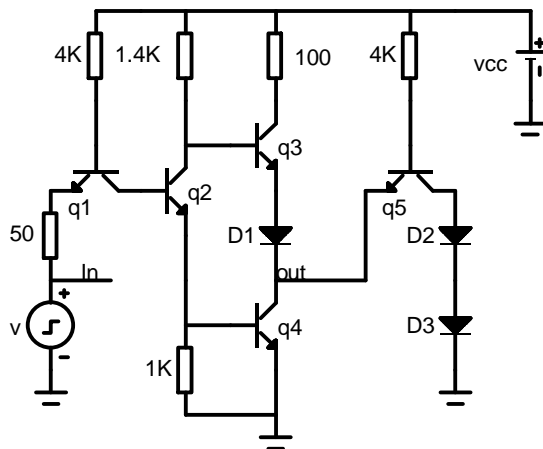
(nebo stlačíme klávesu N).

Časová analýza (Transient Analysis)

(vysvětleno na příkladu souboru TTLINV.CIR)

Načteme soubor TTLINV.CIR (TTL hradlo NAND modelované na tranzistorové úrovni) a uložíme ho do nového souboru TTLINVA.CIR. Prohlédneme si obrazovku (obr. 3.9) a snažíme se porozumět všem příkazům .DEFINE a .MODEL:

```
.define q1 qn      .MODEL d d (is=10f tt=10n cjo=900f vj=0.7)
.define q2 qn      .MODEL qn npn (bf=75 is=1f cjc=5p cje=2p vaf=50 tf=.5n tr=5n var=100)
.define q3 qn      .MODEL v pul (vone=3.5 p1=1000p p2=2n p3=40n p4=41n p5=100n)
.define q4 qn
.define q5 qn
.define D1 D
.define D2 D
.define D3 D
.define vcc 5
.define vcc 5
```



Obr.3.9. Zadání hradla NAND

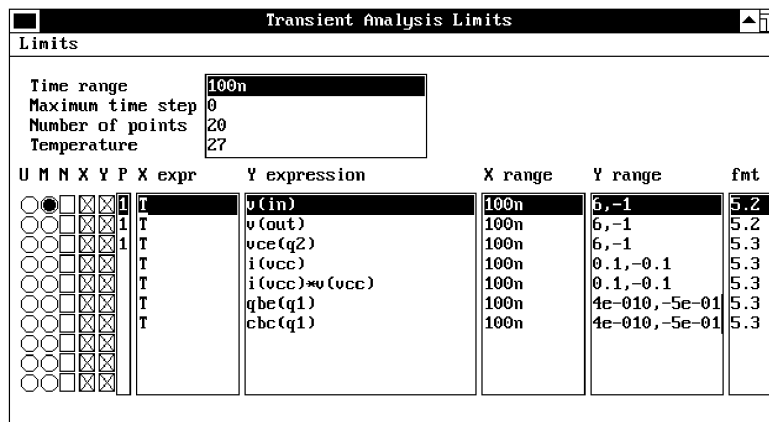
Mezi uzlem In a zemí je zapojen zdroj s označením v. Model tohoto zdroje je popsán v 3. řádku v horní části obrazovky. Jedná se o zdroj typu PUL (= pulsní). Parametry zdroje tohoto typu jsou popsány v příloze 4. Prohlédneme-li si obrázek P1 v této příloze, zjistíme, že je zadán zdroj impulsů o úrovních 0V a 3.5V a opakovací periodě 100ns.

Aktivujeme časovou analýzu:

Run

1:Transient analysis

Otevře se menu **Transient Analysis Limits** (viz obr.3.10).



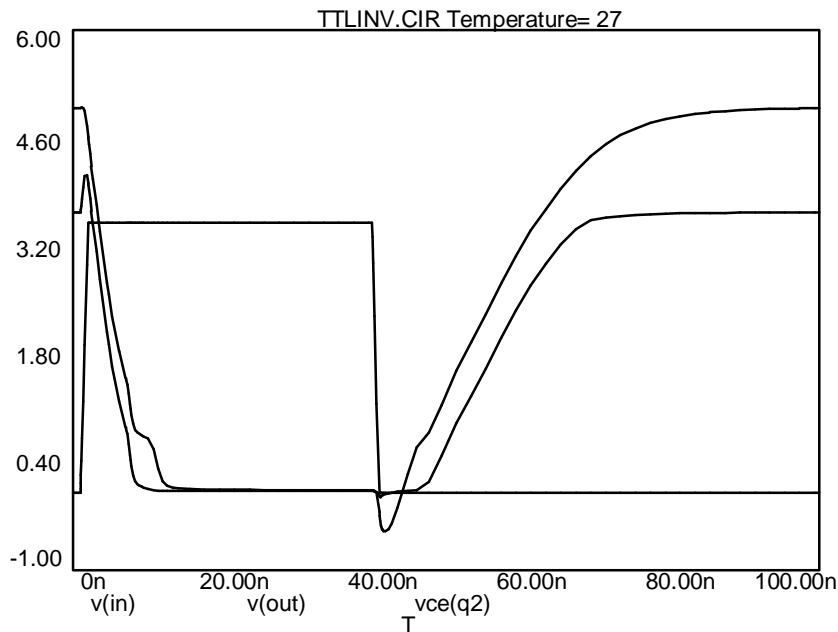
Obr.3.10. Menu časové analýzy

Podrobný význam jednotlivých položek je uveden v příloze 9. V této chvíli můžeme konstatovat toto:

- Časová analýza proběhne v časovém intervalu od nuly do 100ns.
- Grafický výstup analýzy bude ve formě tří časových průběhů: napětí uzlů **in** a **out** a napětí kolektor-emitor tranzistoru **q2**.
- Všechny tři křivky budou zakresleny v jediném obrázku č.1.
- Všechny tři křivky budou vykresleny ve stejných měřítkách: (0 až 100)ns na ose **X**, (-1 až +6)V na ose **Y**.
- Ostatní definované průběhy nebudou vykresleny (v sloupci **P** nejsou čísla obrázků).

Analýza proběhne po aktivaci horké klávesy

F2

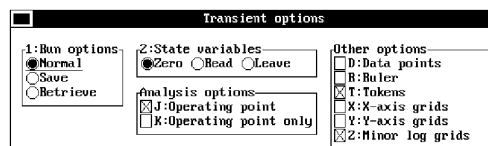


Obr. 3.11. Výsledky časové analýzy obvodu z obr. 3.9.

Nyní se podívejme na to, jaké režimy analýzy vlastně byly nastaveny.

Transient 3: Options

Zobrazí se okno **Transient options** (podmínky časové analýzy). Podrobný význam jednotlivých položek je v příloze 9. V tomto okamžiku jsou pro nás důležité tyto položky:



Obr.3.12. Podmínky časové analýzy.

2: State variables - Zero

Značí, že na počátku simulace se nastaví na nulu všechna uzlová napětí (a v případě, jsou-li v obvodu induktory, pak i proudy těchto induktorů). Analýza tedy proběhne z nulového energetického stavu obvodu.

Analysis options - J: Operating point (t.j. Pracovní bod)

Znamená toto: Před analýzou proběhne hledání stejnosměrného pracovního bodu, t.j. výpočet napětí a proudů, k jejichž ustálení by došlo po připojení obvodu k stejnosměrným napájecím zdrojům při nepůsobení signálu ze vstupního generátoru. Teprve pak začne probíhat analýza odezvy na vstupní signál.

Kdyby nebyla vyznačena tato položka, program by řešil složitý přechodný děj způsobený současným připojením jak vstupního signálu, tak i napájecích zdrojů.

Často nás zajímá pouze stejnosměrný pracovní bod - t.j. rozložení stejnosměrných napětí a proudů v obvodu. Pak je třeba zařídit, aby po výpočtu pracovního bodu již neproběhla časová analýza. Toho dosáhneme po zatržení políčka

K: Operating point only (t.j. Jen pracovní bod)

Proved'te. Tato položka má samozřejmě prioritu před položkou **J: Operating point**.

Spustíme simulaci

F2

Po proběhnutí výpočtu pracovního bodu se objeví prázdná plocha bez vykreslených křivek. Nyní máme dvě možnosti, jak zjistit stejnosměrné poměry.

1. možnost:

Transient

7: State Variables Editor

Objeví se seznam uzlů a příslušných uzlových napětí podle obr. 3.13. Tyto hodnoty je možné editovat nebo vytisknout, nahrát do souboru apod (položka **Options**).

Vrátíme se do schématického editoru

F3

a vyzkoušíme si 2. možnost:

View

5: Show node voltages

State Variables Editor		
Options		
	Node Voltages	Inductor Currents
1	+0.00000e+000	
2	+9.12405e-009	
3	+4.98622e+000	
4 out	+3.63204e+000	
5	+4.27942e+000	
6	+4.92679e+000	
7	+5.00000e+000	
8	+2.03746e+000	
9	+1.33057e+000	
10	+7.86197e-001	
11	+5.26725e-002	
12 In	+0.00000e+000	
13	+6.65285e-001	

Obr.3.13. Výsledky výpočtu stejnosměrného pracovního bodu obvodu TTL.

Jednotlivá napětí se zobrazí přímo ve schématu u každého uzlu. Výhodou je větší přehled o napěťových poměrech, nevýhodou může být menší počet desetinných míst výsledku a také to, že v případě induktorů se zde nezobrazí jejich proudy.

Stejnoseměrná analýza (DC Analysis, DC = Direct Current)

(vysvětleno na příkladu souboru TTLINV.CIR)

Podrobné vysvětlení jednotlivých menu DC analýzy je shrnuto v příloze 11.

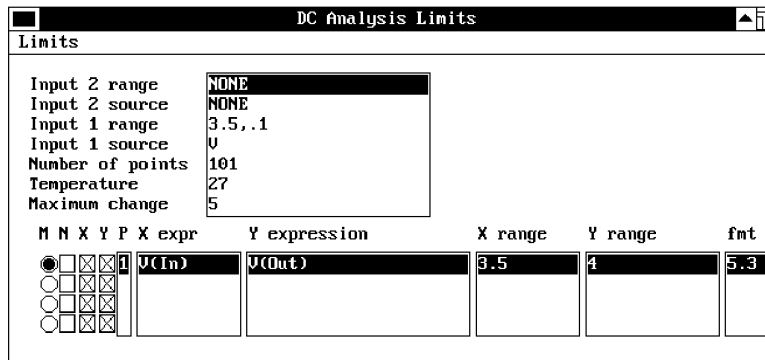
Cílem stejnosměrné analýzy obvodu TTLINV.CIR bude určení statické převodní charakteristiky TTL invertoru z obr.3.9 $U_{OUT} = f(U_{IN})$. Při analýze se bude simulovat měření této charakteristiky metodou „bod po bodu“. Znamená to, že se nastaví napětí zdroje označeného názvem v na konkrétní hodnotu napětí, zjistí se odpovídající stejnosměrné napětí mezi uzlem OUT a zemí a vynesou se příslušný bod do roviny U_{OUT}, U_{IN} . Pak se zvětší napětí zdroje na novou hodnotu, opět se zjistí odpovídající napětí na výstupu, zakreslí se druhý bod převodní charakteristiky atd. Před analýzou je třeba mimo jiné specifikovat, který zdroj budeme používat k nastavování signálu na vstupu, v jakých mezích se má tento signál pohybovat a co je výstupní signál.

Spustíme analýzu:

Run

3: DC analysis

Otevře se okno **DC Analysis Limits** podle obr.3.14. Přesný význam jednotlivých položek je uveden v příloze 11. Pro tuto chvíli postačí konstatovat, že:



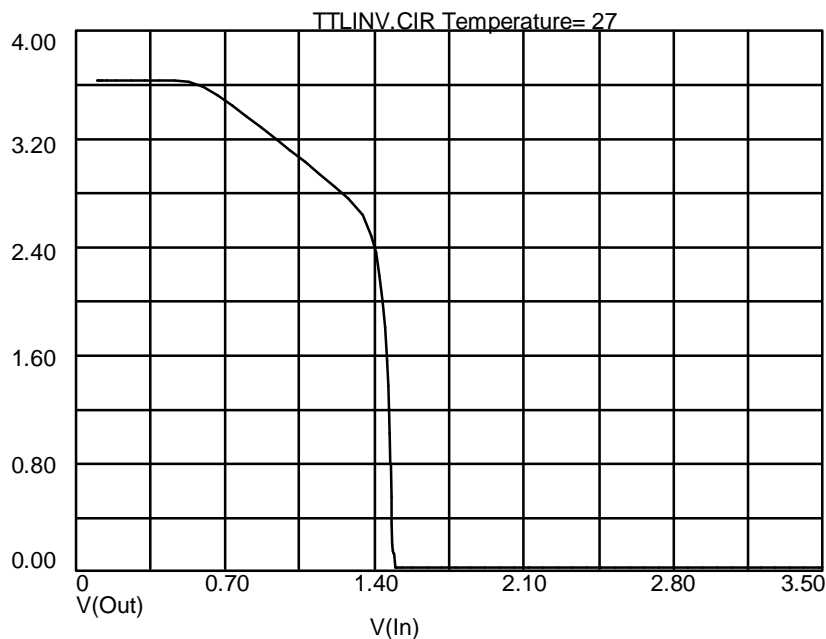
Obr.3.14. Menu DC analýzy.

- Vstupním signálem je napětí zdroje označeného ve schématu jménem V (položka **Input 1 source**).
- Toto napětí se bude při „měření“ měnit od 0,1V do 3,5V (položka **Input 1 range**).
- Délka skutečného kroku bude řízena tak, aby změna výstupního napětí mezi dvěma kroky výpočtu nepřekročila 5% ze zobrazovaného rozsahu výstupního napětí (položka **Maximum change**).
- Výsledkem analýzy bude jediná křivka, protože položky **Input2 range** a **Input2 source**, které definují případný druhý „parametrický zdroj“ jsou vyblokovány klíčovým slovem **NONE**.

Spustíme analýzu:

F2

Vykreslí se typická převodní charakteristika TTL invertoru podle obr. 3.15.



Obr. 3.15. Výsledná statická převodní charakteristika TTL invertoru.

Na disku jsou další vzorové příklady CURVES.CIR, IVBJT.CIR a IVMOS.CIR demonstrující složitější způsob DC analýzy vedoucí k sítí převodních charakteristik (konkrétně k sítí výstupních charakteristik tranzistoru), kdy je využito položky **Input 2** k parametrickému nastavování příslušné obvodové veličiny.

PŘÍLOHY**1. SPOUŠTĚNÍ MC4 V RŮZNÝCH GRAFICKÝCH REŽIMECH**

Spustíme-li program bez níže uvedených rozšiřujících příkazů, t.j.

MC4S

dojde k automatické detekci nejvyšší rozlišovací schopnosti grafické karty. V případě problémů s grafikou je možné vyzkoušet následující přepínače:

/C CGA mód, rozlišení 640x200, 2 barvy
 /M mód MCGA, rozlišení 640x480, 2 barvy
 /H mód Hercules, rozlišení 720x348
 /E mód EGA, rozlišení 640x350, 16 barev
 /V mód VGS, rozlišení 640x480, 16 barev
 /SV mód SVGA, rozlišení 800x600, 16 barev
 /XV mód extended VGS, rozlišení 1024x768, 16 barev

2. VYJÁDRĚNÍ ČÍSEL V MC4; KONSTANTY A SYSTÉMOVÉ PROMĚNNÉ, FUNKCE

V zásadě se nerozlišují malá a velká písmena.

Vyjádření čísel v pevné řádové čárce: 1.287, -27.1, 8

Vyjádření čísel v pohyblivé řádové čárce: 1e-12, -5.8E8, 32.11e19 (nerozlišují se malá a velká „e“)

Inženýrská notace: 5K, 8m, 3.3MEG,... (nerozlišují se malá a velká písmena, zákaz kombinace typu 4k7)

Konstanty a systémové proměnné MC4

PI 3.141592653589793
 GMIN minimální vodivost specifikovaná v *Global Settings*
 TEMP teplota v stupních Celsia
 VT teplotní napětí počítané ze vzorce

zkratka	označení	číselná hodnota
F	Femto	1E-15
P	Pico	1E-12
N	Nano	1E-9
U	Mikro	1E-6
M	Mili	1E-3
K	Kilo	1E3
MEG	Mega	1E6
G	Giga	1E9
T	Tera	1E12

$$VT = \frac{1.3806226 \cdot 10^{-23} (273.15 + TEMP)}{1.60219118 \cdot 10^{-19}}$$

Při 27°C vychází přibližně 25.86mV.

Vnitřní proměnné a funkce MC4

T simulační čas
 F kmitočet
 S komplexní kmitočet $j2\pi F$
 RND číslo vytvářené generátorem náhodných čísel s rovnoměrným rozdělením pravděpodobnosti v intervalu hodnot $\langle 0,1 \rangle$.

Funkce, jejichž argumenty definuje uživatel

Většinou tvoří tyto argumenty názvy uzlů. Je možné dvojí vyjádření názvů uzlů:

1) Čísla, která MC4 přiřadí uzlům automaticky a která lze zobrazit v režimu *Show node numbers*.

Způsob číslování závisí od způsobu vytváření schématu.

2) Symbolické označení uzlů textem, např.

Input, uzell1, vystup, ..

Jméno může sestávat z max. 50 alfanumerických znaků. Nelze použít symboly rezervované pro vnitřní konstanty, proměnné nebo operátory. Znakem nemůže být ani mezera.

Obvodové funkce

V(A) Napětí mezi uzlem se jménem A a zemí.
 V(A,B) Napětí mezi uzly A a B, t.j. V(A) - V(B).
 V(D) Napětí na dvojpólu D.

	Př.: V(C1).. napětí na kapacitoru C1; V(1N4148).. napětí na diodě 1N4148. Napětí je u cívek a zdrojů orientováno ve smyslu polaritě vyznačené u schématické značky. O orientaci napětí u kapacitorů a rezistorů bude zmínka na konci výčtu obvodových funkcí.
I(D)	Proud tekoucí dvojpólem <i>D</i> . U induktoru je uvažován směr proudu od značky + do -, u zdrojů je tomu stejně (pozor na zdrojovou orientaci čítacích šipek). O orientaci proudu u kapacitorů a rezistorů bude zmínka na konci výčtu obvodových funkcí.
I(A,B)	Proud tekoucí dvojpólem zapojeným mezi uzly <i>A</i> a <i>B</i> (směr proudu od <i>A</i> do <i>B</i>). Je-li mezi těmito uzly zapojeno více součástí, vypíše se chybové hlášení.
Ix(Q)	Proud tekoucí do vývodu <i>X</i> součástky <i>Q</i> . Př.: IB(2N2222).. proud tekoucí do báze tranzistoru 2N2222.
Vxy(Q)	Napětí mezi vývody <i>X</i> a <i>Y</i> součástky <i>Q</i> . Př.: Vce(T1).. napětí mezi kolektorem a emitorem <i>T1</i> .
Cxy(Q)	Kapacita mezi vývody <i>X</i> a <i>Y</i> součástky <i>Q</i> .
Qxy(Q)	Náboj akumulovaný v součástce <i>Q</i> mezi vývody <i>X</i> a <i>Y</i> .
R(R)	Odpor rezistoru <i>R</i> . Př.: R(r1) R(2,8).. odpor rezistoru zapojeného mezi uzly 2 a 8.
C(X)	Kapacita kapacitoru nebo diody <i>X</i> .
Q(X)	Náboj akumulovaný v kapacitoru nebo diodě <i>X</i> .
L(L)	Indukčnost induktoru <i>L</i> .
X(L)	Magnetický indukční tok v induktoru, resp. jádře <i>L</i> .
B(L)	Magnetická indukce v jádře <i>L</i> .
H(L)	Intenzita magnetického pole v jádře <i>L</i> .
ONoise	Šumové napětí výstupního uzlu.
INoise	Šumové napětí přepočítané na vstupní uzel (= ONoise/přenos).

Poznámka 1: Orientace napětí a proudu u obvodových funkcí typu V(jméno_dvojpólu), resp. I(jméno_dvojpólu)

U součástek typu *R* a *C*, v jejichž schématických značkách není vyznačena polarita, se orientace napětí a proudu řídí polohou tzv. referenčního bodu schématické značky - tzv. *origin*. Tento bod je na konci jednoho z vývodů součástky. Jeho polohu zjistíme například tak, že v režimu *select* klepneme na dvojpól a tím jej vyznačíme. V místě referenčního bodu se objeví blikající kurzor. Kdybychom se nyní pokusili součástku přemístit nebo ji rotovat, značka se uchytí ke kurzoru myši právě za referenční bod a rotace bude probíhat kolem tohoto bodu.

