

Vážení zákazníci,

dovolujeme si Vás upozornit, že na tuto ukázkou knihy se vztahují autorská práva, tzv. copyright.

To znamená, že ukáзка má sloužit výhradně pro osobní potřebu potenciálního kupujícího (aby čtenář viděl, jakým způsobem je titul zpracován a mohl se také podle tohoto, jako jednoho z parametrů, rozhodnout, zda titul koupí či ne).

Z toho vyplývá, že není dovoleno tuto ukázkou jakýmkoliv způsobem dále šířit, veřejně či neveřejně např. umístováním na datová média, na jiné internetové stránky (ani prostřednictvím odkazů) apod.

redakce nakladatelství BEN – technická literatura
redakce@ben.cz



2. SIMULAČNÍ PROGRAMY

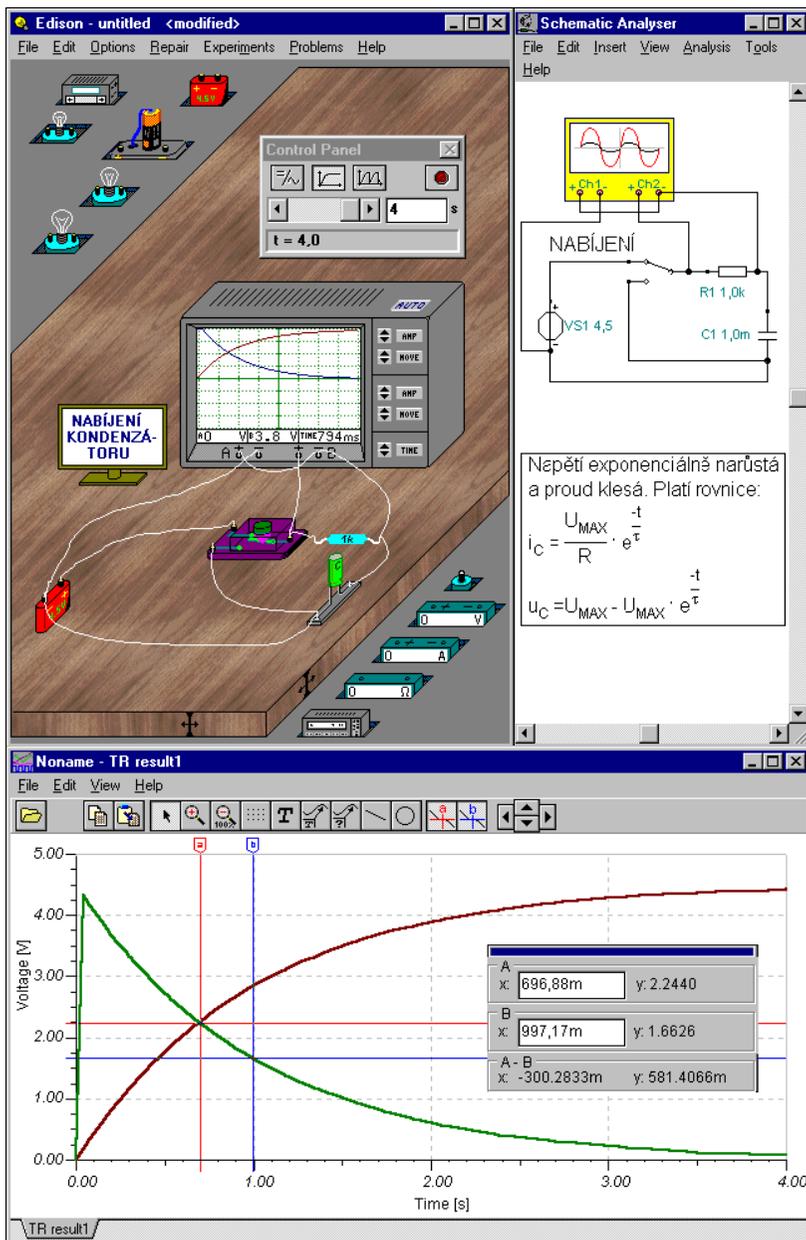
Programů pro simulaci obvodů existuje velké množství a naprostá většina z nich je založena na SPICE algoritmech. Vlastnosti i ceny jednotlivých produktů se značně liší. Následující popisy se budou věnovat především produktům, které lze legálně získat zdarma nebo za symbolický poplatek. Popisované programy byly staženy z Internetu, a protože vývoj zastavit nelze, je možné, že v době vydání této knihy už budou u některých programů nové a možná i lepší verze. Adresy internetových stránek bývají uvedeny většinou v helpu jednotlivých programů (about) a lze doporučit kontrolu a případnou aktualizaci produktu. V případě hlubšího zájmu o danou problematiku nebude jistě činit potíže zkušenějším uživatelům internetu použít některý z vyhledávačů, jako je Altavista, Hotbot apod., a najít pomocí hesel (*spice, simulation, circuits ...*) další informace o tomto oboru.