Pravidla pro orientaci napětí a proudu:

- U rezistoru se uvažuje orientace od referenčního bodu k druhému vývodu.
- U kapacitoru se uvažuje orientace opačná než v případě rezistoru.

Pro účely „zviditelnění“ polaritě obvodové veličiny je vhodné doplnit schématické značky rezistoru a kapacitoru dohodnutou značkou v *Shape editoru*.

Poznámka 2: Dva možné způsoby definice obvodových funkcí

Některé obvodové funkce, definované nad součástkami typu *R*, *L* a *C*, je možné definovat dvěma způsoby:

FUNKCE(jméno_součástky) nebo

FUNKCE(@jméno_součástky).

- V prvním případě je pod jménem součástky chápán její **neměnný** parametr, např. R21.
- V druhém případě je pod jménem součástky chápán parametr jako obvodová proměnná. Znak @ tedy musíme vložit například tehdy, bude-li se parametr součástky měnit při vícenásobné analýze.

Oficiální zkratky vývodů součástek:

součástka	název vývodu	zkratka vývodu
MOSFET	Drain, Gate, Source,Bulk	D, G, S, B
JFET	Drain, Gate, Source,Bulk	D, G, S, B
GaAsFET	Drain, Gate, Source,Bulk	D, G, S, B
BJT	Base, Emitter, Collector, Substrate	B, E, C, S
přenosové vedení	Plusin, Minusin, Plusout, Minusout	AP, AM, BP, BM

Matematické operátory a funkce

Aritmetické operátory

+, -, *, / sčítání, odečítání, násobení, dělení
 MOD zbytek po celočíselném dělení
 DIV celočíselné dělení

Transcendentní funkce

SIN(X), COS(X), TAN(X), ATN(X) Goniometrické funkce, úhel v radiánech.
 SINH(X), COSH(X), TANH(X), COTH(X) Hyperbolické funkce.
 LN(X) Přirozený logaritmus.
 LOG(X) Dekadický logaritmus.
 EXP(X) Exponenciální funkce.

Booleovské výrazy

AND, NAND, NOR, NOT, OR, XOR Stav true vrací číslo 1, stav false číslo 0

Relační výrazy

=, >, <, >=, <=, <> Lze kombinovat s booleovskými výrazy; je-li relace pravdivá, vrací číslo 1, nepravdivá vrací 0.

Komplexní funkce

MC4 provádí většinu výpočtů v komplexní aritmetice. V analýzách **DC** a **Transient** jsou imaginární složky proměnných implicitně nulové.

RE(X) nebo REAL(X) Reálná část X.
 IM(X) nebo IMAG(X) Imaginární část X.
 MAG(X) Modul X.
 MAG je nepovinné, pokud je z kontextu jasné, že se jedná o modul. Např. příkaz pro vykreslení modulové kmitočtové charakteristiky může být dvojitý:
 MAG(V(1)) nebo V(1): vykreslí se modul V(1).
 PH(X) nebo PHASE(X) fáze čísla X ve stupních.
 GD(X) skupinové zpoždění

Funkce pro zpracování signálů

HARM(x) Harmonické složky signálu x.
 RE(HARM(x))..Kosinové členy harmonických složek
 IM(HARM(x))..Sinové členy harmonických složek
 MAG(HARM(x))..Amplitudy harmonických složek
 PH(HARM(x))..Fáze harmonických složek

FFT(x) Rychlá Fourierova transformace posloupnosti $x(n)$:

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-j2\pi kn/N}, k = 0, 1, 2, \dots, N-1$$

N.. počet členů posloupnosti $x(n)$.

	Rozdíly oproti HARM(x): - Stejnoseměrná složka vychází N krát větší, - Amplitudy harmonických vycházejí $N/2$ krát větší. Zpětná rychlá Fourierova transformace: $x(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X(k) e^{j2\pi kn/N}, n = 0, 1, 2, \dots, N-1.$
IFFT(X)	
CONJ(X)	Operátor komplexního sdružení.
CS(x,y)	Cross spectrum (křížové spektrum) průběhů x a y : $CS(x,y) = \text{CONJ}(\text{FFT}(x) * \text{FFT}(y))$.
CC(x,y)	Cross correlation (křížová korelace) průběhů x a y : $CC(x,y) = \text{IFT}(CS(x,y))$.
AS(x)	„autospektrum“: $AS(x) = CS(x,x)$.
AC(x)	autokorelační funkce: $AC(x) = \text{IFT}(AS(x))$.
COH(x,y)	koherence průběhů x a y : $\text{COH}(x,y) = \frac{CC(x,y)}{\sqrt{AC(x(0)) * AC(y(0))}}$
THD(X)	posloupnost kumulativních hodnot celkového harmonického zkreslení spektra X způsobeného druhou, třetí, ..., $N/2$ -tou harmonickou, vyjádřená v procentech amplitudy základní harmonické. Př.: THD(HARM(v(1))).. zkreslení průběhu $v(1)$: body č.0 a 1: nula bod č.2: procentní zkreslení 2. harmonickou bod č.3: procentní zkreslení 2. a 3. harmonickou ... bod č. $N/2$: zkreslení harmonickými do indexu $N/2$.
RMS(x)	posloupnost kumulativních hodnot RMS spektra (Root-Mean-Square, odmocnina ze střední hodnoty kvadrátu harm. složek = efektivní hodnota).
<u>Další funkce</u>	
ABS(y)	Absolutní hodnota, $ y $.
SQRT(y)	Druhá odmocnina, \sqrt{y} .
SGN(y)	Znaménková funkce: $\text{SGN}(y) = 1$ pro $y > 0$, -1 pro $y \leq 0$.
db(y)	Decibelové vyjádření: $\text{db}(y) = 20 * \text{LOG}(y)$.
^	Exponenciální operátor: $10^2 = 100$.
POW(y,x)	Mocninná funkce, y^x .
SUM(y,x)	Integrál, $\int_0^x y dx$.
RMS(y)	Průběhová efektivní hodnota, $\sqrt{\frac{1}{t} \int_0^t y^2 dt}$, t je simulační čas.
AVG(y)	Průběhová střední hodnota, $\frac{1}{t} \int_0^t y dt$, t je simulační čas.

D(y)	Rozdíl mezi veličinou y v tomto a předešlém bodu řešení (diference). Př.: D(y)/D(t).. odpovídá časové derivaci signálu y(t).
IMPORT(file, y)	Načte signál y ze souboru na disku. Jedná se o standardní výstupní textový soubor MC4 nebo SPICE. Podrobnosti viz interaktivní nápověda.
<u>Příklady často simulovaných elektrických veličin</u>	
db(V(1))	Napětí V(1) v decibelech. Je-li v obvodu připojen jen jeden generátor signálu, pak se při kmitočtové analýze automaticky nastaví jeho úroveň na 0 db. Uvedený příkaz pak postačí k vykreslení amplitudové kmitočtové charakteristiky obvodu s výstupem na uzlu 1.
GD(V(1))	Skupinové zpoždění obvodu s výstupem na uzlu 1, viz předchozí text.
V(imp)/I(imp)	modul vstupní impedance obvodu, je-li k vstupním svorkám připojen zdroj s označením <i>imp</i> .
PH(V(imp)/I(imp))	fáze výše uvedené vstupní impedance.
V(Vcc)*I(Vcc)	Okamžitý výkon odebíraný ze zdroje se jménem Vcc.
SUM(V(Vcc)*I(Vcc),T)	Energie odebíraná ze zdroje Vcc.
Další příklady viz <i>Sample expressions</i> v interaktivní nápovědě.	

3. ZPŮSOB ZADÁVÁNÍ PARAMETRŮ SOUČÁSTEK. PŘÍKAZY .DEFINE A .MODEL

Existují dva způsoby zadávání vlastností součástek:

Přímý způsob: Zápis parametru(ů), resp. typu součástky přímo k její schématické značce.

Nepřímý způsob: K schématické značce se zapíše symbolický název součástky. Symbolickému názvu se přiřadí parametr(y), resp. konkrétní typ součástky příkazem .DEFINE.

Příklad:

Rezistor o odporu 5kΩ zadáme například tak, že k schématické značce rezistoru přímo zapíšeme číselnou hodnotu 5k.

Můžeme ale použít nepřímý způsob: K značce zapíšeme například symbol R1. Pak do libovolného místa pracovní plochy schématického editoru umístíme tzv. *grid text*, kterým definujeme, že R1 je 5kΩ. Definice musí začínat klíčovým slovem .DEFINE:

.DEFINE R1 5k

Grid text je možné umístit kdekoliv, dokonce i do schématu, což však samozřejmě není praktické a nepůsobí to esteticky. Pokud tento text nezačíná tečkou, simulátor jej vůbec nebere v úvahu, je tedy chápán jako poznámka. Tečka znamená, že následujícím textem definujeme součástku nebo obvodovou proměnnou.

Nepřímému způsobu zadávání dáme přednost zejména v těchto situacích:

1. Pro potřeby vícenásobné analýzy, kdy provádíme opakovanou analýzu obvodu při různých parametrech součástky. Pak musíme zadat, o jakou součástku jde a který její parametr se má měnit. To je možné jen tehdy, je-li zaveden symbol součástky.
2. Kvůli přehlednosti ve schématu, které nemusí být dosaženo, je-li definováno více parametrů součástky (např. jmenovitá hodnota, tolerance i teplotní součinitel) nebo je-li některý z parametrů vyjádřen vzorcem.

V MC4 je možné pracovat se složitějšími součástkami, které jsou definovány mnoha parametry. Tyto parametry jsou pro konkrétní typy součástek uloženy v speciálních knihovnách. MC4 obsahuje tyto knihovny:

označení knihovny	zkratka v příkazu .MODEL	význam
Opamp	OPA	operační zesilovače
Bipolar	NPN, PNP	bipolární tranzistory
MOSFET	NMOS, PMOS	tranzistory MOSFE
JFET	NJF, PJF	tranzistory JFE
GaAsFET	GASFET	tranzistory GaAsFE
Diode	D	polovodičové diody
Pulse	PUL	pulsní zdroje
Sinusoidal	SIN	zobecněné harmonické zdroje
Core	CORE	magnetická jádra

Objeví-li se ve schématu některá z uvedených součástek, je třeba definovat také všechny parametry této součástky. To se formálně provede příkazem .MODEL.

Podstata použití příkazu .MODEL:

Představme si, že chceme ve schématu použít křemíkovou diodu. Máme dvě možnosti:

- Použijeme konkrétní typ diody, např. 1N3491, jejíž parametry jsou uloženy v knihovně diod. Toto je nejčastější způsob práce s knihovnami polovodičových součástek.
- Použijeme diodu, která není v knihovně. Pak musíme definovat nový soubor jejích parametrů.

V tomto případě se postupuje takto:

Každé knihovně je v MC4 přiřazen soubor implicitně nastavených hodnot parametrů součástky. Implicitní hodnoty odpovídají „průměrnému vzorku“ součástek a můžeme si je prohlédnout pomocí interaktivní nápovědy. Nové parametry konkrétní součástky jsou definovány přepisováním těchto implicitních hodnot. Nedefinujeme-li tedy daný parametr, zůstává v platnosti jeho implicitní hodnota.

To je pro uživatele programu výhodné, protože většinu parametrů součástky stejně neznáme a máme tedy možnost nastavovat jen ty parametry, jejichž hodnotu máme zájem dodržet.

Příklad:

-] Definujme diodu BAS21 - jedná se přímo o konkrétní typ v knihovně *Diode* (zkratka *D*).

K schématické značce diody můžeme přímo připojit jméno BAS21 (přímé zadávání), nebo použijeme nepřímé zadávání: K značce připojíme např. symbol D2 a příkazem .DEFINE specifikujeme:

```
.DEFINE D2 BAS21
```

V obou případech však musíme specifikovat parametry diody příkazem .MODEL (MC4 vyžaduje, aby všechna data potřebná pro analýzu zapojení byla součástí příslušného souboru *.CIR). Celý příkaz lze dostat na obrazovku automaticky. Postup je ukázán v kapitole popisující práci se schématickým editorem (klepneme na položku *Model* v spodním menu).

Pro diodu BAS21 je příkaz následující:

```
.MODEL BAS21 D (IS=6.42N RS=912M N=1.98 TT=72.1N CJO=664F VJ=2 M=100M
BV=250 IBV=100U)
```

Z příkladu vidíme, že za klíčovým slovem .MODEL musí následovat název součástky, zkratka knihovny a definice parametrů v kulatých závorkách. Význam parametrů nalezne zájemce v interaktivním helpu.

-] Definujme diodu D1, která má implicitní parametry s výjimkou saturačního proudu IS=1pA:

```
.MODEL D1 D (IS=1p)
```

-] Definujme diodu D1, která má implicitní parametry:

```
.MODEL D1 D ( )
```

4. MODEL Y VYBRANÝCH SOUČÁSTEK

PASIVNÍ SOUČÁSTKY R, L, C A JINÉ

Lze zadat tyto parametry:

- Jmenovitou hodnotu v základních jednotkách.
- Toleranci v procentech nebo absolutně v základních jednotkách.
- Teplotní součinitele odporu, kapacity nebo indukčnosti.
- Počáteční napětí kapacitoru a počáteční proud induktoru pro časovou analýzu.

Povinně je třeba zadat pouze jmenovitou hodnotu. Ostatní údaje je možné zadávat v libovolném pořadí.

Kromě toho lze zadat parametr součástky vzorcem.

Zadávání tolerance součástek: klíčové slovo LOT

Chceme-li zadat např. u rezistoru o jmenovité hodnotě 10kΩ toleranci ± 10%, lze to provést dvojím způsobem:

lot = 10%	procentuální vyjádření
lot = 1k	absolutní vyjádření.

Zadávání teplotních součinitelů: klíčová slova TC, TCE

MC4 používá tak jako SPICE dva různé typy modelování teplotních závislostí parametru součástky:

- 1) parametr = jmenovitá hodnota x [1 + TC1 (TEMP - 27) + TC2 (TEMP - 27)²].
- 2) parametr = jmenovitá hodnota x 1.01^{TCE (TEMP - 27)}.

TEMP je teplota ve stupních Celsia,

TC1, TC2 a TCE jsou teplotní součinitelé parametru součástky. Implicitně jsou všechny nastaveny na nulu.

Při modelování teplotních závislostí běžných součástek typu R,C, příp. L se používá prvního vyjádření při TC2 = 0. Parametr TC1 lze nalézt v katalozích výrobců pasivních součástek.

Kvadratické, resp. exponenciální závislosti parametru na teplotě se používá ve speciálních případech, např. při modelování termistorů.

Hodláme-li například modelovat teplotní závislost kapacity podle vztahu

$C [1 + 0.0001 (TEMP - 27)]$, zapíšeme

TC = 1E-4.

Příklad modelování termistoru:

$R [1 + 2 \cdot 10^{-4} (TEMP - 27) + 10^{-6} (TEMP - 27)^2] \Rightarrow$

TC = 2E-4, 1E-6,

nebo $R \cdot 1,01^{25(TEMP - 27)} \Rightarrow$

TCE = 25.

Platí zásada, že objeví-li se v definici součástky současně jak klíčové slovo TC, tak i TCE, prioritu má TCE, pokud ovšem není TCE = 0.

Zadávání počátečních podmínek akumulčních prvků pro časovou analýzu: klíčové slovo IC

Chceme-li zajistit například počáteční podmínku $i_L = 10\text{mA}$, zapíšeme

IC=10mA (nebo 10m, případně 1E-2 apod.).

Směr proudu je chápán od znaménka + do znaménka - v schématické značce induktoru.

Chceme-li definovat počáteční napětí na kapacitoru C8 např. 5V, t.j. $V(C8)=5V$, doplníme k výčtu parametrů C8 zápis

IC=5.

Pozor! Toto napětí je orientováno tak, jak jej popsáno v Poznámce 1 na str. 28-29.

OBVODY SE VZÁJEMNÝMI INDUKČNOSTMI

vzorový soubor CORE3.CIR

Máme definovány dvě cívky L1 a L2, které jsou spojeny magnetickou vazbou s činitelem vazby 0,99. Pak zapíšeme grid text

```
.MUTUAL @L1 @L2 .99
```

Obdobně je možné jediným příkazem zapsat vzájemnou vazbu většího počtu cívek. Dobře je to patrné z vzorového souboru CORE3.CIR.

CÍVKY NA NELINEÁRNÍM MAGNETICKÉM JÁDŘE

vzorový soubor CORE.CIR

Definuje se kombinací příkazů .DEFINE, .MUTUAL a .MODEL.

MC4 obsahuje knihovnu magnetických jader. Příkazem .DEFINE se nyní definuje jméno cívky a počet jejích závitů na jádře, příkazem .MUTUAL se k cívce přiřadí činitel vazby s jádrem a jméno jádra a příkazem .MODEL se definují parametry jádra.

Příklad cívky L1 o 10 závitů na jádře s názvem K2001F s činitelem vazby 0,999:

```
.DEFINE L1 10
```

```
.MUTUAL @L1 .999 K2001F
```

```
.MODEL K2001F CORE (Area=.5 Path=2.1 MS=2e5)
```

Příklad dvou magneticky vázaných cívek:

```
.DEFINE L1 10
```

```
.DEFINE L2 50
```

```
.MUTUAL @L1 @L2 .999 K3C8
```

```
.MODEL K3C8 CORE (Area=.5 Path=3.1 MS=415444 C=.2)
```

Význam jednotlivých parametrů modelu jádra je patrný z interaktivní nápovědy.

TRANSFORMÁTORY (TRANSFORMERS)

vzorový soubor TRANS.CIR

Formát zadání parametrů:

Jméno Lp Ls K

Lp, Ls indukčnost primáru, sekundáru

K činitel vazby, $0 < K < 1$.

PŘENOSOVÁ VEDENÍ (LINES)

vzorové soubory TL1.CIR, TL2.CIR, TL3.CIR

Formát zadání parametrů:

Jméno Z0 = ... [TD = ..] nebo [F = ..[NL = ..]]

Z0 charakteristická impedance vedení [Ω]

Délku vedení lze zadat dvěma způsoby:

1. Specifikací časového zpoždění TD při přenosu signálu.
2. Specifikací frekvence F a počtu vlnových délek NL připadajících na délku vedení (přednastavená hodnota NL = 0.25).

Příklady:

```
T1 Z0=75 TD=5n
```

```
T2 Z0=75 F=125MEG NL=.5
```

ZDROJE SIGNÁLU

V MC4 je možné využívat řadu různých typů nezávislých i závislých zdrojů signálů. Zde popíšeme pouze tyto:

- *Baterie (Battery)*.
- *Pulsní zdroj (Pulse Source)* .. existuje knihovna.

- *Zobecněný harmonický zdroj (Sine Source)* .. existuje knihovna.
- *Funkční zdroj (Function Source)*.

Baterie (Battery)

Po umístění schématické značky jste vyzváni k zadání napětí ve voltech. Použijete buď přímý způsob zadání nebo nepřímý způsob přes příkaz `.DEFINE`, např.

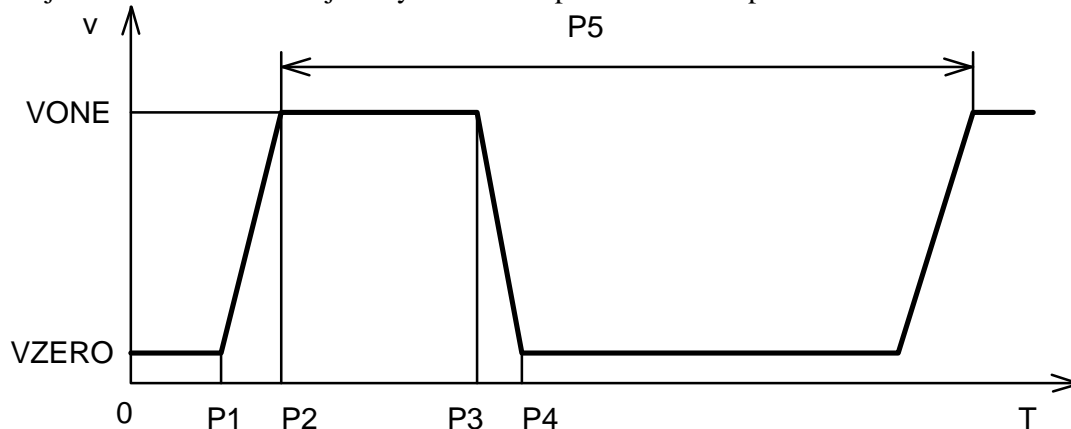
```
.DEFINE VCC 15
```

(přiřazujeme baterii se jménem VCC napětí 15V).

Pulsní zdroj (Pulse Source)

.. knihovní součástka, je nutný příkaz `.MODEL` jméno_zdroje PUL (parametry_modelu)

Jedná se o zdroj napětí. Model má 7 parametrů, jejichž význam je zřejmý z obr. P1 a z následujícího textu. V závorce je vždy uvedena implicitní hodnota parametru.



Obr. P1. Definice parametrů signálu pulsního zdroje.

VZERO (0V)

VONE (5V)

P1 (0.1 μ s)

P2 (0.11 μ s) Je možné zadat i P2=P1, čímž dosáhneme definice „ideální hrany“ impulsu.

P3 (0.5 μ s)

P4 (0.51 μ s) Je možné zadat i P4=P3.

P5 (1 μ s) Opakovací perioda signálu. Nemáme-li zájem o periodické pokračování, zadáme tento parametr větší než činí předpokládaný simulační čas.

V knihovně MC4 jsou zabudovány 4 modely impulsů (Impulse, Ramp, Square, Triangle). Obyčejně budeme definovat vlastní průběhy. Jako příklad uvádíme parametry zdroje J_SKOK - jednotkového skoku:

```
.MODEL J_SKOK PUL (VONE=1 P1=0 P2=0 P3=1 P4=1 P5=1)
```

Parametr VZERO nemusí být uveden, protože jeho implicitní hodnota je nula. Definice v tomto případě předpokládá, že simulační čas nebude delší než 1s.

Zobecněný harmonický zdroj (Sine Source)

.. knihovní součástka, je nutný příkaz `.MODEL` jméno_zdroje SIN (parametry_modelu)

Jedná se opět o zdroj napětí. Je definován sedmi parametry (v závorce jsou implicitní hodnoty):

F Frekvence [Hz] (1MHz)

A Amplituda [V] (1V)

DC Stejnoseměrná složka [V] (0V)

PH Počáteční fáze [rad] (0 rad) .. nulové poč. fázi odpovídá sinusový signál

RS	Vnitřní odpor zdroje [Ω] (0.001 Ω)
RP	Opakovací perioda exponenciálního tlumení [s] (0s)
TAU	Časová konstanta exponenciálního tlumení [s] (0s)

Vnitřní napětí zdroje je dáno výrazem $DC + \left[Ae^{-\frac{t}{TAU}} \sin(2\pi FT + PH) \right]$ opakování s periodou RP

V knihovně je nadefinováno několik signálů. Dle potřeby můžeme přidat další.

Funkční zdroj (Function Source)

Jedná se o zdroje, jejichž signály je možné zadat vzorcem (NF) nebo tabulkou (NT). Je nabízeno 6 typů. Zmíníme se pouze o zdrojích zadávaných vzorcem:

NFV napěťový zdroj

NFI proudový zdroj

Po umístění příslušné schématické značky jsme vyzváni k zadání vzorce. Vzorec můžeme sestavit z většiny funkcí, algebraických a relačních operátorů, uvedených v příloze 2. Kromě toho lze využít dvou speciálních funkcí:

P(X,Y,Z) Výkon dodávaný do určité části obvodu. X, Y a Z jsou názvy uzlů. Mezi uzly X a Y musí být zapojen rezistor nebo induktor (součástka k snímání proudu). Proud touto součástkou je násoben napětím mezi uzly Y a Z.

E(X,Y,Z) Energie dodávaná do dané části obvodu.

OPERAČNÍ ZESILOVAČE

.. knihovní součástka, je nutný příkaz .MODEL jméno_OZ OPA (parametry_modelu)
vzorový soubor OPAMP1.CIR

MC4 umožňuje modelování operačních zesilovačů (OZ) ve 3 úrovních složitosti (Level1, Level2, Level3). Kromě toho lze využít nejvyšší úroveň modelování pomocí subobvodů SPICE (modelování na tranzistorové úrovni).

Level1 OZ je modelován jako nesetrvačný zdroj proudu řízený napětím s uvažováním konečného výstupního odporu a zesílení otevřené smyčky. Tato úroveň je vhodná pro rychlou idealizovanou analýzu, sloužící k ověření správnosti principu obvodového řešení.

Level2 Třístupňový model zahrnující i dva lomové kmitočty frekvenční charakteristiky a konečnou rychlost přeběhu. Model je vhodný pro běžnou analýzu zejména ve frekvenční oblasti. Představuje kompromis mezi složitostí a přesností modelu. Při výpočtu rozšiřuje obvodovou síť o dva vnitřní uzly.

Level3 Rozšířený Boylův model, blízký se svou dokonalostí subobvodům SPICE. Je charakterizován 18 parametry - viz tabulka. Při analýze zabírá 15 vnitřních uzlů.

Poznámka: Hodláme-li simulovat obvody, kde dochází k saturacím operačních zesilovačů, musíme použít úroveň 3 (nebo subobvod SPICE). Pak doporučujeme v příkazu .MODEL vymazat parametry VCC, VEE, VPS a VNS, protože by mohly způsobit konflikt s napájecími zdroji operačního zesilovače, které musíme do schématu tak jako tak umístit.

Název par.	popis	jednotka	implicitní hodnota	úroveň modelu
LEVEL	úroveň modelu	-	1	
TYPE	1=NPN, 2=PNP, 3=JFET (typ vstupních tranzistorů)			
C	kompenzační kapacita	F	30p	3
A	ss zesílení otevřené smyčky	-	200000	1,2,3
ROUTAC	střídavý výstupní odpor	Ω	75	1,2,3
ROUTDC	stejnoseměrný výstupní odpor	Ω	125	1,2,3
VOFF	vstupní napěťová nesymetrie	V	1m	3
IOFF	vstupní proudová nesymetrie	A	1n	3
SRP	max. pozitivní rychlost přeběhu	V/s	5e5	2,3
SPN	max. negativní rychlost přeběhu	V/s	5e5	2,3
IBIAS	vstupní klidový proud	A	100n	3
VCC	kladné napájecí napětí	V	15	3
VEE	záporné napájecí napětí	V	-15	3
VPS	kladné saturační napětí	V	13	3
VNS	záporné saturační napětí	V	-13	3
CMMR	činitel potlačení souhlasného napětí	-	1e5	3
GBW	tranzitní kmitočet	Hz	1MEG	2,3
PM	fázová bezpečnost	°	60	2,3
PD	rozptylovaný výkon	W	25m	3
IOSC	výstupní saturační proud	A	20m	3

SUBOBVODY SPICE

vzorový soubor SUBCKT1.CIR

MC4 umožňuje načíst přímo textové soubory formátu SPICE v. 2G.6 a analyzovat tak obvody s využitím modelů SPICE. Kromě toho však umožňuje práci v kombinovaném režimu, t.j. přiřazovat některým součástkám v schématickém editoru tzv. subobvody (subcircuits) SPICE. Konkrétně to znamená, že např. schématické značce operačního zesilovače lze přiřadit model, jehož zdrojový text je zapsán v příslušném souboru na disku. Toto pro nás představuje lákavou možnost využívat všeobecně rozšířené modely SPICE. Při práci se studentskou verzí MC4 jsme však omezeni limitem 50 uzlů, do něhož se započítávají vnitřní uzly modelu.

Podrobnosti jsou uvedeny v příloze 7 a v literatuře [1] a [2].

5. POČET VNITŘNÍCH UZLŮ MODELŮ NĚKTERÝCH SOUČÁSTEK

součástka	specifikace	počet vnitřních uzlů
operační zesilovač	level 1	-
	level 2	2
	level 3	15
tranzistor bipolární NPN, PNP		2
tranzistor NMOS, PMOS		3
tranzistor JFET		1
tranzistor GaAsFET		-
harmonický zdroj	RS \neq 0	1
	RS = 0	-

6. TVORBA MAKROOBVODŮ

Používáme-li v našem schématu opakovaně stejnou obvodovou konfiguraci součástek nebo chceme-li kompaktně definovat novou součástku, můžeme si její vnitřní zapojení zapouzdřit do tzv. makroobvodu neboli makra. Makru přiřazujeme samostatnou schématickou značku, která reprezentuje vnitřní zapojení v celé jeho složitosti. Zde je třeba mít na paměti, že do celkového počtu uzlů se započítávají také vnitřní uzly maker a ve studentské verzi jsme omezeni 50 uzly na jedno analyzované zapojení.

Při definování makra musíme projít třemi etapami:

1. Vytvoření vnitřního zapojení budoucího makra v prostředí editoru schémat MC4.
2. Vytvoření schématické značky, která bude makro zastupovat, v Shape editoru.
3. Přiřazení vývodů z vnitřního zapojení makra k pinům schématické značky.

Projdeme si celý návrh makra na příkladu vytvoření makroobvodu krystalu. Krystalový výbrus je reprezentován svým náhradním schématem, k němuž výrobce dodává parametry.

VNITŘNÍ ZAPOJENÍ MAKRA

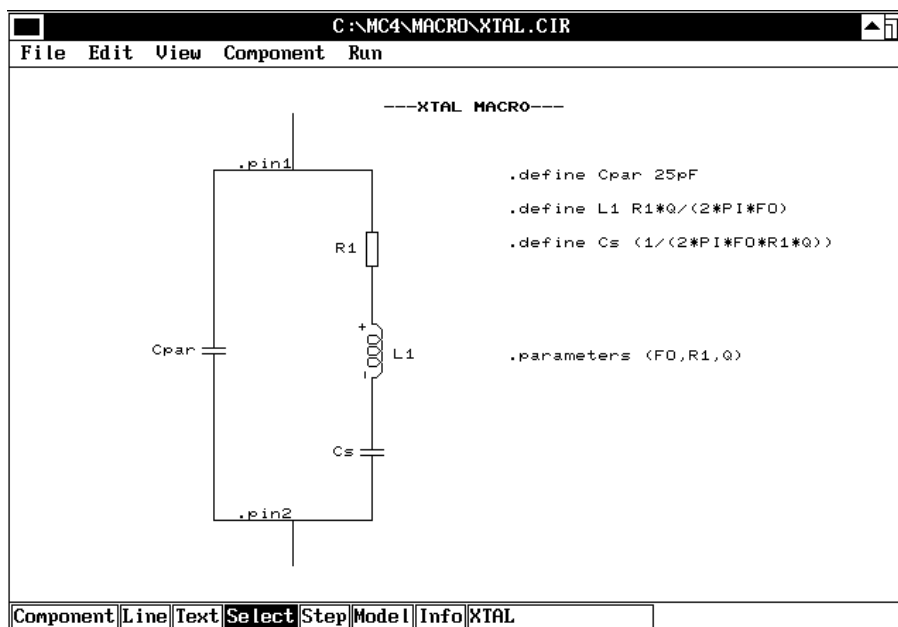
Na obr. P2 vidíte náhradní zapojení křemenného krystalu. Jedná se o sériový RLC obvod doplněný o paralelní kapacitu mezi přívody.

Krystal je spojen s okolím dvěma vývody, které musíme ve schématu označit grid textem *.pin1* a *.pin2*. Tečka na začátku napovídá, že jde o příkazy, které definují dané uzly jako vnější vývody. Pro umístění příkazů *.pinN* platí stejná pravidla jako pro běžné popisování uzlů.

Všimněme si ještě příkazu *.parameters*. Tento příkaz znamená, že makro krystalu budeme zadávat se třemi parametry: F0 je rezonanční kmitočet, R1 je hodnota sériového odporu z náhradního schématu a Q je jakost celkového rezonančního obvodu. Někteří výrobci tyto parametry dodávají. Ostatní parametry náhradního schématu se již vypočítávají podle známých vztahů, které lze vyčíst z obrázku.

Příkaz *.parameters* není samozřejmě povinný u maker, kterým se z hlavního schématu žádné parametry nepředávají.

Hotové vnitřní zapojení makra uložíme na disk jako soubor JMENO_MAKRA.CIR. V našem případě to může být soubor XTAL.CIR. Budeme-li respektovat doporučení pro konfiguraci MicroCapu IV, uvedená v kapitole 1. *Konfigurace MC4*, uložíme tento soubor do adresáře **MACRO**.



Obr. P2. Náhradní schéma krystalu.

VYTVOŘENÍ SCHÉMATICKE ZNAČKY

Tvar schématické značky navrhujeme v Shape editoru, který je přístupný z prostředí editoru schémat. Klikneme do položky

Windows

a z nabídky si vybereme položku

4: Shape Editor

Objeví se prostředí grafického editoru, ve kterém budeme tvořit značku krystalu. Standardně se nám otevře Shape editor se zavedenou značkou Battery (viz obr. P3). Pro vytvoření nové značky klikneme na položku

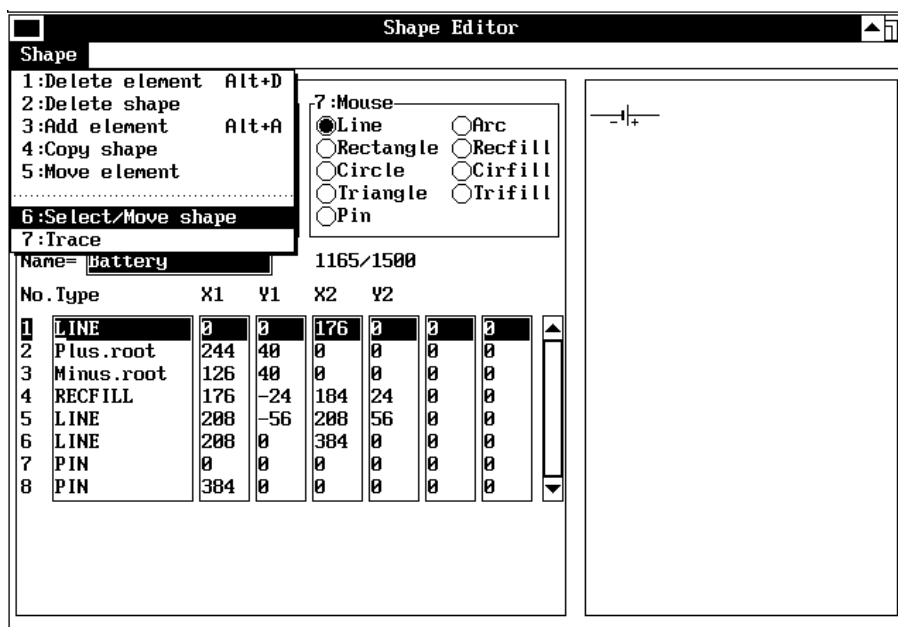
Shape

a z nabídky si vybereme

6: Select/Move shape

Objeví se seznam všech vytvořených značek, který by měl být doplněn až do konce jmény NULL s pořadovým číslem. Vybereme si kliknutím myši nebo z klávesnice první takovou „prázdnou“ značku a přepíšeme kolonku s nápisem **Name=** jménem naší značky. Zvolíme si např. stejné jméno značky jako je jméno makroobvodu (není podmínkou) a vepíšeme XTAL. Nyní již můžeme tvořit značku.

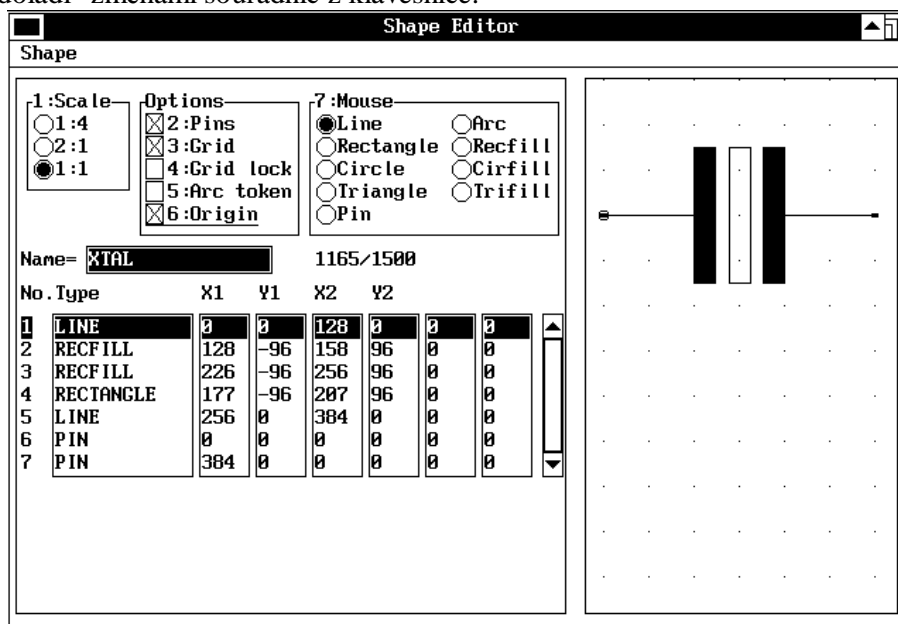
Pracovní plocha grafického editoru (vpravo) je rozdělena rastrem, který se uplatňuje i v režimu vytváření schémat, kde je však neviditelný. Pokud chceme vidět rastr v Shape editoru, musíme si jej zapnout zatržením obdélníčku s nápisem **3:Grid** ve skupině **Options**. Celá plocha je zmapována souřadnou soustavou, jejíž počátek je v bodě, kde je umístěn *origin* neboli referenční bod schématické značky. *Kladná* osa X je od vztážného bodu *doprava*, *kladná* osa Y má směr od vztážného bodu *dolů*. Jeden čtvereček rastru má rozměry 64x64 bodů, čímž je dáno největší rozlišení Shape editoru.



Obr. P3. Prostředí Shape editoru.

Na obr. P4 vidíme Shape editor po vytvoření značky krystalu.

Poloha *originu* je vyznačena kroužkem kolem pinu levého vývodu krystalu a jeho zobrazení se musí také navolit ve skupině Options zatržením příslušné položky. Piny jsou vyznačeny jako obdélníčky zakončující vývody a obecně slouží jako body, přes které se součástky navzájem spojují. Vidíme, že celá značka se skládá ze dvou plných obdélníků a jednoho prázdného, ze dvou čar tvořících vývody a dvou zakončovacích pinů. Jednotlivé elementy lze vkládat pomocí myši nebo z klávesnice editací tabulky. Druhý způsob je výhodný v případě, kdy tvoříme přesné detaily mimo rastr. Nejběžnějším stylem práce je kombinace obou způsobů, tj. značka se zhruba nakreslí myší a pak jemně „doladit“ změnami souřadnic z klávesnice.



Obr. P4. Značka krystalu v Shape editoru.

Jsmo-li hotovi, zavřeme Shape editor (nejjednodušší způsob je použít klávesu ESC) a odpovíme kladně na otázku, zda chceme změny uložit. Poté se modifikuje soubor CS.MC4. Pokud jsme respektovali doporučení podle kapitoly 1. Konfigurace MC4 pro ochranu tohoto souboru, musíme mu ještě před vytvářením nové značky odebrat atribut *read only*.

Nyní zbývá přiřadit oba vývody schématické značky vývodům náhradního schématu, které jsme pojmenovali *.pin1* a *.pin2*.