2.1 Edison

Pro začátek začneme něčím lehčím a tím je program pro nejmladší zájemce o elektroniku. Multimediální laboratoř umožňuje tvořit, testovat a opravovat snadno a bezpečně obvody v třírozměrném prostředí. Obvod se sestavuje pomocí myši propojováním 3D součástek a měřících přístrojů. Současně s tvorbou *vrabčího hnízda* na desce stolu se v pravém okně obrazovky u novější verze programu vytváří schéma zapojení. Po sestavení obvodu lze myší ovládat vypínače, potenciometry a ovládací prvky přístrojů. Měřené hodnoty jsou zobrazovány na panelech 3D přístrojů a současně i u schematických značek ve schématu obvodu.

Demoverze umožňuje sestavovat pouze jednoduché elektrické obvody (RLC, zdroje, žárovky, motorky). Pokud zakoupíte ostrou verzi, můžete si pohrát i se složitějšími obvody (D, LED, BJT, FET, 555, 741, hradla a klopné obvody). Protože program má pravděpodobně stejné jádro jako výkonnější simulační program TINA a používá i stejné typy souborů, dá se předpokládat i velmi slušná simulace těchto složitějších zapojení. I v demoverzi jsou k dispozici klasické měřicí přístroje (A, V, Ω , multimetry, osciloskopy a měřiče charakteristik). Protože se předpokládá spouštění programu na počítači vybaveném zvukovou kartou, má tento program i unikátní součástku – reproduktor. To přináší možnost realizace jednoduchého tónového generátoru a lze demonstrovat zvuk harmonického signálu s regulací amplitudy a kmitočtu. V ostré verzi lze nastavit i libovolný průběh zvukového signálu. Mezi připravenými příklady v demoverzi (N_BEAT.MAC) je i demonstrace měření kmitočtu pomocí záznějí.

Multimediálnost programu je dotažena do detailů. Například při zvyšování napájecího napětí se u žárovky plynule mění svit, u motoru se zvyšují otáčky se současným zvyšováním tónu zvuku motoru. Po překročení maximálního dovoleného napětí dojde k efektní destrukci žárovky a z motorku se začne kouřit. Vyzkratovaná baterka signalizuje po chvíli změnou barvy totální vybití apod. Vadné prvky lze šroubovákem opravit (*repair*). Odpory můžeme volit v provedení s číselným popisem, nebo s barevným kódem. Pokud ve schématu změníte hodnotu odporu, změní se zpětně na ploše jeho barevné značení. Protože na krajích stolu není pro všechny prvky dost místa, mění se plata součástek kliknutím levým nebo pravým tlačítkem na jejich plochy. Stůl má na krajích rolovací značky, takže lze na něj v ostré verzi umístit i poměrně velké zapojení.



Obr. 58 Simulace nabíjení kondenzátoru programem EDISON 3

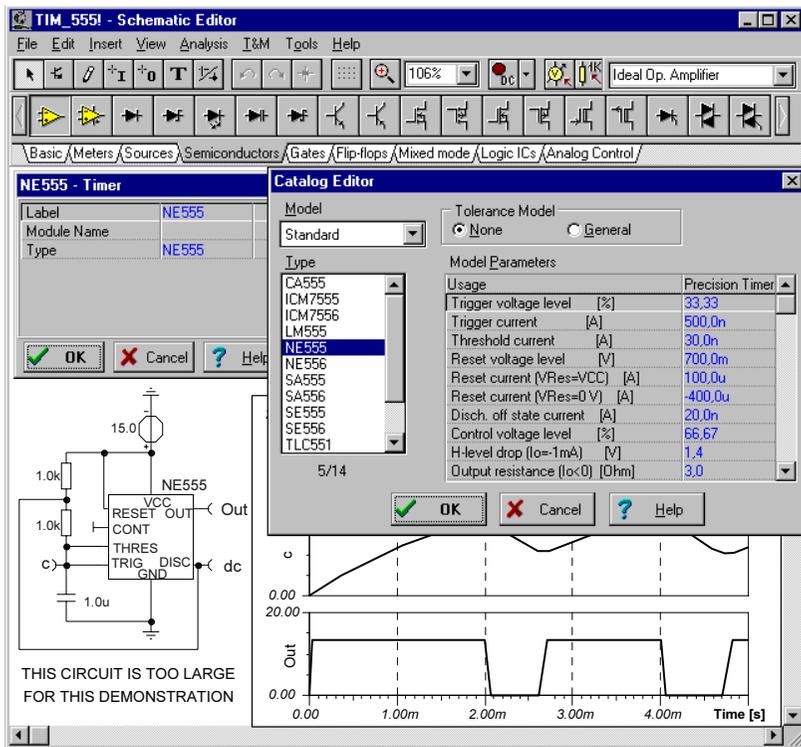
V demoverzi jsou nachystány okruhy připravených experimentů (*experiments*), jako je: Ohmův zákon, napěťový dělič, řazení rezistorů, nabíjení kondenzátoru, rezonance, filtry, vlastnosti tranzistorů, zesilovače, klopné obvody atd. Nabyté znalosti je pak možné ověřit při řešení problémových okruhů (*problems*). Sada problémů v demoverzi ověřovala Ohmův zákon a pomocí měřících přístrojů se hledala závada v jednoduchém zapojení. Správná odpověď byla odměněna potleskem a za každou správnou odpověď se přičítaly body. Ve starší verzi 2 je i jednoduchá logická hra pro vodivé propojení dvou protilehlých stran čtverce řetězcem svítivých diod. Hrát bylo možné buď proti počítači, anebo i dva hráči proti sobě.