PŘÍRAZENÍ VÝVODŮ

Toto přiřazení se provádí pomocí Component editoru, který je přístupný přes menu **Windows**

volbou položky

3: Component Editor

Standardně se nám otevře Component editor se zavedeným rezistorem (viz obr. P5). Pro zavedení nového knihovního prvku musíme kliknout na položku

Edit

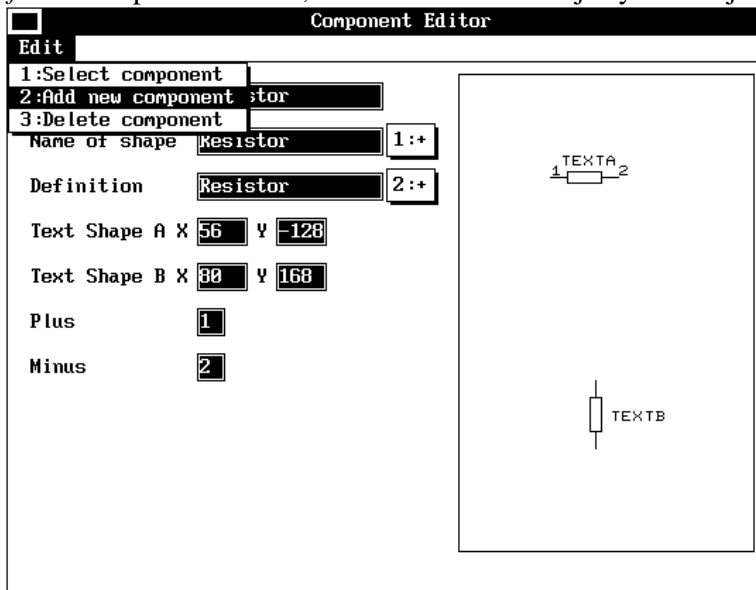
a vybrat z nabídky

2 :Add new component

Do okénka s nápisem *Name* vepíšeme XTAL. Je to jméno součástky, pod kterým bude krystal figurovat v nabídce makroobvodů ve schématickém editoru.

Do okénka *Name of shape* vepíšeme také XTAL. Jedná se o jméno, pod kterým je značka evidována v Shape editoru.

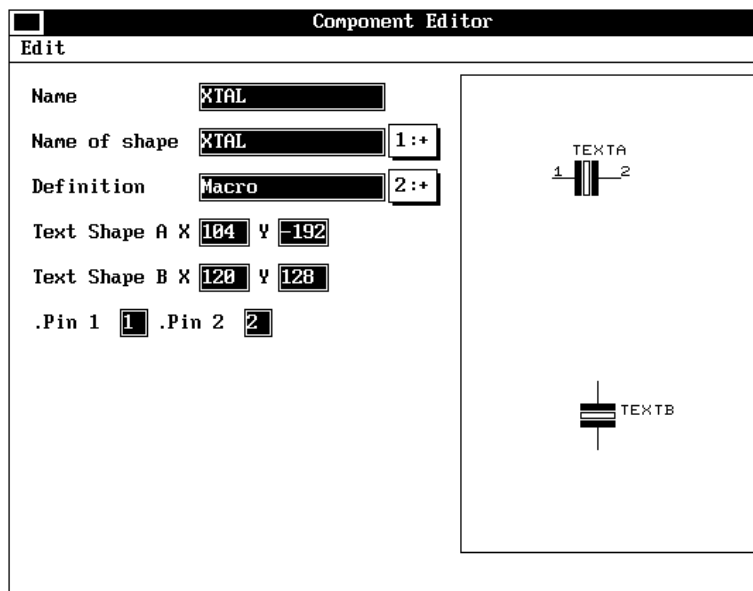
Do okénka *Definition* vepíšeme Macro, neboť tato součástka je vytvářena jako makroobvod.



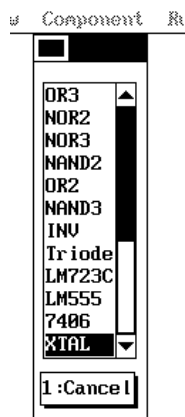
Obr. P5. Prostředí Component editoru.

Po vyplnění těchto položek se objeví v pravé ploše editoru schématické značky makra v normální a v rotované poloze. Takto se bude značka jevit po umístění ve schématickém editoru. Nápis TEXTA a TEXTB dávají představu o umístění popisu součástky ve schématu. Jejich polohu můžeme změnit potáhnutím do jiné polohy myši při současném držení levého, resp. pravého tlačítka nebo přímo editací odpovídajících číselných údajů X a Y u položek Text Shape A a B (viz obr. P6).

U značky se objevila čísla, kterými si Component editor označil vývody. Tato čísla musíme zapsat do políček označených jako **.Pin1** a **.Pin2**, která představují vývody schématu vnitřního zapojení. Tím je dáno jednoznačné přiřazení vývodů značky k vývodům vnitřního zapojení makra. Jelikož křemenný krystal je reciproční prvek (vývody můžeme navzájem prohodit bez vlivu na funkci součástky), je v tomto případě lhostejné, kam zapíšeme číslo 1 a kam číslo 2.



Obr. P6. Přiřazení vývodů v Component editoru.



Tím je definice nového makra ukončena. V nabídce **Component /6:Macros** editoru schémat se objevila nová položka XTAL (položka *Name* z Component editoru). Změnami v Component editoru se zároveň modifikoval soubor CS.MC4.

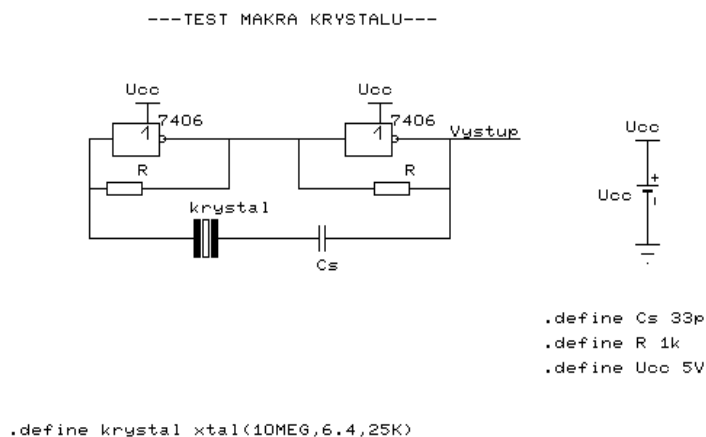
Ke studentské verzi MicroCapu IV se dodává 27 maker a můžeme si vyrobit další. Jsou k dispozici vnitřní zapojení mnoha oblíbených součástek, např. operačních zesilovačů nebo číslicových obvodů. Makro lze také vytvořit pomocí obvodu, který není složen z technologicky identických prvků jako skutečná součástka a který pouze modeluje její chování. Mluvíme o tzv. *behavioral modelling* a příkladem může být náš model křemenného krystalu nebo makra logických prvků, která jsou součástí studentské verze MC4 (AND, NAND, OR A NOR členy).

Vytvořené makro je nutno otestovat na nějakém známém zapojení. Postavíme si krystalový oscilátor s TTL invertory 7406, které jsou také realizovány jako makra.

TESTOVÁNÍ MAKRA

Testovací zapojení je na obr. P7.

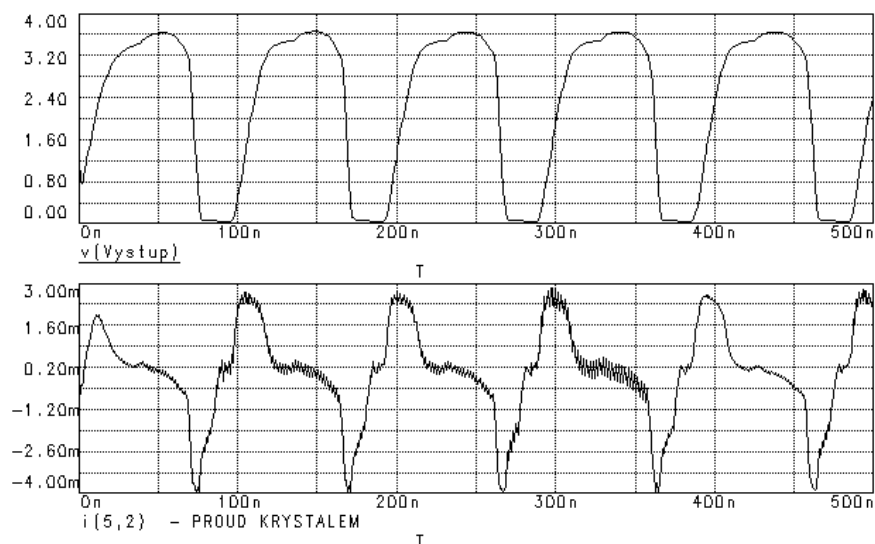
Makro XTAL je voláno s těmito skutečnými parametry: rezonanční kmitočet 10MHz, sériový odpor z náhradního zapojení 6.4 ohmů, jakost 25 000 (byly zvoleny parametry skutečného krystalu podle katalogu). Invertory 7406 jsou makra s vnitřním zapojením podle obr. 3.9.



Obr. P7. Zapojení krystalového generátoru impulsů.

Analýza obvodu ukazuje, že zapojení se skutečně rozkmitá na frekvenci 10MHz. Můžeme dokonce sledovat náběh kmitů a „pohrát“ si s doladovacím kondenzátorem C_s . Graf na obr. P8 také ukazuje průběh proudu tekoucího krystalem. Nevýhodou je, že naše makro nepostihuje teplotní vlastnosti krystalu, avšak v našem zapojení se spíše projeví teplotní závislosti použitých polovodičových součástek.

Až budete experimentovat s tímto zapojením, možná budete postrádat možnost krokování hodnot součástek obsažených v makru nebo alespoň parametrů do makra vstupujících. Toto MicroCap IV neumí.



Obr. P8. Časový průběh výstupního napětí a proudu krystalem.

7. TVORBA SUBOBVODŮ SPICE

ZÁKLADNÍ POJMY

Pro účely počítačové simulace dodávají mnozí světoví výrobci ke svým elektronickým součástkám jejich modely ve formátu *SPICE*. MicroCap IV dokáže takovýto podobvod zapouzdřit do schématické značky a pracovat s ním jako s kteroukoliv jinou součástkou.

Tato skripta nejsou učebnicí formátu *SPICE*. Budou probrány pouze nejnужnější základy, které nám umožní využívat tohoto světového standardu v rámci MicroCapu IV. Ukážeme si, jak vypadá model křemenného krystalu, který se používá v digitálních hodinkách.

SPICE je textový formát a modely součástek jsou tedy obsaženy v textových souborech. Následuje výpis souboru, který popisuje podobvod krystalu.

```
*32768 hertz watch crystal, XY cut, series *resonant, Q=81780
*
.subckt QZS32768 1 2
*
lqz 1 11 4448.72259 tc = 0, 8.68e-8
cs 11 12 5.30279780e-015
rqz 12 2 11.2k
cp 1 2 1.84pf
.ends
```

Každý řádek má svůj smysl. Řádky začínající hvězdičkou (*) slouží jako komentáře. Komentář v našem modelu uvádí součástku jako hodinkový krystal o vlastní frekvenci 32768 Hz s ekvivalentní jakostí $Q = 81780$. Prázdné komentářové řádky zlepšují přehlednost textu.

Řádky začínající tečkou (.) jsou příkazové. Vlastní model začíná příkazem *.subckt* (z anglického *subcircuit* neboli podobvod) a končí příkazem *.ends* (*end of subcircuit* neboli konec podobvodu).

Struktura příkazu *.subckt* je následující:

.subckt jméno_podobvodu uzел1 uzел2 ...uzелN

Za jménem podobvodu následují čísla napěťových uzlů (vývodů), kterými je tato součástka propojena s okolím. Náš krystal má tedy název QZS32768 a dva vývody očíslované jako 1 a 2.

Čtyři řádky tvořící tělo modelu definují čtyři součástky, ze kterých je model postaven. Řádek začínající písmenem L (nerozlišují se malá a velká písmena) znamená definici indukčnosti se jménem L_{qz} o velikosti 4448.72259 henry s teplotními koeficienty $TC1 = 0$ a $TC2 = 8.68E-8$ (viz *Přílohy - 4. Modely vybraných součástek*), zapojenou mezi uzly 1 a 11 (tj. mezi jedním z vývodů a vnitřním uzlem 11). Řádky začínající písmenem C definují kapacitory. C_s má velikost asi 5.3 pF a je zapojen mezi uzly 11 a 12, tj. do série s cívkou. R_{qz} je rezistor o odporu 11.2 k Ω a je zapojen mezi uzly 12 a 2. Z toho vychází, že L_{qz} , C_s a R_{qz} tvoří sériový RLC obvod připojený na vnější svorky 1 a 2. Poslední řádek definuje parazitní kapacitu C_p o velikosti 1.84 pF zapojenou mezi vývody krystalu.

Model krystalu tedy využívá stejného náhradního schématu, jakého jsme použili při tvorbě makra. Rozdíl je v tom, že tento podobvod nemá žádné parametry.

Chceme-li v MC4 používat součástku s modelem *SPICE*, musíme projít těmito etapami:

1. Vytvoření souboru s podobvodem *SPICE* v některém textovém editoru nebo jeho získání od výrobce.
2. Vytvoření schématické značky nové součástky v Shape editoru.
3. Vzájemné přiřazení vývodů podobvodu k vývodům značky v Component editoru.

Projďeme si návrh podobvodu *SPICE* na příkladu analogové násobičky AD633 fy Analog Devices, která dodává k součástce také model.

VYTVOŘENÍ ZDROJOVÉHO SOUBORU

Modely součástek získáme od výrobce jako textové soubory a ty pak obvykle dále upravujeme podle potřeby. V jednom souboru může být i více modelů. Soubory pak lze organizovat podle výrobce nebo naopak podle typu prvků apod.

Ke studentské verzi MC4 se dodává velmi málo podobvodů, ale není problém získat další. Podle konvence MicroCapu IV se tyto textové soubory označují příponou .MOD (ale není to podmínkou). Chceme-li respektovat doporučení uvedená v kapitole *1. Konfigurace MC4*, budeme tyto modely shromažďovat v adresáři **SUBCKT**.

Zde je ukázka hlavičky podobvodu AD633:

```
* AD633 Analog Multiplier Macro Model 12/93, Rev. A * AAG/PMI
*
* Copyright 1993 by Analog Devices, Inc.
*
* Node assignments
*
*      X1
*      |
*      X2
*      |
*      Y1
*      |
*      Y2
*      |
*      VNEG
*      |
*      Z
*      |
*      W
*      |
*      VPOS
*
.SUBCKT AD633      1      2      3      4      5      6      7      8
*
```

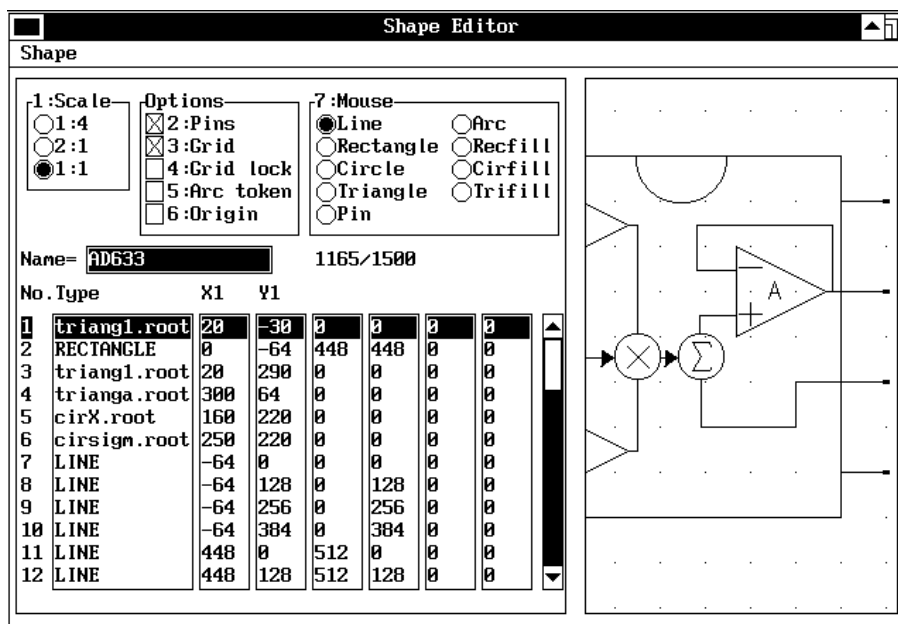
V této ukázce je „funkční“ pouze řádek s příkazem `.subckt`, všechno ostatní je komentář. Komentářových řádků bývá často využito k popisu vývodů součástky (Node assignments). Popisky `.Pin1` a `.Pin8` nejsou součástí modelu a poslouží nám později k vysvětlení toho, jak se přiřadí vývody modelu k vývodům schématické značky.

Za tímto příkazem samozřejmě následuje model obvodu. Tento model spolu s modely dalších variací tohoto prvku může být součástí souboru `AD633.MOD`, který umístíme do adresáře **SUBCKT**.

VYTVOŘENÍ SCHÉMATICKÉ ZNAČKY

Schématickou značku vytvoříme známým způsobem v Shape editoru (viz předcházející část o tvorbě značky pro makro) a pojmenujeme ji jako `AD633`. Při volbě tvaru značky se můžeme inspirovat aplikačním zapojením v katalogu nebo v odborných časopisech.

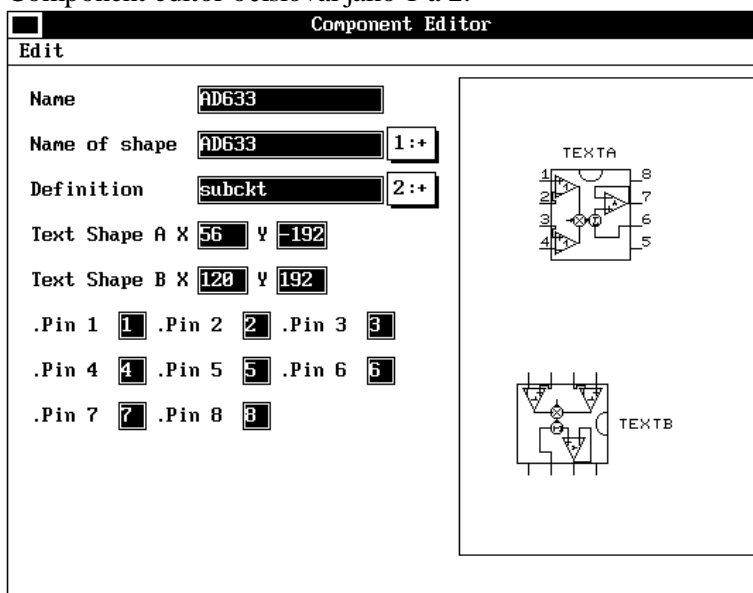
Z ukázky na obr. P9 je vidět, že pomocí Shape editoru lze umísťovat na kreslicí plochu nejen elementární tvary uvedené ve skupině **7 : Mouse** (čára, obdélník, kruh aj.), ale také vzory vytvořené dříve v Shape editoru a uložené s „příponou“ `ROOT`. Tato modulární výstavba je velmi často využívána.



Obr. P9. Hotová značka obvodu AD633 v Shape editoru.

PŘÍRAZENÍ VÝVODŮ

Vývody podobvodu k vývodům schématické značky se přiřadí opět v Component editoru. Do okénka *Definition* tentokrát zapíšeme *subckt*. Editor si vývody očíslová a tato čísla zapíšeme do odpovídajících políček s nápisy *.Pin1* až *.Pin8*. Postup, jak zjistit odpovídající políčka, si ukážeme na vývodech, které si Component editor očísloval jako 1 a 2.



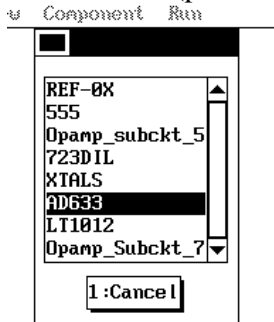
Obr. P10. Přiřazení vývodů součástky a modelu.

Podle katalogu je na vývodu 1 neinverující analogový vstup X1. V podobvodu *SPICE* je tento vstup v seznamu vývodů hned na prvním místě a odpovídá tedy uzlu označenému jako *.Pin1* (viz popis u ukázky hlavičky podobvodu AD633). Číslo, které tomuto vývodu přidělil Component editor (číslo 1), tedy vepíšeme do okénka s označením *.Pin 1*.

Vývodu č.2 odpovídá podle katalogu inverující analogový vstup X2. V podobvodu *SPICE* je tento vstup shodou okolností v seznamu vývodů na druhém místě a odpovídá tedy uzlu označenému jako *.Pin2*. Číslo, které tomuto vývodu přidělil Component editor (číslo 2), vepíšeme do okénka s označením *.Pin 2* (viz obr. P10).

Tímto způsobem přiřadíme všechny vývody. Protože v modelu AD633 jsou vývody seřazeny v tom pořadí, v jakém jdou za sebou na pouzdru, odpovídá vývodu *.Pin N* vývod číslo N v Component editoru. Obecně to samozřejmě není pravidlem.

Po vzájemném přiřazení vývodů se nám v nabídce **Component / 7:Subckts** objeví nová součástka AD633 (položka Name z Component editoru).



Změnami v Component editoru se modifikuje soubor CS.MC4.

Mnozí výrobci polovodičových součástek dodávají modely svých produktů zdarma nebo je možné je získat z programových balíčků, které jsou označeny jako *free* (např. Design Centrum od fy MicroSim).

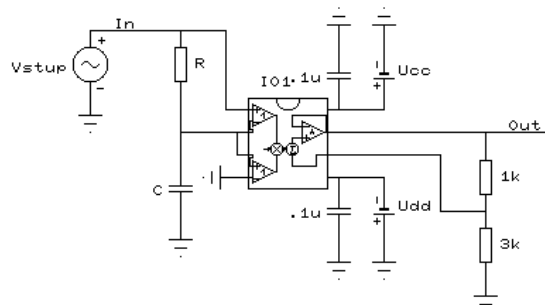
Některé soubory je nutno upravit tak, aby je mohl MicroCap IV bez problémů zpracovat. Vnitřní uzly podobvodu se započítávají do celkového počtu uzlů schématu, proto je třeba pamatovat na to, aby nebyl překročen limit, který pro studentskou verzi činí 50 uzlů.

Také každý nově vytvořený podobvod *SPICE* je nutno otestovat.

TESTOVÁNÍ PODOBVODU SPICE

Využití čtyřkvadrantové analogové násobičky AD633 je mnohostranné a uživatelsky velmi zajímavé. Množství aplikací, které dovedou využívat analogového násobení, je opravdu veliké. Kromě čistého násobení je to např. zdvojování frekvence harmonického signálu, amplitudová modulace, napěťově řízená filtrace, napětím řízené oscilátory a nejrůznější převodníky. Pro otestování obvodu AD633 jej zapojíme jako zdvojovač kmitočtu (viz obr. P11).

---AD633 JAKO ZDVOJOVAČ KMITOČTU---



```
.MODEL VSTUP SIN (F=1k A=10 DC=0 PH=0 RS=1M RP=0 TAU=0 FS=0)
.define R 10k
.define C 100n
.define Ucc 15
.define Udd 15
.define IO1 \MC4\SUBCKT\AD633.mod,AD633
```

Obr. P11. AD633 jako zdvojovač kmitočtu.

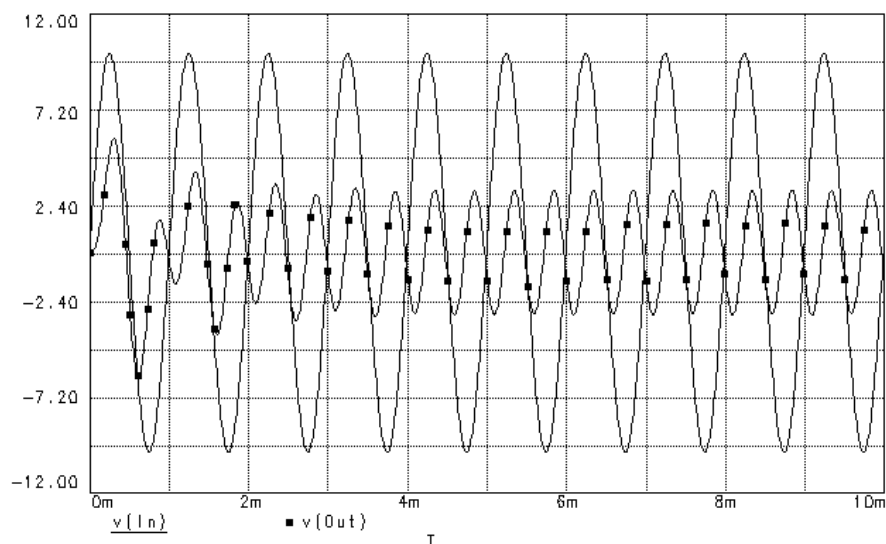
Je známo, že kvadrát harmonické funkce obsahuje harmonickou složku o dvojnásobné frekvenci. Toho využívá následující zapojení, na jehož vstup přivádíme sinusový signál o frekvenci 1kHz a amplitudě 10V. Na výstupu bychom měli získat dvojnásobný kmitočet, tj. 2kHz.

Všimněme si způsobu, jakým se popisuje podobvod *SPICE* ve schématu. Syntaxe je následující:

Jméno_souboru , jméno_podobvodu

Pod položkou **jméno_souboru** obecně rozumíme úplnou specifikaci souboru, tj. i s cestou k němu. Využijeme-li doporučení, uvedených v kapitole *1. Konfigurace MC4*, a budeme-li startovat MC4 dávkou, která nadefinuje systémovou proměnnou MC4DATA, stačí uvést pouze jméno souboru, ve kterém se nachází daný model, bez cesty k němu.

Položka **jméno_podobvodu** je totožná s údajem o jménu modelu za příkazem *.subckt* v daném souboru. Podle tohoto jména si MC4 najde daný model v souboru, který může obsahovat modelů více. Pokud je jméno modelu totožné se jménem souboru, není jeho uvedení v definici podobvodu povinné.



Obr. P12. Průběhy vstupního a výstupního napětí.

Výsledky analýzy ukazují, že na výstupu dostáváme skutečně dvojnásobnou frekvenci než na vstupu, tj. 2kHz.

Prvotní test podobvodu je u konce. Nyní by již mohly začít experimenty s novým obvodem AD633.

8. PRÁCE V SCHÉMATICKÉM EDITORU

Práce se schématickým editorem je zdrojem nejčastějších chyb a komplikací, a to nejen u začátečníků. Perfektní zvládnutí této úvodní etapy simulace se nedá dosáhnout bez rozsáhlého praktického experimentování s programem.

Do prostředí schématického editoru se program nastaví automaticky po spuštění. Máme možnost buď vytvářet nové schéma nebo načíst zadání ze souboru. Obecné zásady pro práci s editorem jsou však stejné pro obě varianty.

Úvodní obrazovka, která se nastaví po standardním spuštění programu, je na obr. 3.1.

Tip na začátek: maximalizujte otevřené okno kliknutím na značku ▲ v pravém horním rohu.

Horní a spodní menu

Význam položek spodního menu:

Component: Režim zadávání součástek a jejich umístování na pracovní plochu (standardně přednastaveno). Typ součástky je vypsán v pravém dolním okénku (standardně přednastaveno **Resistor**). Další typy součástek jsou dosažitelné přes horní menu **Component**.

Line: Režim kreslení čar (spojovacích vodičů).

Text: Režim vkládání textu.

Select: Režim zvýrazňování (výběru) součástek a textu s cílem jejich editace.

Step: Režim vícenásobného kopírování bloků.

Model: Automatické vytváření příkazů **.MODEL** složitých součástek ve schématu.

Info: Informace o zvýrazněné součástce.

Na horním řádku aktivního okna je následující menu:

File: Obsahuje položky pro ukládání souboru na disk, výstup schématu na tiskárnu nebo plotter a tisk netlistu.

Edit: Příkazy zrušení poslední akce (Undo), vymazání zvýrazněné položky a její uložení do pomocné paměti - clipboardu (2), kopírování zvýrazněné položky do pomocné paměti

a její ponechání na obrazovce (3), kopírování clipboardu na obrazovku - obsah clipboardu se nemění (4), vymazání zvýrazněné položky z obrazovky (5), zvýraznění všeho (6).

View: Nastavení měřítka zobrazení (1), zviditelnění popisu součástek (2), zviditelnění grid textu (3), zviditelnění čísel uzlů (4), zviditelnění uzlových napětí (5), zviditelnění zakončení vývodů součástek a vodičů - tzv. pinů (6), zviditelnění tzv. Region boxu (7), hledání textu a součástek ve schématu (8), opakování hledání (9).

Component: Menu slouží k zadávání typu součástky, jejíž schématická značka se má umístit na pracovní plochu v režimu **Component** (dolní menu). Součástky jsou rozříděny do 9 hlavních skupin:

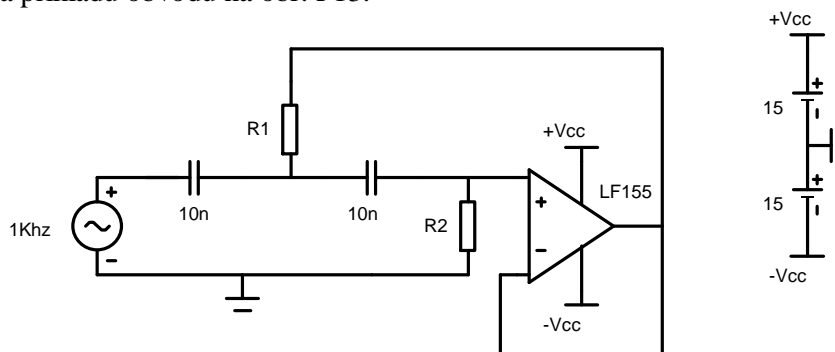
Pasivní součástky	(0)
Aktivní součástky	(1)
Signálové zdroje	(2)
Laplaceovy zdroje	(3)
Funkční zdroje	(4)
Závislé (řízené) zdroje	(5)
Makroobvody	(6)
Subobvody SPICE	(7)
Spojovací prvky	(8)
Různé	(9)

Kromě toho je v dolní části menu uvedeno 8 typů často používaných součástek pro přímou rychlou volbu.

Run Spouštění časové (1), kmitočtové (2) a stejnosměrné (3) analýzy. Přepínač normálního režimu a režimu **Probe** (4).

Postup tvorby nového schématu

vysvětlíme na příkladu obvodu na obr. P13.



```
.MODEL LF155 OPA (LEVEL=3 TYPE=3 ROUTAC=50 ROUTDC=75 VOFF=2M
IOFF=3P SRP=7MEG SRN=7MEG IBIAS=30P VEE=-22 VCC=22 GBW=2.5MEG)
.MODEL 1KHZ SIN (F=1K PH=3.14159)
.define R1 10k
```

Obr. P13. Příklad vytvářeného schématu.

Presvědčíme se, že jsme v režimu **Component** (prosvětlená spodní levá položka). Nejprve umístíme na obrazovku značku kapacitoru 10nF v levé části schématu. Tomu musí předcházet výběr součástky.

Výběr součástky:

Component (horní menu)

C: Capacitor

Nápis **Capacitor** se objeví v pravé spodní položce.

Umístění značky součástky na obrazovku:

Kurzor myši umístíme na libovolné místo pracovní plochy. Stlačíme levé tlačítko a držíme. Objeví se značka součástky. Pohybem myši ji přemístíme na požadovanou pozici, případně ji přetočíme do správné polohy (viz následující tip rotace součástky). Uvolníme levé tlačítko.

Tip: Rotace součástky

Držíme levé tlačítko a současně mačkáme pravé. Značka součástky rotuje kolem tzv. referenčního bodu součástky (origin). Je-li součástka ve správné poloze, umístíme ji uvolněním levého tlačítka.

Popis součástky

Po umístění součástky se v horní části obrazovky objeví okno pro psaní textu. Zde se musíme rozhodnout, zda použijeme přímý nebo nepřímý způsob zadávání součástky (viz příloha 3). Zvolíme přímý způsob. Napíšeme

10n

ENTER

Zadali jsme kapacitu 10nF (možno zadat i 10nF nebo třeba 1E-8 atd, viz příloha 2). Text se objeví u součástky. Vše je vykresleno slabě, neboť právě zadaná součástka je označena (select).

Tip: Nevyhovuje-li nám umístění popisu u součástky, je možné popis přemístit do druhé možné definované polohy rotací celé součástky. Libovolnou polohu popisu vzhledem k schématické značce lze nastavit pomocí tzv. **Component editoru**, ovšem globálně pro celou součástku. Znamená to, že nová definice polohy bude mít vliv na všechny součástky stejného typu ve schématu. Tuto práci přenechme odborníkům, jinak může manipulace s **Component editorem** nadělat hodně škody.

Poznámka: Zadáváme-li značku součástky, která je obsažena v knihovně MC4, objeví se vpravo od textového okénka značka + . Kliknutím na ni se rozbalí seznam konkrétních typů součástky. Jeden z nich můžeme zvolit.

Umístíme rezistor R1:

Component

A: Resistor

Pomocí myši umístíme.

Rezistor označíme nepřímým symbolem R1.

Umístíme a popíšeme druhý kapacitor:

Component

C: Capacitor

Pomocí myši umístíme, popíšeme.

Umístíme a popíšeme rezistor R2.

Vybereme operační zesilovač:

Component

1: Active devices

Op amp

Myší umístíme.

Nyní vybereme z knihovny operačních zesilovačů typ LF155:

Klikneme na značku +, vyhledáme typ LF155 a potvrdíme.

Přidáme zdroj budicího signálu:

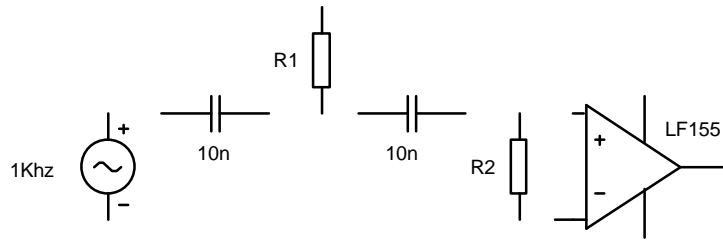
Component

F: Sine source

Umístíme pomocí myši.

Vybereme zdroj z knihovny typu 1Khz.

Po umístění zdroje bude schéma ve stavu, který je zachycen na obr. P14. Nyní začneme součástky propojovat vodiči.



Obr. P14. Schéma po umístění budicího zdroje .

Kreslení spojovacích vodičů a spojování součástek

Nastavení režimu kreslení vodičů:

kliknutí na položku

Line (druhá zleva dole).

Způsob kreslení čáry:

Kurzor umístíme do bodu, v němž má začínat čára. Stlačíme levé tlačítko myši, držíme a současně myš pohybuje. Od počátečního bodu se táhne do nové pozice kurzoru pravouhle lomená čára. Po uvolnění tlačítka se čára umístí.

Poznámka: Nastavení výchozího a konečného bodu čáry nemusíme provést příliš přesně, neboť objekty se usazují na obrazovku v rámci neviditelného bodového rastru. Po vložení objektu dojde k jeho automatickému vtažení k nejbližšímu bodu rastru.

Změna atributu lomené čáry:

Chceme-li během „natahování“ čáry měnit způsob jejího zalomení, mačkáme pravé tlačítko myši, dokud nejsme spokojeni s výsledkem. Pak teprve čáru umístíme uvolněním levého tlačítka.

Způsob kreslení souvislé vícenásobně lomené čáry:

Umístění kurzoru myši do výchozí pozice. Stlačení levého tlačítka myši a jeho držení, natažení čáry do prvního koncového bodu (případná modifikace zalomení pravým tlačítkem). Uvolnění levého tlačítka a jeho opětné stlačení, další natažení čáry atd.

Způsob kreslení šikmé čáry:

MC4 umožňuje kreslení šikmých spojovacích vodičů pod úhlem $\pm 45^\circ$. Šikmý vodič je třeba vložit jako součástku přes menu

Component**8: Connectors****Short diagonal**Způsob spojování vývodů součástek:

Vývody každé součástky jsou zakončeny tzv. piny - zakončovacími body. Tyto body lze zviditelnit pomocí volby

View**6: Show pin connections**

V normálním režimu jsou zakončovací body neviditelné.

Dvě součástky můžeme spojit buď přímo - umístíme je tak, aby se dotýkaly svými zakončovacími body, nebo nepřímo prostřednictvím vodiče. Vodič musíme protáhnout až k zakončovacímu bodu, jinak nedojde ke galvanickému spojení.

Tato zásada často nebývá respektována. Jedná se o velmi častou chybu začátečníků. Abychom se jí vyvarovali, zapamatujme si tuto jednoduchou představu: vývody všech součástek jsou pokryty izolací s výjimkou koncových bodů.

MC4 nevyznačuje zvláštním symbolem vodivé spojení více součástek (my jsme zvyklí na tečku - uzel). Vodivé spojení je všude tam, kde se dotýkají zakončovací body součástek nebo součástky a vodiče.

Nevodivé křížení:

Často požadujeme zakreslit nevodivé křížení vývodů nebo vodičů. Máme dvě možnosti:

1. Křížit vývody dvou součástek, resp. vývod součástky a vodiče mimo zakončovací bod součástky. Tento způsob se příliš nepoužívá pro jeho naprostou nepřehlednost, protože na první pohled není vidět, jedná-li se o vodivé spojení nebo jen křížení.

2. V místě křížení použijeme speciální prvek - tzv. **jumper**. Nalezneme jej po volbě

Component

Connectors

Jumper

Jumper lze použít i pro křížení šikmou čarou. V tom případě jej aktivujeme volbou

Component

Connectors

Jumdiag1

Dobrá rada nejen pro začátečníky:

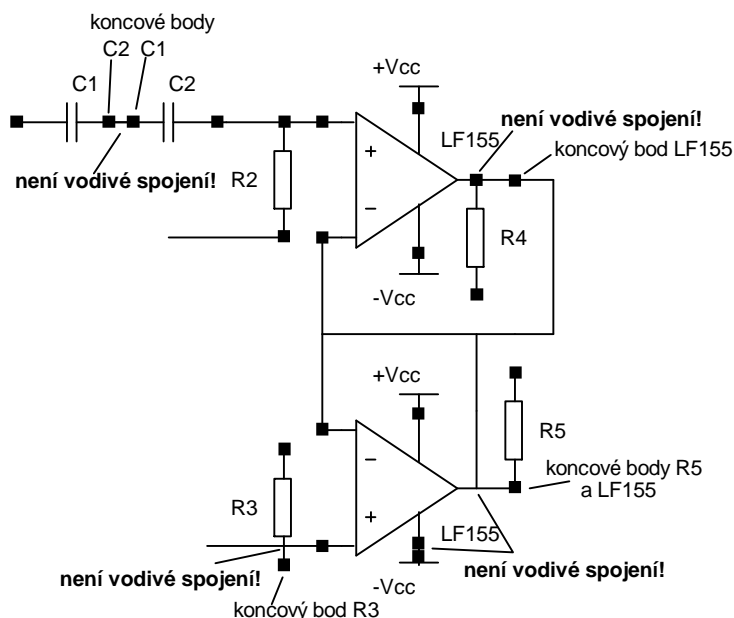
Při tvorbě schématu je dobré zviditelnit zobrazení pinů, nebo ještě lépe zobrazení čísel uzlů. MC4 automaticky přiřazuje k uzlům ve schématu čísla. Nedojde-li vlivem chyby k vodivému spojení dvou vývodů, poznáme to podle toho, že každý z vývodů bude mít jiné číslo uzlu.

Zviditelnění čísel uzlů:

View

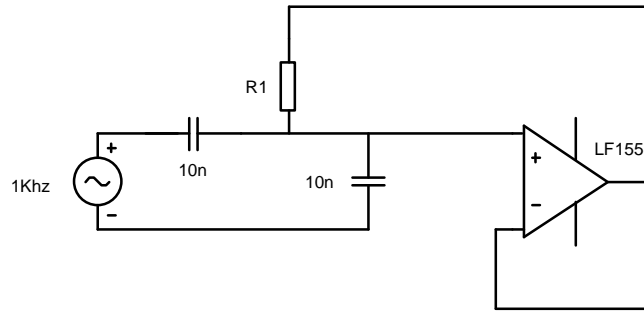
4: Show node numbers

Poznámka: Nezapínejte současně zviditelnění pinů i čísel uzlů. Je to nepřehledné a zbytečné.



Obr. P15. Příklady správného a nesprávného spojování součástek.

Nyní se pokuste „natáhnout“ vodivá spojení tak, abyste obdrželi výsledek podle obr. P16.



Obr. P16. Schéma po zakreslení vodičů.

Každý obvod analyzovaný v MC4 musí obsahovat značku uzemnění (**Ground**) - tím definujeme referenční uzel o nulovém potenciálu. Umístíme tedy značku uzemnění. Nejprve se přepneme do režimu vkládání součástek:

Component (dole vlevo)

Component (nahore)

G: Ground

Umístíme myší.