Demoverze je funkční jen u velmi malých obvodů. Funkci složitějších připravených zapojení si proto lze prohlédnout pouze pomocí neinteraktivních maker. Obě verze programu běží pod W95/98 a starší verze vystačí i s W3.11. Jako minimální konfigurace je doporučen procesor 386 a pro využití zvukových efektů zvuková karta. Program je určen pro demonstraci základních elektrických a elektronických obvodů. Pro přiblížení práce s programem je na obr. 58 zobrazena simulace nabíjení kondenzátoru. Vlevo je vrabčí hnízdo součástek, vpravo vytvořené schéma a vespod je otevřeno podrobné okno obrazovky virtuálního osciloskopu.

2.2 TINA

Tina Plus pro Windows je výkonný programový balík pro návrh, simulaci a analýzu elektronických obvodů. Umožňuje simulaci analogových, digitálních i smíšených obvodů. Lze volit buď klasický způsob analýzy SPICE (transient, DC, AC, PZ atd.) s grafickým zobrazením výsledků simulace ve formě grafů závislosti, anebo je možné odečítat výsledky simulace na panelech virtuálních měřících přístrojů. Je možné rovněž volit multimediální režim simulace (naznačení svitu ledek, žárovek, přepínání spínačů myši apod.). Firma Designsoftware dodává i šestnáctikanálovou měřicí kartu do počítače (TINAlab Measurement Card), speciální propojovací pole (TINA Experimenter Box), takže lze snadno přejít k reálným měřícím úlohám. Výsledky měření skutečných obvodů jsou zobrazovány na panelech měřících přístrojů, jež jsou totožné s virtuálními přístroji ze simulační části programu. V demoverzi je přístupné velké množství modelů aktivních prvků a jejich parametry lze editovat. U každého parametru modelu lze zvolit rozptyl parametrů (Gaussovo nebo normální rozložení), takže dva tranzistory se stejným značením se budou mírně lišit. To je výhodné například při konstrukci nestabilních klopných obvodů, protože odpadají problémy s rozkmitáním obvodu. Například časovač 555 má model s patnácti parametry a k dispozici je celkem 14 konkrétních modelů od jednotlivých výrobců, včetně dvojítkých časovačů. Bohužel vzhledem k složitosti vnitřního zapojení nelze obvody s časovačem v demoverzi simulovat, protože demoverze je opět omezena na malá zapojení. Ostrá verze má v standardní knihovně 4000 prvků a umožňuje simulovat zapojení až do tisíce prvků. Rovněž je v ostré verzi podporován export a import schémat do PSPICE a export netlistu do programů pro návrh plošných spojů (ORCAD, TANGO, PROTEL, REDAC, PCAD).

I když v demoverzi nelze tisknout a ukládat obvody, je možné přes schránku Windows (copy a paste) přenášet jak zapojení, tak výsledky simulace. Přenos je vektorový a kvalitní (Windows Metafile Format). Například při vložení obsahu schránky do vektorového kreslicího programu VISIO, lze kresbu rozložit na vektorové čáry a text a s obrázkem i textem



Obr. 59 Výsledek simulace AKO a parametry časovače 555

pak dále pracovat. Podobný postup u většiny ostatních programů grafiku znehodnotí převedením do bitmapy. Osobně dávám přednost přenosu zapojení a výsledků simulace přes schránku do kreslicího programu i u ostrých verzí programů, protože umožňuje dokonalou kontrolu nad vzhledem dokumentu. Grafické možnosti simulačních programů jsou přece jenom chudší a programy často vyžadují tisk schématu zapojení a každého grafu na samostatný papír. Občas se navíc stane, že část obrázku přesáhne, takže se vytiskne na více stránkách. Libovolný grafický program, kterým může být v nouzi i obyčejné Malování z Windows, umožňuje navíc snadné přidání komentáře, popisků a případně i snadné vložení upraveného obrázku do textového editoru.