Dále je třeba zapojit napájecí vývody operačního zesilovače (OZ) k ss zdrojům. Napájení OZ se obvykle kreslí tak, jak je vidět z výsledného obr. P13. Dvě baterie tvoří symetrický bipolární zdroj napětí. Spojení vývodů baterií s vývody OZ je dosaženo pomocí tzv. propojek (**Tie**). Jsou-li ve schématu rozmístěny propojky se stejným názvem, výsledek je stejný, jako kdyby dané body byly propojeny skutečnými vodiči.

Dokreslete schéma podle výsledného obrázku (kromě textových polí). Propojku (**Tie**) naleznete v položce

Component

Connectors

Tie

a baterii v položce

Component

B: Battery

Nyní zbývá definovat grid textem (viz „Stručný průvodce možnostmi programu MC4“) rezistory R1 a R2 a knihovní součástky - zdroj harmonického signálu a OZ.

Automatické sestavení příkazu .MODEL pro součástky knihovního typu:

Klikneme na položku v dolním menu

Model

Program identifikoval dvě součástky knihovního typu a vytvořil příslušné definice pomocí příkazu **.MODEL**. Oba texty jsou však umístěny na nevhodné místo na pracovní ploše a jsou navíc vzájemně překryty. Upravíme je tak, jak je patrné z výsledného obr. P13 následujícím postupem.

Přemísťování objektů

se děje v režimu

Select (klikneme na danou položku v spodním menu).

Oba překryté texty jsou vysvíceny současně a kdybychom se nyní pokoušeli je pomocí myši „uchopit“ a přemístit, oba překryté texty by se přemísťovaly současně. Proto provedeme nejprve

Zrušení výběru objektu:

Jednoduše umístíme kurzor myši na libovolné místo, kde není umístěna žádná schématická značka ani text a klikneme levým tlačítkem (platí jen v režimu **Select**!)

Přemístování objektu:

Umístíme kurzor dovnitř textu, stlačíme levé tlačítko myši, držíme a text přetáhneme na požadovanou pozici. Uvolníme levé tlačítko.

Totéž uděláme s druhým textem.

Editace textu

Všimněte si, že popis modelu OZ LF155 je na třech řádcích, i když bychom si mohli dobře představit, že například závorka na posledním řádku by vypadala lépe po přemístění na konec druhého řádku apod. Mnohdy potřebujeme pozměnit definiční text zásadnějším způsobem. Jak provést editaci textu?

Dvakrát klikneme na libovolné místo uvnitř textu (musíme být v režimu **Select!**). Text se překopíruje do speciálního editačního prostoru a vyznačí se tmavě modrou barvou, t.j. do bloku.

V textu jsou na dvou místech znaky ■ Znamenají konec řádky - následující text bude přesunut na další řádek. Vymažeme-li například poslední znak ■, přesune se koncová závorka na druhý řádek. Provedete to následovně:

Ukazatel myši přesuneme na značku ■ klikneme na levé tlačítko. Modrá výplň okna zmizí, kurzor bliká pod značkou ■ Pokud jsme se nestrefili, lze kurzorovými klávesami $\text{®} \rightarrow$ - $\text{®} \leftarrow$ nebo i myší dokorigovat. Nyní zmáčkneme

Del

Editaci ukončíme

Enter

Nakonec klikneme na místě, kde není text ani schématická značka a tím zrušíme vysvícení editovaného textu.

Znak ■ pro přechod na další řádek lze vyrobit kombinací kláves *Alt + 254* (vložením znaku, který figuruje v ASCII tabulce pod pořadovým číslem 254).

PODROBNĚJI O EDITACI TEXTU V MC4

Pro práci v editačním prostoru platí několik užitečných zákonitostí.

Dva režimy editace

Při editaci textu můžeme pracovat buď v režimu přepisování nebo vkládání znaků (přepínač **Insert**), jak je to běžné u všech textových editorů.

Práce s bloky textu

Část textu je možné označit blokem. Text v bloku pak můžeme uložit do paměti, vymazat apod.

Tvorba bloku

Kurzor umístíme na začátek myšleného bloku. Stlačíme Shift a držíme. Kurzorovými klávesami $\text{®} \leftarrow$ - \rightarrow tvoříme blok ve formě tmavě modrého pozadí.

Pozor! Je-li vysvícen blok, pak pokus o psaní textu způsobí vymazání celého bloku a jeho náhradu psaným textem! Důsledek: Jestliže editujeme již napsaný text dvojím kliknutím na text v režimu **Select**, objeví se v editačním prostoru celý text v bloku. Je třeba nejprve vysvícení bloku potlačit (například listováním $\text{®} \leftarrow$ apod.), jinak celý text ztratíme po stlačení libovolné alfanumerické klávesy nebo mezerníku.

Kopírování obsahu bloku do pomocné paměti - schránky (clipboard):

Ctrl Insert nebo **Ctrl C**

Kopírování obsahu paměti na obrazovku na pozici kurzoru:

Shift Insert nebo **Ctrl V**

(tyto dvě operace neplatí jen pro text, ale pro libovolné objekty včetně schématických značek). Zbývá dokončit naše schéma přidáním definičního textu pro definování R1 a R2.

Vkládání textu do schématu

Nastavení režimu **Text**: klikneme na položku dolního menu

Text

Nastavíme kurzor myši do místa, kam hodláme umístit text, a klikneme levým tlačítkem (místo nemusíme nastavit přesně, protože jednou usazený text se dá snadno přemísťovat). Objeví se editační plocha vybarvená tmavou modří (blok). Zapišeme text:

.define R1 10k

Potvrdíme **ENTER**

Text se objeví pod schématem.

Upozornění: V okamžiku zápisu prvního znaku by mělo barevné vyznačení bloku zmizet a měl by se objevit zapsaný znak. Občas se tak z neznámých důvodů nestane a editační plocha zůstane tmavě modrá. Pak stačí pohnout myší.

Nyní definujme R2 na hodnotu 20k Ω - viz obr. P13. Můžeme tak učinit pomocí kopírování předchozího textu a jeho úpravy.

Přepneme se do režimu **Select**. Klikneme na text, který chceme kopírovat. Vložíme jej do paměti:

Ctrl Insert

Nyní klikneme na místo, kam chceme text překopírovat z paměti. Na tomto místě se objeví blikající kurzor. Text překopírujeme z paměti:

Shift Insert

Pokud nejsme spokojeni s polohou textu, můžeme ji upravit tažením myší.

Nyní máme na obrazovce dva stejné texty. Druhý z nich upravíme na tvar .define R2 20k. Proveďte tak jak je uvedeno na obr. P13.

Nyní můžeme dokreslit zapojení obou baterií a dokončit tak schéma z obr. P13.

Pravidla pro vkládání symbolického popisu uzlů

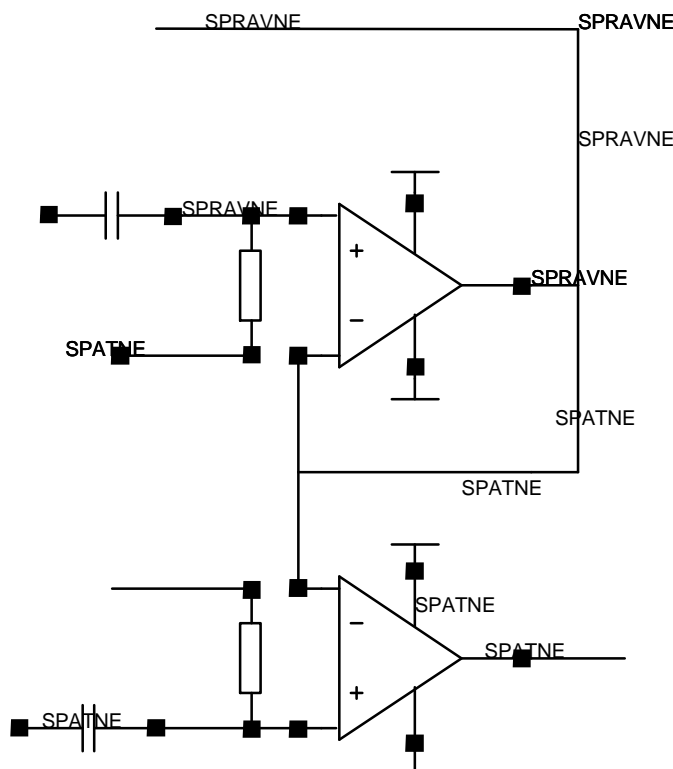
Podotkněme, že symbolické značení uzlů není nutné, mnohdy je však výhodné (viz „Stručný průvodce možnostmi programu MC4“). Text musíme vložit k uzlu definovaným způsobem, aby jej program chápal jako označení uzlu a ne jako pouhou „dekoraci“.

Co je to uzel? Je to souvislá část obvodu ohraničená krajními piny, která má stejný potenciál. Jinými slovy - uzel je tvořen piny součástek, které jsou vzájemně propojeny vodiči + těmito vodiči.

Představme si, že každé písmeno textu má vymezeno svůj prostor ve tvaru obdélníku. Tento obdélník je více či méně vyplňován písmenem podle toho, o jaké písmeno jde. Nejvíce se k tomuto obdélníku blíží písmeno O.

Pravidlo:

Levý dolní roh pomyslného obdélníku prvního písmene textu se musí dotýkat uzlu.



Obr. P17. Příklady správného a nesprávného umístění symbolického popisu uzlu.

MC4 automaticky umístí náš vkládaný text tak, aby uvedené pravidlo bylo dodrženo, jestliže je zatržena položka

Options

2: Preferences

8: Node snap

Vyznačování rozsáhlejších částí schématu

Vyznačení všeho (schéma + text):

Alt A nebo

Edit

6: Select all

Vyznačení souvislého bloku:

Musíme být v režimu **Select**.

Kurzor myši umístíme do pomyslného rohu vyznačované oblasti, stlačíme levé tlačítko, držíme a posouváme myši po úhlopříčce. Mezi počáteční a aktuální polohou kurzoru se vykresluje tečkovaný blok. Po uvolnění tlačítka se vyznačí vše, co je uvnitř bloku.

Poznámka: K vyznačení některých značek stačí, když je uvnitř bloku jen jejich určitá část.

Zrušení výběru objektu:

Stlačíme **Shift** a stále držíme. Klikneme do vybraného objektu - dojde k zrušení výběru (klikneme znovu - objekt opět vybereme). Toto nemá vliv na ostatní vybrané objekty.

Výběrové vyznačování:

Jsou-li vybrány určité objekty a chceme k nim přidat další, stlačíme **Shift**, držíme a klikáme na další objekty.

Upozornění:

Někdy se stane, že jsou-li objekty blízko sebe, nedaří se vybrat jeden z nich - vybere se vždy ten druhý. Pak nezbyvá než druhý objekt posunout stranou, vybrat požadovaný objekt a pak druhý vrátit na původní místo.

Mazání objektů

Objekt(y) nejprve vyznačíme a pak smažeme klávesou

Del

Pokud jsme objekt umístili omylem, můžeme rovněž použít operaci „Undo“, t.j. vrácení poslední akce: **Shift Backspace** nebo **Alt Backspace**.

POHYB PO PRACOVNÍ PLOŠE**7 Pomocí klávesnice** - jen v režimu **Select**.

Klávesami **®** → - ← přemístíme kurzor. Pokud má kurzor tendenci opustit zobrazovanou pracovní plochu, dojde k posouvání této plochy tak, aby kurzor byl stále zobrazen.

Tento způsob není příliš výhodný, je oblíbený u začátečníků.

Klávesami **Home**, **End** rychle přesouváme zobrazitelný úsek na levý a pravý doraz celkové kreslicí plochy.

PgUp, **PgDn** .. hrubý vertikální posuv.

Ctrl Home .. vyhledání levého horního rohu výkresu.

8 Pomocí myši - v libovolném režimu.

Umístíme kurzor myši na pracovní plochu a stlačíme pravé tlačítko a držíme. Objeví se symbol ruky. Pohybem myši pak můžeme obsah obrazovky přemísťovat.

ČASTÉ PROBLÉMY PŘI PRÁCI SE SCHÉMATICKÝM EDITOREM A Chyba! Záložka není definována. ZPŮSOBY JEJICH ŘEŠENÍ

1. Je třeba hlídat právě nastavený režim

Častou operací v schématickém editoru je klikání levým tlačítkem myši. Tato operace však vyvolává v různých režimech různé činnosti. Standardně je nastaven režim **Component** (vkládání součástek). Každé kliknutí má za následek vložení schématické značky. Jestliže jsme kliknutím chtěli dosáhnout jiného efektu, zrušíme vložení součástky stlačením **Esc**. Pozor! Často se stane, že **Esc** stlačíme dvakrát. Pak si zavřeme okno editoru. Toto však lze napravit (viz bod 2).

Nejvýhodnějším standardním režimem je zřejmě režim **Select**. Pokud kurzor myši neukazuje na schématickou značku nebo text, můžeme klikat jak dlouho chceme a nic se neděje. Současně jsme v režimu jednoduchého přemístování objektů a jejich editace. Proto je výhodné po ukončení tvorby schématu se do tohoto režimu přepnout.

2. Zavření okna schématického editoru

Jestliže jsme mačkali **Esc** vícekrát než bylo nutné, zcela zmizí okno s naším pracně tvořeným schématem. Nic však není ztraceno, okno vyvoláme zpět volbou

Windows

A: Název souboru.CIR

3. Objeví se hlášení „Are you sure you want to quit?“ (Jste si jist, že chcete ukončit práci s programem?)

Pokud jsme toto neměli v úmyslu, znamená to například, že jsme nedopatřením stlačili **F3**. Pak myši klikneme na položku **No** nebo stlačíme písmeno **N** nebo **Esc**.

4. Objeví se okno s titulkem „Component Editor“

Provedli jsme kliknutí na pravé krajní okénko v dolním menu s názvem součástky, jejíž značka je vybrána pro umístění na pracovní plochu. Okno zavřete (**Esc**). Při experimentování v **Component Editoru** hrozí nebezpečí modifikace schématických značek a přepsání souboru CS.MC4, v němž jsou tyto značky uloženy (viz doporučení v kapitole 1. Konfigurace MC4).

5. Některé schématické značky jsou deformovány nebo popis součástek je od značek nepřirozeně vzdálen

Neodbornou manipulací v **Component Editoru** došlo k narušení souboru CS.MC4, kde jsou uloženy informace o schématických značkách. Přivolejte kvalifikovanou pomoc.

6. Chyby v důsledku nesprávného spojování součástek navzájem a součástek a vodičů.

Vývody součástek se nedotýkají svými zakončovacími body. Výsledky analýzy jsou podivné nebo analýzu nelze spustit pro chybová hlášení typu **Floating Component** nebo **Pivot too small** apod.

7. Chyby v důsledku nesprávného umístování symbolických názvů uzlů.

Při pokusu o analýzu program hlásí **Unknown identifier**.

8. Ve schématu není značka uzemnění.

Při pokusu o jakoukoliv analýzu se objeví chybové hlášení **.. the circuit is missing a ground**.

9. Není vygenerován grid text .MODEL

Program hlásí .. **missing model statement for ..** .

10. Je vidět jen okraj schématu nebo ani toto.

Náprava: **Ctrl Home**.

9. ČASOVÁ ANALÝZA (TRANSIENT ANALYSIS)

Menu **Transient Analysis Limits** (meze časové analýzy) - viz obr. 3.10.

Time range

Vymezení časového intervalu simulace.

Syntaxe: Tmax [, Tmin]

Příklad: 5U,0 nebo 5U ... simulační čas od 0 do 5 μ s.

Maximum time step

Maximální přípustný časový krok simulace, t.j. vzdálenost dvou výpočetních bodů na časové ose. Program se při výpočtech snaží volit co největší krok a přitom hlídá, zda nepřesnosti při výpočtu nepřesahují hodnoty nastavené v příslušné položce **Global Settings**. Pokud ano, zmenší se krok a výpočet se opakuje. Toto se děje tak dlouho, až jsou chyby výpočtu v daném kroku v požadované toleranci.

Čím menší krok zvolíme, tím přesnější bude výsledek, ovšem za cenu delších výpočetních časů.

Number of points

Počet bodů, v nichž dojde k výpisu výsledků simulace v režimu tzv. numerického výstupu (**numeric output**). V tomto režimu získáme výpis souřadnic křivek v ekvidistantních bodech. Souřadnice křivek jsou přepočteny z výsledků simulace lineární interpolací.

Temperature

Teplota ve stupních Celsia. Program nerozlišuje teplotu okolí, pouzdra součástky a vlastní součástky (čipu, odporu,..).

Syntaxe: Max [, Min[, Krok]].

Příklad: 27 ... analýza proběhne jednou pro teplotu 27°C

100,0,10... analýza proběhne 11krát pro teploty 0, 10, 20, ..., 100°C

Definice průběhů - tabulka; každý řádek představuje definici jedné křivky

Sloupce U, M, N, X, Y, P .. aktivují se zatržením

U .. data křivky se uloží na disk jako uživatelský soubor s příponou .USR. Soubor se pak dá využít jako zdroj (user source) pro časovou analýzu dalších obvodů. Složitější schéma se tak dá simulovat zvlášť po blocích.

M .. veličina definována na daném řádku může být podrobena statistické analýze metodou Monte Carlo (MC4 umí takto zpracovat jen jednu veličinu)

N .. veličina definovaná na daném řádku bude po analýze k dispozici i v numerickém formátu (ve formě tabulky hodnot)

X .. při zatržení bude osa X lineární, jinak logaritmická

Y .. při zatržení bude osa Y lineární, jinak logaritmická

P .. číslo obrázku, v němž bude umístěna daná křivka definovaná na tomto řádku. V jednom obrázku může být jedna nebo i více křivek. Na obrazovce může být současně až 9 obrázků.

Je výhodné sdružovat do jednoho obrázku zejména křivky stejných fyzikálních veličin (ne třeba napětí a proudy) a křivky se souměřitelnými měřítky na ose Y (jinak jsou Y souřadnice jedné z křivek stlačeny).

Pokud do políčka neumístíme žádné číslo, křivka se nevykreslí, i když je v ostatních položkách definována.

- Xexpr** .. matematický výraz popisující souřadnici X křivky. Většinou je to jen čas T, ale může to být i jiná obvodová veličina nebo složitý vzorec.
- Yexpr** .. matematický výraz popisující souřadnici Y křivky.
- X range** .. rozsah osy X. Syntaxe: Max[,Min].
- Y range** .. rozsah osy Y. Syntaxe: Max[,Min].
- Fmt** .. numerický formát dat. Syntaxe: počet míst vlevo . počet míst vpravo od desetinné tečky. Tento formát se uplatní při numerickém výstupu dat a v režimech „P“ a **Cursor** (viz příloha 13).
Př.: 5.3 .. čísla mohou mít až 5 míst vlevo a 3 místa vpravo od desetinné tečky. Maximální číslo vlevo a vpravo nesmí přesáhnout desítku a obě čísla nesmí mít dohromady více než 3 cifry.

Limits (meze)

1: Default all

2: Default blank

Tyto položky nám mohou usnadnit vyplňování sloupců **X range** a **Y range**.

Aktivace **Default all** způsobí, že se do obou těchto sloupců zapíše klíčová slova **auto**. Podmínkou však je, aby byl příslušný řádek opatřen číslem obrázku. Slovo **auto** znamená automatické nastavení měřítek. Po spuštění analýzy pak proběhne řešení s hrubým krokem, vypočtou se všechna potřebná data a stanoví se jejich rozsah a tím i vhodná měřítka pro zobrazení. Při dalším spuštění analýzy jsou již měřítka nastavena (místo slova **auto** jsou již dosazena konkrétní čísla) a analýza proběhne přesně s nastaveným krokem. Občas se stane, že v případě členité křivky s výraznými extrémy program při prvním běhu s hrubým krokem nevyčíslí správně rozsah hodnot dat a špatně tudíž odhadne měřítka. Pak nezbude než měřítka dostavit ručně.

Příkaz **Default blank** umístí slovo **auto** jen do těch pozic sloupců X range a Y range, která jsou zatím nevyplněna. Již zapsaná data neovlivní.

Menu **Transient options** (podmínky časové analýzy) - viz obr. 3.12.