Po spuštění demoverze programu se objeví okno se základním řádkem nabídek (*File, Edit, Insert, View, Analysis, T&M, Tools a Help*). Následují dvě vypínatelné lišty (*Tool Bar a Component Bar*) a záložky vztahující se k součástkám: *Basic* (zem, R, L, C, transformátory, spínače), *Meters* (A, V, W, Ω, logická sonda a měřicí body), *Sources* (stejnospěrné a střídavé zdroje napětí a proudu, zdroje logických signálů), *Semiconductors* (operační zesilovače, diody, tranzistory, tyristory viz obr. 1), *Gates* (AND, NAND, OR, NOR, XOR), *Flip-flops* (JK, D, RS), *Mixed mode* (převodníky AD a DA, 555, žárovka, segmentovky,

hexa klávesnice, motor), *Logic ICs* (řady logických obvodů) a *Analog Control* (regulátory PI, PID, PD, aritmetické členy, komparátory, hysterezní bloky, zpožďovací členy apod.).

Při vkládání prvků do schématu lze použít klasické operace Windows (*Cut*, *Copy*, *Paste*, *Delete*, *Select All*), které lze vyvolat i přes řídicí klávesu *Ctrl*. Rotace prvku se vyvolá kombinací kláves *Ctrl* a + , nebo *Ctrl* + –. Je možné i zrcadlení součástky. Lze zadat propojení či zrušení vodivého propojení vodičů při jejich křížování (*Hide/Reconnect*). Nabídka *Insert* umožňuje vkládat poslední zvolenou součástku, vodiče, vstupní a výstupní svorky, text a grafiku. Nejpoužívanější volby jsou rovněž přístupné přes klávesové zkratky a přes ikonky nástrojů. Pokud se myš nad ikonkou na chvilku zastaví, objeví se nápověda k příkazu. Volba zobrazení *View* umožňuje skrýt/zobrazit mřížku, lišty s nástroji, nastavit evropskou nebo americkou normu součástek, zvolit měřítko a překreslit obrázek (*Redraw* – F5).

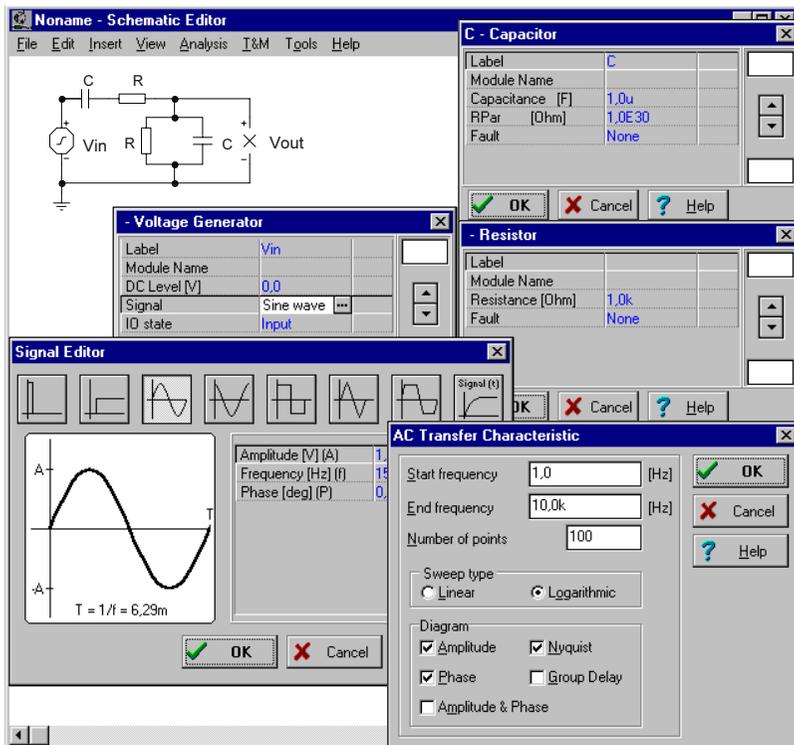
Druh simulace se volí pomocí menu *Analysis*, případně se multimediálně zapojují přístroje z nabídky *T&M*. Při volbě klasické analýzy jsou k dispozici módy jednoduché analýzy (*Single*) anebo parametrických analýz (*Parameter stepping*, *Temperature stepping*). Je rovněž možné zadat náhodnou parametrickou analýzu *Monte Carlo*, analýzu nejhoršího případu *Worst Case* a optimalizační analýzu *Optimization*. Lze volit klasické stejnosměrné analýzy *SPICE – DC Analysis: Calculate node voltages* (.OP), *DC transfer characteristic* (.DC) a *Temperature analysis*. Rovněž střídavé analýzy jsou zastoupeny obě: *AC transfer characteristic* (.AC) a *Calculate nodal voltages* (.TF). Výhodné je, že při zobrazování přenosových charakteristik dvojbranu je kromě klasického odděleného grafu přenosu a fáze možné i zobrazení komplexní Nyquistovy charakteristiky. Nejdůležitějším simulačním nástrojem je zobrazení průběhů napětí na čase – *Transient analysis*. Zobrazený průběh napětí lze podrobit Fourierově analýze a vypočítat tak spektrum signálu. Nechybí ani šumová analýza (*Noise*).

Unikátní je symbolická analýza (*Symbolic*), která nepatří do klasických SPICE analýz. Pomocí této volby se pro zvolenou *AC*, *DC* nebo *Transient* analýzu určí analytický vztah, do kterého se případně i dosadí hodnoty prvků ze schématu a vypočítá výsledek. Například pro obvod děliče se dvěma stoohmovými odpory připojeného na baterii, se vypíše vztahy:

$$U = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot VS1 = \frac{100}{100 + 100} \cdot 4,5 \text{ [V]} \quad U = 2,25 \text{ [V]}.$$

U střídavé symbolické analýzy je možné vypočítat a zobrazit v komplexní rovině i póly a nuly přenosové funkce dvojbranu (*Poles and Zeros*). Použití této analýzy lze demonstrovat na zapojení pásmové RC propusti.

Ve schématu musí být pro spuštění střídavé analýzy definovány výstupní svorky a vstupní zdroj. Pro každý prvek lze vyvolat kliknutím myši na součástku dialogový panel pro nastavení parametrů prvku. Velmi prakticky a názorně je vyřešen panel pro nastavení průběhu napětí zdroje. Panel pro spuštění střídavé analýzy definuje klasicky počáteční a koncový kmitočet a logaritmické (po dekadách) rozmtání kmitočtu. Volby v nabídce *Diagram* určují druh zobrazení charakteristik. Přenosová charakteristika v decibelech a fázová charakteristika mají klasický tvar v semilogaritmických souřadnicích. Zajímavější je přenosová charakteristika v komplexní rovině s možností kurzorového odečítání souřadnic. Škoda jen, že nápad není dotažen do konce a není při kurzorovém



Obr. 60 Simulace Wienova článku demoverzí programu TINA

odečítání souřadnic zobrazen i kmitočty. V obr. 61 je naznačena i možnost dotváření charakteristiky grafickými nástroji programu.

Při aplikaci symbolické analýzy získáme komplexní vztah pro přenos článku ($j\omega = s$ a $A_U = W$). Program rovněž dosadí hodnoty prvků a vykreslí póly a nuly v komplexní rovině. Kromě přenosu lze rovněž napsat analytický vztah pro výstupní napětí a do tohoto vztahu se dosadí konkrétní kmitočty v radiánech. Na rozdíl od očekávání je zápis harmonického signálu realizován pomocí funkce kosinus, a nikoliv pomocí funkce sinus a to sebou přináší posuv o 90° . Ve verzi Tinaplus je zápis výstupního napětí chybný, protože fázový posuv musí být samozřejmě v radiánech. Další chyba vznikne při dosazování konkrétních hodnot, protože se zápis napětí zdvojnásobí, což je v obr. 62 vyznačeno zaškrtnutím. Nicméně základní obecný vzorec pro přenos filtru je správný a je do něj i správně dosazeno. Symbolickou analýzu považuji za velké plus tohoto programu.

Pokud nás zajímá, jak vypadají průběhy napětí při kvazirezonančním kmitočtu článku, můžeme spustit transient analýzu, anebo přes definovaná návěští zapojit virtuální osciloskop. K dispozici jsou i další přístroje (funkční generátor, XY zapisovač, osciloskop, multimetr, analyzátor signálu, logický analyzátor a generátor logických signálů). Řešení propojení virtuálních přístrojů prostřednictvím návěští není nejšťastnější a nepřináší