1: Run options (podmínky spouštění)

Normal

Základní režim simulace bez ukládání výsledků na disk.

Save

Podstatné výsledky simulace jsou uloženy na disk do souboru. Název souboru je stejný jako název analyzovaného obvodu. Přípona závisí na typu analýzy. V případě časové analýzy (transient analysis) je to .TSA, u stejnosměrné analýzy (DC) je přípona .DSA, u kmitočtové analýzy (AC) .ASA. Zkratka SA znamená Store Analysis.

Výhody tohoto režimu lze zužitkovat později při opakované analýze téhož obvodu, kdy již není třeba všechny výpočty opakovat a simulace je pak podstatně rychlejší i na málo výkonném počítači. Na disku však samozřejmě musí být přítomen daný soubor. Popsaného způsobu analýzy se využívá prostřednictvím režimu **Retrieve**.

Retrieve

Analýza s využitím výše popsaných souborů. Analýza se podstatně urychlí, i když nyní analyzujeme jiné obvodové veličiny než v předchozím režimu **Save**.

2: State variables (stavové proměnné)**Zero**

Nastaví se nulové počáteční podmínky, t.j. nulové velikosti stavových proměnných v obvodu před simulací. Stavové proměnné v MC4 jsou všechna uzlová napětí a proudy induktory.

Read

Před začátkem simulace se přečtou počáteční podmínky z disku ze souboru o stejném jménu jako je jméno analyzovaného obvodu s příponou .TOP. Tento soubor lze vytvořit pomocí **State Variables Editor** (editoru stavových proměnných).

Leave

Před prvním spuštěním analýzy v tomto režimu se nastaví nulové počáteční podmínky. Při každé další analýze si program pamatuje stav obvodu v okamžiku ukončení předchozí analýzy a použije jej jako počáteční podmínku. Tohoto režimu lze využít k hledání ustálených stavů v obvodu opakovanou analýzou.

Analysis options (podmínky analýzy)**Operating point** (pracovní bod)

Před simulací nejprve proběhne výpočet stejnosměrného ustáleného stavu. Tohoto režimu je vhodné využít všude tam, kde pro správnou činnost obvodu je důležité nejprve nastavit jeho pracovní bod, např. u zesilovačů. Naopak tento režim vyblokuje například při simulaci nasazování kmitů oscilátoru po jeho připojení k stejnosměrným zdrojům.

Operating point only (jen pracovní bod)

Program vypočte stejnosměrný pracovní bod obvodu a analyzační běh se zastaví, abychom měli možnost odečíst souřadnice pracovního bodu buď v **State Variables Editor** nebo přímo v schématickém editoru (viz str. 24 a 25).

Je-li zvolena tato položka, pak je lhostejné, zda je nebo není zatržena položka **Operating point**.

Other options (další podmínky)**D: Data points**

V křivkách se graficky vyznačí všechny body, v nichž proběhl výpočet dat.

R: Ruler

Je-li zatrženo **X: X-axis grids** nebo **Y: Y axis grids**, pak místo vodorovného, resp. svislého rastru v obrázku se objeví jen krátké čárky na okrajích grafu.

T: Tokens

Odliší křivky různých obvodových veličin značkami umístěnými na křivkách.

X: X-axis grids

Vykreslení vodorovného rastru.

Y: Y axis grids

Vykreslení svislého rastru.

Z: Minor log grids

V případě logaritmické stupnice zobrazuje i jemný rastr - 10 čar v rámci každé dekády.

10. STRÍDAVÁ - KMITOČTOVÁ ANALÝZA (FREQUENCY ANALYSIS)Podstata kmitočtové analýzy:

1. Systém nahradí všechny signálové zdroje ve schématu zdroji sinusového signálu o amplitudě 1V (0 dB).

2. Během analýzy systém synchronně mění frekvenci všech sinusových zdrojů v mezích zadaných uživatelem ve **Frequency range** a pro jednotlivé kmitočty počítá harmonické ustálené stavy všech stavových proměnných.

Menu **AC Analysis Limits** (meze kmitočtové analýzy) - viz obr.3.5.

Frequency range (kmitočtový rozsah)

Horní a dolní mez kmitočtů analýzy. Syntaxe: Fmax[,Fmin].

Př.: 10MEG,1k .. rozsah kmitočtů od 1kHz do 10MHz

100k,0 nebo 100k .. od 0 do 100kHz (nula je povolena jen v případě lineární kmitočtové osy).

Number of points (počet bodů)

Význam této položky závisí na volbě typu frekvenčního kroku (**Frequency step**, nastavuje se v

AC options):

Auto frequency step (automatický krok): V tomto režimu se položka **Number of points** neuplatní. Skutečný počet bodů výpočtu je řízen položkou **Maximum change** (maximální změna).

Fixed step (pevný krok): Zde **Number of points** odpovídá počtu bodů výpočtu.

Temperature (teplota)

Teplota ve stupních Celsia, stejně jako v časové analýze.

Syntaxe: Max [, Min[, Krok]].

Maximum change (maximální změna)

Maximální možná procentuální změna analyzovaného průběhu mezi dvěma po sobě jdoucími body výpočtu, vztažená k celému rozsahu zobrazení daného průběhu. Týká se první definované křivky, t.j. křivky definované v řádku tabulky s nejmenším číslem ve sloupci **P**.

Typická hodnota je 5 procent. V případě hrubšího vykreslení členitých křivek je třeba zkusmo zmenšit toto číslo. Program zjemní krok tak, aby se „vešel“ do daného rozmezí změny. Výpočet se prodlouží, křivky budou vykresleny precizněji.

Pozor! Z uvedeného plyne, že je výhodné definovat jako první křivku tu, u níž je předpoklad nejprudších změn. Definujeme-li jako první křivku s pozvolným průběhem, bude výpočetní krok řízen neoptimálně a členitější křivky budou vykresleny nepřesně.

Noise input source

Noise output node(s)

Podrobnosti o šumové analýze pomocí MC4 jsou uvedeny v manuálu [1], str. 177-181.

MC4 je schopen modelovat několik druhů šumu, který je generován rezistory a polovodičovými součástkami. Pokud se ve schématu tyto součástky objeví a program přinutíme k výpočtu šumových poměrů, je počítána efektivní hodnota šumového napětí na výstupních svorkách vyvolaná všemi interními zdroji šumu. Proto musíme specifikovat výstupní uzly (**Noise output node(s)**) podle syntaxe:

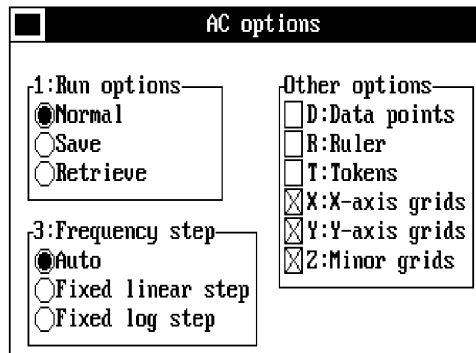
Node1[,Node2].

Dvěma uzly oddělenými čárkou se zadává diferenční výstup.

Vydělíme-li výstupní šum přenosovou funkcí ze vstupu na výstup, dostaneme efektivní hodnotu jakéhosi ekvivalentního vstupního šumového zdroje, který by po připojení na vstupní svorky vyvolal příslušné šumové napětí na výstupních svorkách. K výpočtu tohoto vstupního šumu je zapotřebí zadat vstupní svorky v položce **Noise input source**.

Frekvenční závislost vstupního, resp. výstupního šumu se pak vykreslí tak, že v tabulce definice analyzovaných proměnných umístíme proměnné **inoise**, resp. **onoise**. Je však třeba říci, že pak není možné současně s šumem analyzovat žádné jiné běžné veličiny, jejichž výpočet je založen na odlišných numerických algoritmech.

System definice analyzovaných veličin formou tabulky v dolní části obrazovky je stejný jako v případě časové analýzy.

Obr. P18. Menu **AC options** (podmínky kmitočtové analýzy)**1: Run options****Other options**Viz menu **Transient options**.**3: Frequency step** (kmitočtový krok)**Auto** (automatický)

Frekvenční krok je při výpočtu řízen bod od bodu tak, aby změna první definované analyzované proměnné mezi dvěma body nepřekročila hodnotu specifikovanou v položce **Maximum change**.

Automatický krok je standardně předvolen a až na výjimky mu vždy dáme přednost.

Fixed linear step (konstantní lineární)

Konstantní krok se určí podle vzorce

$$\Delta f = \frac{F_{\max} - F_{\min}}{N - 1},$$

kde N je počet bodů výpočtu (**number of points**). Kmitočet v k -tém kroku se určí podle vztahu

$$f_k = f_{k-1} + \Delta f, \quad f_0 = f_{\min}, f_{N-1} = f_{\max}.$$

Je-li k vykreslení charakteristiky použita lineární kmitočtová osa, jsou jednotlivé výpočetní body od sebe rovnoměrně vzdáleny.

Tento režim se využívá ve speciálních případech, např. při spektrální analýze (podrobnosti viz [2], [7]).

Fixed log step (konstantní logaritmický krok)

V tomto režimu se určí bezrozměrná násobící konstanta větší než jedna

$$C = \left(\frac{F_{\max}}{F_{\min}} \right)^{\frac{1}{N-1}}.$$

Kmitočet v k -tém kroku se určí podle vztahu

$$f_k = C f_{k-1}, \quad f_0 = f_{\min}, f_{N-1} = f_{\max}.$$

Je-li k vykreslení charakteristiky použita logaritmická kmitočtová osa, jsou jednotlivé výpočetní body od sebe rovnoměrně vzdáleny.

11. STEJNOSMĚRNÁ ANALÝZA (DC ANALYSIS)

- vzorový soubor DIFFAMP.CIR

Úkolem stejnosměrné analýzy je výpočet statických charakteristik obvodů, např. ampérvoltových charakteristik dvojpólů, převodních charakteristik zesilovačů apod. Charakteristiky mohou být dvojího typu: **1.** $výstup = f(vstup1)$, **2.** $výstup = f(vstup1, vstup2)$. Závislostí prvního typu může být např. ampérvoltová charakteristika diody, kdy $vstup1$ je napětí anoda - katoda a $výstup$ je proud anoda - katoda. Jiným příkladem může být převodní charakteristika hradla TTL, t.j. závislost výstupního napětí hradla na vstupním napětí. Závislostí druhého typu je např. síť výstupních

charakteristik bipolárního tranzistoru $I_C = f(U_{CE}, I_B)$, kdy parametrem křivek v kvadrantu $I_C - U_{CE}$ je proud báze.

Podstata stejnosměrné analýzy:

1. V obvodu se jeden z napěťových nebo proudových zdrojů (mohou to být i signálové zdroje) prohlásí za hlavní vstup pro DC analýzu (**Input 1 source**) a příp. další jako vedlejší parametrický vstup (**Input 2 source**).

2. Hlavní i vedlejší vstupní zdroje postupně mění své hodnoty v mezích zadaných uživatelem v **Input 1 range** a **Input 2 range**. Přitom se počítají ustálené stavy všech stavových proměnných. Jejich vzájemné závislosti mohou být podle libosti graficky zobrazeny.

Menu **DC Analysis Limits** (meze stejnosměrné analýzy) - viz obr. 3.14.

Input 2 range (rozsah vstupu 2)

Formát: konečná hodnota [,počáteční hodnota [,krok]].

Pokud nspecifikujeme veličiny v závorkách, budou použity přednastavené hodnoty: počáteční hodnota = 0, krok = konečná hodnota - počáteční hodnota.

Program rovnoměrně krokuje napětí nebo proud vstupu 2 v závislosti na tomto nastavení. Zda se jedná o napětí nebo proud, specifikujeme v položce **Input 2 source**.

Pokud vykreslujeme charakteristiku typu 1 bez použití vstupu 2, zapíšeme klíčové slovo **NONE**.

Input 2 source (zdroj vstupu 2)

Formát: Plus [,Minus][,I nebo V]

Plus je jméno nebo číslo uzlu, kam je zapojen kladný vývod zdroje napětí nebo vývod proudového zdroje, z něhož vytéká proud. Minus je jméno nebo číslo uzlu, kam je zapojen záporný vývod zdroje napětí nebo vývod proudového zdroje, do něhož vtéká proud. Třetí položka specifikuje, zda vstupem je proud či napětí.

Přednastavené hodnoty: Minus .. 0 (zem), I nebo V ... V.

Místo specifikace uzlů můžeme přímo zapsat jméno zdroje ze schématu.

Input 1 range (rozsah vstupu 1)

Formát je stejný jako u rozsahu vstupu 2. Význam položky **krok** je však jiný - jde o maximální možný krok. Délka aktuálního kroku se řídí tak, aby nedošlo k překročení hodnoty **Maximum change** (stejný mechanismus jako u kmitočtové analýzy). Nezapíšeme-li položku **krok**, pak délka kroku bude omezena jen hlídáním hodnoty **Maximum change**.

Input 1 source (zdroj vstupu 1)

Formát je stejný jako u vstupu 1.

Number of points

Počet bodů pro numerický výstup. Stejný význam jako u časové analýzy.

Temperature

Maximum change

Stejný význam jako u časové analýzy.

Systém definice analyzovaných veličin formou tabulky v dolní části obrazovky a systém automatického hledání měřitek (menu **Limits**) je stejný jakou ostatních analýz.

Menu **DC options** (podmínky stejnosměrné analýzy)

1: Run options

Other options

Stejný význam jako u časové a kmitočtové analýzy.

12. VÍCENÁSOBNÁ ANALÝZA - KROKOVÁNÍ (STEPPING)

V tomto režimu lze provést opakovanou analýzu obvodu při variaci parametru určité součástky. Přímo lze variovat jen jeden parametr. Pokud hodláme variovat více parametrů, musíme je v schématickém editoru svázat matematickými definičními vztahy (viz např. „Stručný průvodce možnostmi programu MC4“ a příloha 2, str. 29, kde je i zmínka o použití znaku @).

Vyplníme-li níže uvedené položky menu **Stepping**, program si toto nastavení pamatuje po celou dobu práce s daným analyzovaným obvodem. Chceme-li zrušit režim vícenásobné analýzy, stačí vymazat text u první položky **Step what**.

Menu **Stepping** (krokování, vícenásobná analýza) - viz obr. 3.6.

Step what (co bude krokováno)

Příklady:

R1 .. bude krokován odpor rezistoru označený symbolickým návěštím R1.

Q1.BF .. bude krokován parametr BF (Forward beta) tranzistoru Q1.

V druhém případě je krokován jeden z mnoha parametrů součástky o složitém modelu. Syntaxe pak je: **označení součástky.název parametru**. Název parametru zjistíte ze seznamu parametrů z příslušné knihovny pomocí Helpu nebo z tohoto manuálu.

From

Počáteční hodnota krokovaného parametru.

To

Konečná hodnota krokovaného parametru.

Step value

Velikost kroku. Význam této položky závisí na nastavení metody krokování:

1. Method

Linear

Log

Lineární metoda krokování je založena na vzorci

současná hodnota = minulá hodnota + krok,

kdežto logaritmická metoda je popsána odlišně:

současná hodnota = minulá hodnota krát krok.

Př.:

Krokujeme R1 lineární metodou od 1k do 10k, krok 1k. Provede se 11 analyzačních běhů pro odpory 1kΩ, 2kΩ, ..., 10kΩ.

Př.:

Krokujeme C1 logaritmickou metodou od 1n do 10U, krok 10. Provede se 5 analýz pro kapacity 1nF, 10nF, 100nF, 1μF a 10μF.

Určitým nedostatkem programu MC4 je to, že nelze krokovat zdaleka všechny obvodové parametry, jak bychom si často přáli.

13. PRÁCE S GRAFY

Režim „P“ (nepříliš používaný)

Hodláme-li během vykreslování křivek grafu „monitorovat“ okamžité souřadnice křivek, stlačíme **P**. Pod každým obrázkem se nyní objeví měnící se čísla, udávající okamžité hodnoty nezávisle i závisle proměnných. Doba vykreslování křivek se tak značně prodlouží. Tlačítko **P** slouží jako přepínač tohoto a normálního stavu. Počet desetinných míst zobrazovaných čísel je dán numerickým formátem **fmt**.

Tento režim není příliš užitečný a většinou se bez něho obejdeme.

Tip: Po vykreslení grafu je vhodné maximalizovat okno kliknutím na značku ▲ v pravém horním rohu obrazovky.

Po vykreslení grafu se automaticky nastaví základní režim

Scale mode (Scope, 1: Scale mode).

Práce v režimu Scale

Jedna z křivek je tzv. aktivní - program na ni „ukazuje“ tak, že popis jedné ze závisle proměnných je podtržen. Aktivní křivku lze cyklicky vybírat z množiny všech křivek tabelátorem (**Tab**) nebo v opačném pořadí **Shift Tab**.

Posouvání křivek v obrázku

Tabelátorem vybereme aktivní křivku v obrázku, v němž chceme posouvat křivky. Pak:

7 Posouvání pomocí klávesnice:

Ctrl **®**, **Ctrl** **←** ... posuv křivek doprava a doleva

Ctrl **-**, **Ctrl** **↓** ... posuv křivek nahoru a dolů.

Při posouvání se automaticky transformují měřítka os.

8 Posouvání pomocí myši (rychlejší a praktičtější):

Kurzor umístíme do obrázku, stlačíme pravé tlačítko myši a držíme. Na pozici kurzoru se objeví symbol ruky. Při pohybu myši ruka „tlačí obrázek“.

Ctrl Home ... návrat obrázku do původního stavu.

Poznámka: Při tomto způsobu posouvání křivky se provádějí „v reálném čase“ přepočty souřadnic křivky. U pomalejších počítačů to vede k výraznému zpomalení posunů. Pak je výhodné zapnout režim

Scope

A: Fast scroll

Ten způsobí, že křivka se jednorázově posune až v okamžiku uvolnění pravého tlačítka myši.

Zobrazování detailů a výřezů

7 Pomocí klávesnice:

šedé + ... zvětšování křivek aktivního obrázku (t.j. obrázku obsahujícího aktivní křivku) podle jeho středu

šedé - ... zmenšování křivek aktivního obrázku podle jeho středu

8 Pomocí myši (praktičtější):

Kurzor umístíme do pomyslného rohu detailu, stlačíme levé tlačítko myši, držíme jej a táhneme do pomyslného protějšího rohu. Průběžně se vytváří obdélníkový obrys. Po uvolnění tlačítka se obsah obdélníku rozprostře do plochy celého obrázku. Tento postup lze opakovat za účelem dalšího zvětšení.

Tohoto postupu se často využívá k nastavení detailu křivky před přepnutím do režimu **Cursor**.

Ctrl Home ... návrat obrázku do původního stavu.

Práce v režimu CURSOR

Tento režim slouží k zjišťování souřadnic křivek a k přesnému hledání jejich význačných bodů.

Scope

2: Cursor mode

V tomto režimu lze posouvat křivky a měnit jejich velikost stejně jako v režimu **Scale**, avšak pouze pomocí klávesnice. Pomocí myši zde vykonáváme jiné činnosti.

Program identifikuje počet a typ křivek v každém obrázku a pod obrázek umístí řádkový popis jejich souřadnic (viz obr. 3.8).

Na aktivní křivku jsou přichyceny dva kurzory, tzv. levý (**Left**) a pravý (**Right**). Výchozí poloha levého (pravého) kurzoru je na levé (pravé) hraně obrázku. Kurzory lze posouvat po křivce pomocí klávesnice nebo myši. Režim posouvání pomocí klávesnice je dán dolním menu:

Next	přesun do dalšího vypočteného bodu křivky (standardně přednastaveno).
Peak	přesun do nejbližšího lokálního maxima.
Valley	přesun do nejbližšího lokálního minima.
High	nalezení absolutního maxima.
Low	nalezení absolutního minima.
Inflection	nalezení nejbližšího inflexního bodu.

Výběr křivky, na niž jsou přichyceny kurzory

Jak již bylo řečeno, výběr aktivní křivky se uskuteční klávesou **Tab**, resp. **Shift Tab**. V případě, že v obrázku je množina křivek jedné obvodové veličiny získaná vícenásobnou analýzou (**Stepping**), přepínání mezi těmito křivkami se děje pomocí kurzorových kláves \uparrow a \downarrow .

7 Ovládání kurzorů z klávesnice (je možné využít služeb předchozí nabídky):

® \leftarrow ovládání levého kurzoru

Shift ® **Shift** \rightarrow ovládání pravého kurzoru.

Př.: Je nastaven režim **Peak**. Stlačíme \rightarrow (resp. \leftarrow). Levý kurzor se přesune do nejbližšího lokálního maxima vpravo (resp. vlevo) od současné polohy kurzoru.

8 Ovládání kurzorů pomocí myši (rychlé, avšak není možné využít služeb předchozí nabídky):

Kurzor umístíme do obrázku, stlačíme levé tlačítko myši a držíme, horizontálním pohybem myši přesouváme levý kurzor.

Kurzor umístíme do obrázku, stlačíme pravé tlačítko myši a držíme, horizontálním pohybem myši přesouváme pravý kurzor.

Význam čísel v jednotlivých sloupcích:

Left souřadnice levého kurzoru

Right souřadnice pravého kurzoru

Delta souřadnice pravého kurzoru - souřadnice levého kurzoru

Slope Delta(křivky)/Delta(proměnné osy X), t.j. strmost sečny ke křivce, procházející souřadnicemi obou kurzorů.

Změna počtu desetinných míst zobrazovaných souřadnic:

Scope

B: Numeric format

Vložíme vyhovující formát **fmt**, např. 5.8 (max. 5 míst vlevo, 8 vpravo od desetinné tečky).

Práce v režimu Text absolute mode nebo Text relative mode

Umožňuje vkládat text do obrázků a takto je popisovat.

Scope

3: Text absolute mode

Vložíme-li na určité místo obrázku text, pak při pozdějších posuvech křivek vlivem změn měřítek os apod. zůstane text na původním místě.

Scope

4: Text relative mode

Při posunech křivek se text snaží přesunout tak, aby zachovával ke křivkám stejnou relativní polohu.

Vložení textu:

Umístíme kurzor na místo, kam chceme vložit text. Klikneme levým tlačítkem myši. Objeví se prostor pro psaní textu. Napíšeme text (neumí české znaky). Pomocí menu **Style** můžeme zvolit různé atributy textu - normální (1), tučný (2), podtržený (3), šikmý (4), svislý (5), v rámečku (6). Atributy (2) až (6) lze vzájemně kombinovat. Pak text umístíme (**ENTER**).

Text zůstane v obrázku, i když opustíme režim **Text absolute (relative) mode**. Při ukládání zadání do souboru .CIR se rovněž uloží.

Dodatečná úprava textu:

Posouvání textu na jinou pozici: uchopíme myši a táhneme.

Editace textu a změna jeho atributů: dvojí kliknutí na text.

Odstranění textu:

Text editujeme - vymažeme textový řádek a potvrdíme (**ENTER**).

14. POHYB V PROSTŘEDÍ MC4

Program MC4 využívá ke své činnosti princip oken. Po spuštění programu se otevře základní okno s označením MicroCap IV a před něj se překryje další okno, určené k tvorbě zadání analyzovaného obvodu. Po zadání požadavku na analýzu (**Run, ..**) se otevře další okno **Analysis Limits** atd. V daném okamžiku tak může být současně otevřeno více oken. Okno, na které jsme momentálně „přepnutí“, je tzv. **aktivní okno**.

Editace geometrie aktivního okna

U aktivního okna je možno provádět editaci jeho geometrie. Umístíme-li kurzor myši dovnitř horního titulkového pruhu okna, stlačíme-li levé tlačítko myši, držíme a myši pohybujeme, pohybujeme zároveň celým aktivním oknem. Šířku okna lze měnit tak, že umístíme kurzor myši do nápadně vyznačeného pravého horního rohu okna a táhneme za současného držení levého tlačítka. Okno můžeme také maximalizovat klepnutím na značku ▲ v horním pruhu nebo uvést do původního stavu příkazem **1: Restore**, který se skrývá pod značkou obdélníku v levém horním rohu okna.

Některá okna, jako např. **Stepping, Transient Options** apod. jsou uzpůsobena pouze na jejich pohyb po obrazovce, nikoliv změnu rozměrů.

Přepínání mezi otevřenými okny

můžeme docílit opakovaným mačkáním **F4**. Okna se pak přepínají v tom pořadí, v jakém byla otevírána. Opačného pořadí dosáhneme pomocí **Shift F4**. Přepínání oken se používá tehdy, potřebujeme-li se podívat na obsah okna, které je momentálně překryté jinými okny a přitom tato okna nechceme zavírat.

Další možností je nastavit geometrii oken tak, aby se nepřekrývala zcela, t.j. aby kromě aktivního okna byla vidět i část okna jiného. K přepnutí na jiné okno pak dojde kliknutím na plochu tohoto okna.

Nejpoužívanější „horké“ klávesy

Kromě horké klávesy **F4** se v MC4 asi nejvíce používají klávesy **F2** a **F3**. Klávesa **F2** odstartuje analýzu po nastavení podmínek analýzy. Klávesa **F3** zavře všechna okna týkající se analýzy a aktivním oknem se stává okno schématického editoru. Jestliže se stane, že některé položky v menu, které chcete použít, jsou slabě prosvíceny a program na jejich aktivaci nereaguje, může to znamenat, že máte dosud otevřená okna týkající se určité analýzy. Jinými slovy jste v režimu, kdy daný příkaz je blokován a uvolní se až tehdy, uzavřete-li otevřenou simulační úlohu. Pak k odstranění problémů postačí stlačit **F3** (tím ovšem ztrácíte výsledky analýzy).

Hodláme-li ukončit běh programu, mačkáme **F3** tak dlouho, dokud se neobjeví dotaz

Are you sure you want to quit? (jste si jist že chcete ukončit program?)

Klikneme na položku **Yes** nebo prostě stlačíme klávesu **Y**. Program se většinou ještě zeptá

File has changed.

Soubor byl změněn.

Úplný název souboru

Do you want to save it?

Chcete jej uložit?

Odповіme **Yes** nebo **No** podle toho, co nám vyhovuje a program bude ukončen.

15. VÝSTUP VÝSLEDKŮ SIMULACE NA TISKÁRNU, PLOTTER NEBO DO SOUBORU

Možné formáty dat

Data mohou vystupovat v textovém nebo grafickém formátu.

Data v textovém formátu: **netlist** (textový soubor obsahující informace o složení analyzovaného obvodu)

analyzované průběhy ve formě **výpisu hodnot** v ekvidistantních bodech.

Data v grafickém formátu: **schéma obvodu**
grafy

obsah aktuálního okna nebo celé obrazovky (hardcopy)

V našich podmínkách je nejpoužívanějším výstupním zařízením tiskárna. Mnohdy je však výhodné schéma obvodu vykreslit na souřadnicovém zapisovači (plotteru). Univerzálním typem výstupu je pak výstup do souboru s následnou možností začleňování výsledků analýzy do dokumentů tvořených v textových editorech apod.

Dalším samozřejmým výstupním zařízením je monitor.

VÝSTUP DAT V TEXTOVÉM FORMÁTU

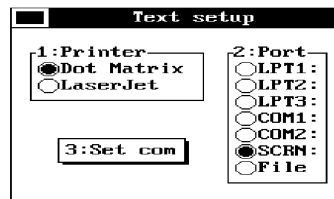
Numerický formát, t.j. počet číslic před a za desetinnou tečkou, lze nastavit u každého typu analýzy v položce **fmt** v menu **Analysis limits**. Podrobnosti o nastavení formátu jsou v příloze 9, str. 63. Tímto způsobem můžeme zvětšit i počet desetinných míst čísel zobrazovaných v režimu **Cursor**.

Konfigurace tisku v textovém režimu

Options

5: Printer setup for text

Objeví se menu podle obr. P19.



Obr. P19. Menu **Text Setup** (nastavení režimu textového výstupu).

1: Printer

Dot Matrix jehličková tiskárna

Laser Jet laserová tiskárna (nebo také inkoustová, je třeba vyzkoušet)

2: Port

Specifikace portu pro výstup textu. Standardně je nastavena obrazovka (**SCRN**).

Tiskárna je většinou napojena na paralelní port LPT1, plotter na jeden ze sériových portů COM1 nebo COM2. Hodláme-li uložit data do textového souboru, zvolíme položku **File**.

3: Set com

Nastavení parametrů komunikačního rozhraní. Většinou vyhovuje standardní nastavení.

Tisk netlistu

File

6: Print netlist

Netlist se vytiskne na tiskárně, do souboru nebo na obrazovku podle toho, jaké výstupní zařízení je nastaveno v menu **Options, 5: Printer setup for text**. Při tisku do souboru má pak tento soubor standardní příponu **.DOC**.

Tisk výsledků simulace v numerickém formátu

Hodláme-li získat výsledky simulace ve tvaru tabulek hodnot analyzovaných proměnných, postupujeme takto:

V menu **Analysis limits** zatrhneme na řádku veličiny, kterou chceme získat v numerickém tvaru, položku v sloupci **N**. Takto můžeme označit více veličin (třeba všechny). Po spuštění analýzy (**F2**) dojde k normálnímu vykreslení grafů a hned nato k tvorbě textového výstupu na definované výstupní zařízení (obrazovku, tiskárnu nebo do souboru). V případě tisku do souboru má tento standardní příponu **.ANO**, **.DNO** nebo **.TNO** podle toho, jde-li o analýzu **AC**, **DC** nebo **Transient**.

Textový soubor je ve tvaru sloupců dat - sloupec proměnné **X** a sloupce všech proměnných **Y**. Počet řádků je roven počtu bodů specifikovaném v položce **Number of points**. Čísla v sloupci **X** tvoří lineárně rostoucí posloupnost od **Xmin** do **Xmax** a jsou stejně jako výsledky v ostatních sloupcích získána ze skutečně vypočtených dat lineární interpolací.

*VÝSTUP DAT V GRAFICKÉM FORMÁTU**TISK SCHÉMATU ZAPOJENÍ*

Zde máme více možností.

1. Standardní výstup schématu na tiskárnu

Nejprve nastavíme konfiguraci tisku v grafickém režimu.

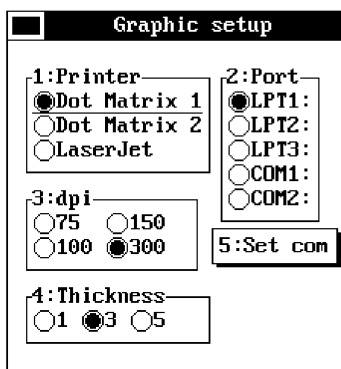
Options**6: Printer setup fo graphics**

Objeví se menu podle obr. P20.

V položce **1: Printer** zvolíme jeden z dvou typů jehličkových tiskáren (**Dot Matrix 1** nebo **2**, je třeba vyzkoušet; u tiskáren řady Epson dávají obvykle obě volby stejné výsledky) nebo laserovou či inkoustovou tiskárnu (**Laser Jet**).

V položce **2: Port** zvolíme jeden z paralelních (**LPT**) nebo sériových (**COM**) portů.

V položce **3: dpi** nastavíme hustotu tisku (density per inch). Tato volba se uplatní jen u laserové tiskárny. Nej kvalitnějšího tisku se dosáhne volbou 300 dpi.



Obr. P20. Menu **Graphic Setup** (nastavení režimu grafického výstupu)

V položce **4: Thickness** nastavíme tloušťku čáry. Platí opět jen pro laserový tisk.

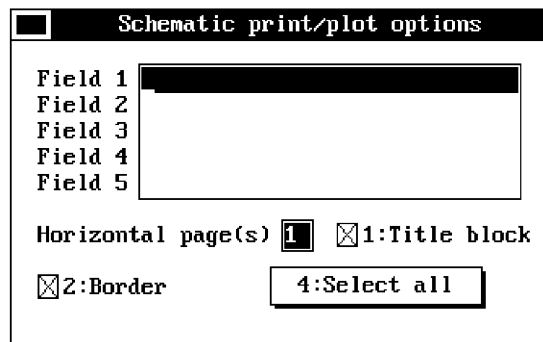
Doporučujeme zvolit nejmenší tloušťku **1**, jinak trvá tisk neuvěřitelně dlouhou dobu.

V položce **5: Set com** jsou přednastaveny parametry přenosu dat na tiskárnu. Většinou je není třeba měnit.

Pak je třeba nastavit další podmínky kreslení schématu:

Options**7: Schematic print/plot options**

Objeví se okno podle obr. P21, kterým se nastavují podmínky výstupu dat jak na tiskárnu, tak i na plotter.



Obr. P21. Menu **Schematic print/plot options** (podmínky výstupu schématu na tiskárnu nebo plotter)

Horizontal page(s)

Počet stran, na něž se vejde horizontální rozměr schématu. Počet stran ve vertikálním směru se automaticky dopočítá. Pro malá schémata stačí zadat 1 stranu. Při zadání 1 strany u rozsáhlého schématu může dojít k jeho značnému zmenšení.

1: Title block

V pravém dolním rohu výkresu se vytiskne unifikovaná tabulka, která může obsahovat 5 textových polí. První pole se vytiskne velkým písmem, ostatní malým. Vkládání často používaných textových polí lze zautomatizovat pomocí následujících klíčových slov:

\$NAME	jméno obvodu
\$DATE	datum
\$PAGE	číslo strany
\$MAXPAGE	číslo poslední strany

Nemáme-li o tabulku zájem, odstraníme zatržení této položky.

2: Border

Kolem celého výkresu se vytvoří okraj.

4: Select all

Nastaví tzv. **Region box** tak, aby obsahoval celé nakreslené schéma včetně grid textu. Obsah „boxu“ (bloku) se pak vytiskne.

Celý postup si názorně předvedeme. Nejprve klikneme do položky **4: Select all**. Tím jsme kolem schématu vytvořili pomyslný blok. Nyní jej zviditelníme: ve schématickém editoru aktivujeme položky

View

7: Show Region Box

Pomocí myši můžeme rozměry bloku měnit tažením za jeho hrany a docílit tak vytištění jen určitého výřezu pracovní plochy.

Nakonec schéma vytiskneme:

File

4: Print circuit

2. Výstup schématu na plotter nebo do souboru

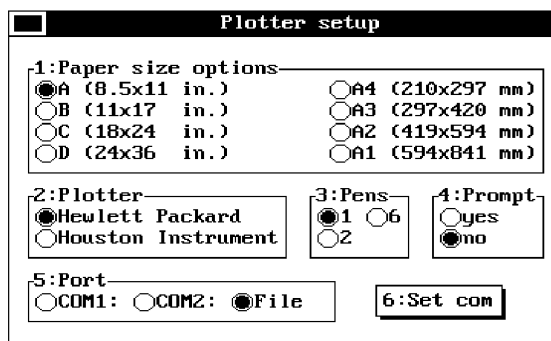
Nejprve připravíme podmínky pro kreslení na plotter:

Options

4: Plotter setup

Objeví se menu podle obr. P22.

Nastavení rozměru papíru (1), typu plotteru (2), počtu per (3), zda má program požadovat výměnu pera při změně barvy čáry (4), specifikace portu (5), nastavení komunikace (6).



Obr. P22. Menu **Plotter setup** (podmínky výstupu dat na plotter).

Důležité je nastavení portu:

Je-li vyznačeno **File**, přesměrujeme data do souboru ve formátu HPGL a pak jej můžeme načíst např. pomocí MS Word 6.0. Soubor má standardní příponu **.PLT**.

Dále se přesvědčíme o správnosti konfigurace menu **Options, Schematic print/plot options** a nakonec schéma vykreslíme plotterem nebo uložíme do souboru:

File

5: Plot circuit

Pokud jsme nakonfigurovali tisk do souboru, jsme vyzváni k potvrzení názvu souboru.

3. Tisk schématu standardními procedurami pro tisk grafiky

Výhoda: Tisk proběhne velmi rychle.

Nevýhoda: Tisk není příliš kvalitní a schéma se vytiskne i s konturou okna včetně rámu a titulků.

Před tiskem se přesvědčte o správnosti nastavení položek v menu **Options, 6: Printer setup for graphics**.

Program MC4 nabízí 2 způsoby tisku:

Print

1: Print front window graphics

Vytiskne obsah celého právě otevřeného okna jako grafiku.

Print

3: Print entire screen

Vytiskne obsah celé obrazovky jako grafiku.

Tohoto způsobu se však více používá pro tisk grafů.

TISK GRAFICKÝCH VÝSTUPŮ (KŘIVEK)

Máme-li na obrazovce otevřené okno s grafy, můžeme je přesměrovat na tiskárnu, plotter nebo do souboru.

Výstup na tiskárnu standardními procedurami pro tisk grafiky

Viz předchozí bod 3. Tisk schématu standardními procedurami pro tisk grafiky.

Výstup na plotter nebo do souboru

Nejprve nastavíme položky menu **Options, 4: Plotter setup**.

Nacházíme-li se např. v režimu časové analýzy, pak volíme

Transient

6: Plot analysis

(jedná-li se o AC nebo DC analýzu, dostaneme se k poslední položce přes menu **AC** nebo **DC**, nikoliv **Transient**). Je-li v **Plotter setup** nastaven výstup na plotter, vykreslí se grafy na připojeném souřadnicovém zapisovači. Při tisku do souboru se objeví výzva k zadání jména souboru se standardní příponou **.TPL**. Tento soubor lze pak využít například k vsazení obrázku do textu programu Word, AmiPro apod.

16. NĚKTERÉ „HORKÉ“ KLÁVESY

Shift+Backspace	zrušení poslední operace (Undo)
Shift+®	vyznačování bloku
Ctrl+Ins	kopírování vyznačené položky do clipboardu
Shift+Ins	kopírování obsahu paměti (Clipboard) na pozici kurzoru
Shift+Del	smazání vyznačené položky a její zkopírování do clipboardu (Cut)
F1	Help
F2	spuštění simulačního běhu po nastavení podmínek analýzy
F3	návrat do schématického editoru z režimu analýzy; ukončení programu z režimu schématického editoru
F4	cyklické přepínání mezi otevřenými okny
F5	přepínání měřítka zobrazení aktivního okna
F9	cyklické přepínání měřítka zobrazení v režimu schématického editoru (zoom max-min) nebo režim Limits v jednotlivých analýzách
Alt+F2	grafický tisk předního okna
Alt+F3	tisk celé obrazovky
Shift+F4	zobrazení oken v režimu Cascade
Shift+F5	zobrazení oken v režimu Tile
Esc	zavření okna nebo předčasné ukončení analýzy

LITERATURA

- [1] RODEN,M.S.: The Student Edition of MICRO-CAP IV™. The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc., California.
- [2] Spectrum News. Applications for Micro-Cap™ users.
- [3] BIOLEK,D.: TERO. Využití počítačových programů v elektrotechnice. Skriptum VA Brno, S-1738, 1992, 124s.
- [4] BIOLEK,D.: Elektrické signály a systémy. Skriptum VA Brno, 1992, 178s.
- [5] ŠEBESTA,V.-BIOLEK,D.: Systémy, procesy a signály I. Skriptum VUT Brno, FEI, 1993. 116 s.
- [6] BIOLEK,Z.: Některé chyby při kreslení schémat v MC3 a MC4. Telekomunikace '95, FEI VUT Brno, ÚTKO.
- [7] BIOLKOVÁ,V.: Modelování klíčovacích technik pomocí MC4. Telekomunikace '95, FEI VUT Brno, ÚTKO, s. 8 - 10.
- [8] BIOLEK,D.-ČAJKA,J.-SVIEŽENY,B.: COFACTOR, analyse symbolique des circuits linéaires. Manuel utilisateur, version 1.08. S.E.E.R., Société d'Etudes d'Exploitation et de Recherches, 49, rue Saint Didier - 75016 Paris, 1995, 21s.
- [9] KEJHAR,M.-KIRSCHNER,M.-MUSIL,V.-STŘÍBRNÝ,V.: Program SPICE v příkladech. FE ČVUT Praha, 1995, 240 s.

© Ing. Zdeněk Biolek, Doc. Ing. Dalibor Biolek, CSc, 1996

MicroCap IV
Program pro analýzu elektrických obvodů

Náklad: 200 výtisků
Vydal: **STUDENT-L**
Mariánská 251
744 01 Frenštát p.R.
Vydání: první, květen 1996
Vytiskl: FRENDOFT Frenštát p.R.

Žádná část této publikace nesmí být publikována a šířena bez výslovného svolení autorů.