

# INTERAKTIVNÍ NÁVRH PLOŠNÝCH SPOJŮ NA OSOBNÍM POČÍTAČI

Návrh plošných spojů a zhotovení jejich výrobních podkladů je důležitou fází vývoje téměř všech elektronických zařízení. Při těchto pracích bývá často využíván počítač; význam jeho pomoci roste (rychleji než lineárně) se složitostí plošného spoje. Programové vybavení zde může řešit úlohy na různých úrovních, počínaje digitalizací ručně pořízených předloh přes interaktivní návrh spojového obrazce na grafické obrazovce až např. po integrované návrhové systémy, které vycházejí ze zapojení desky, zadaného interaktivně vytvořeným schématem, optimalizují rozložení součástek, navrhnou spoje a jako výstup generují dokumentaci (schémata, osazovací plány, seznamy součástek) a výrobní podklady, zahrnující soubory pro řízení fotoplotterů, číslicové řízených vrtaček a třeba i osazovacích automatů a testerů desek. S možnostmi jednotlivých systémů ovšem souvisejí také požadavky, které kladou na hardware (osobní počítače, grafická pracoviště, minipočítače i střediskové počítače), a jejich cena, která se ve světě pohybuje od stovek po stovky tisíc dolarů.

Tento článek přináší stručnou a z určité části předběžnou informaci o jednom takovém systému. Čtenáři, který se nezajímá o návrh plošných spojů (ani o CAD), snad může alespoň pomoci získat představu o charakteru problémů, které se objeví v okamžiku, kdy nějakou část činnosti návrháře má převzít počítač, a o některých možných přístupech, které lze užít k jejich řešení.

Systém *F. Mravenec* umožňuje na počítačích kompatibilních s IBM-PC interaktivně navrhovat dvouvrstvé plošné spoje a generovat řídicí soubory pro některá požizovací zařízení. Je orientován zejména na číslicovou techniku a na plošné spoje ve IV. třídě přesnosti. Systém je tvořen programem *Layout*, který obsahuje specializovaný grafický editor, dovolující vytvářet a modifikovat obrazec plošného spoje a ukládat jej do vektorového souboru, a několika výstupními generátory, které informaci zapsanou v těchto souborech převádějí na řídicí soubory.

## Základní koncepty

Program *Layout* (zde popisovaný ve verzi 1.42) jako jádro návrhového systému definuje jeho základní koncepty a datové struktury popisující plošný spoj. Program pracuje se sítí (rastrem); počet jejích uzlů, v současné verzi 32760, představuje hlavní omezení kladené na obrazec plošného spoje. V obvykle používané síti 1,25 x 1,25 mm, která dovoluje pracovat ve IV. třídě, je maximální velikost spojového obrazce 300 x 165 mm. Složitost plošného spoje návrhový systém již dále v zásadě nijak neomezuje.

Obrazec plošného spoje je vytvořen ze dvou druhů základních prvků: spojových čar a pájecích bodů. Spojových čar je sedm typů; každý element spojové čáry (odpovídající straně nebo úhlopříčce základního čtverce sítě) může být veden osmi směry (z výchozího uzlu sítě do některého z osmi sousedních). Pájecí body, kterých je k dispozici patnáct typů, jsou umístěny do uzlů sítě.

Další datové struktury popisující plošný spoj souvisejí s obvody a s fyzickými rozměry, zmiňovanými níže.

## Ovládání

Program *Layout* je ovládán prostřednictvím příkazů. Primárních příkazů, tedy těch, které lze vyvolat ze základní úrovně ovládání programu, je (po odečtení šestnácti příkazů pro pohyb ukazatele) celkem 45. Některé z nich jsou vykonávány přímo, jiné vyžadují zadat do vstupní řádky parametry (např. jméno obvodu nebo specifikaci vrstev); čtyři vyvolávají tabulky parametrů (viz ukázka na obr. 1), které dovolují interaktivně modifikovat hodnoty některých parametrů systému.

Součástí programu je soubor obsahující informace o systému (*help*), který je tvořen obsahem asi padesáti obrazovkových stránek (v češtině). Informace jsou členěny kontextově — ze základní úrovně ovládání, vstupní řádky příkazu nebo tabulky parametrů je vyvolávána pouze část informace odpovídající situaci — a v rozsáhlých částech navíc hierarchicky.

## Ukazatel a okénko

Základní operace, tj. vkládání a mazání pájecích bodů a spojových čar, se provádějí prostřednictvím ukazatele, tvořeného křížem, kterým lze pohybovat po obrazovce pomocí kláves se šipkami, příp. pomocí myši. Primární příkazy dovolují v závislosti na právě platném režimu vložit nebo smazat pájecí bod v poloze ukazatele a v trajektorii jeho pohybu vést nebo mazat spojovou čáru. S mezivrstevnými přechody lze zacházet jako se součástí spojové čáry. Jiné primární příkazy umožňují např. měnit právě platné typy základních prvků nebo je převzít z obrazce plošného spoje.

S oblastmi obrazce plošného spoje lze pracovat pomocí obdélníkových okének. Primární příkazy kromě zadání okénka dovolují jeho obsah mazat a přesouvat nebo kopírovat na místo určené ukazatelem. S jednotlivými vrstvami obrazce (se spojovými čarami stran A a B, pájecími body, body mimo základní síť a obvody) lze přitom pracovat nezávisle. Okénko je využíváno i při čtení vektorových souborů.

## Grafika

Program *Layout* využívá tři barevné vrstvy (*screen memory planes*) grafické desky, jednu pro každou stranu plošného spoje a jednu pro ukazatel, okénko, vykreslení chybějících spojek a vyznačení obvodů a bodů mimo základní síť. Grafika dovoluje navzájem odlišit všech patnáct typů pájecích bodů; jednotlivým typům spojových čar lze přiřadit jeden ze tří způsobů zobrazení (tečkované, plné a tlusté), příp. zobrazení potlačit. Obrazec plošného spoje je kreslen pomocí speciálních grafických podprogramů (místo obecné grafiky), umožňujících optimálně využít rozlišovací schopnost obrazovky a zobrazit bez ztráty nebo zkreslení informace co největší část plošného spoje. Základnímu poli sítě odpovídá čtverec 4 x 4 body obrazovky (*pixels*), což dovoluje např. grafickou deskou EGA zobrazit malou eurokartu vcelku.

Primární příkazy umožňují změnit zobrazovaný výřez plošného spoje tak, aby se ukazatel dostal co nejlíže jeho středu, standardní měřítko zobrazení zvětšit v poměru 2 : 1, vypínat a zapínat zobrazené vrstvy tak, aby bylo možno přecházet mezi zobrazením obou stran a jedné z nich, a vytisknout kopii obrazovky na maticové tiskárně (viz obr. 2). Pomocí tabulek parametrů lze kromě volby způsobu zobrazení objektů změnit i paletu, tj. přiřadit skutečné barvy jednotlivým kombinacím barvových vrstev.

## Obvody

Aby bylo možno pracovat s topologií, tj. se zapojením plošného spoje, musí návrhový sy-

stém poskytovat prostředky, jak pojmenovat obvody a popsat rozložení jejich vývodů. Místo obvykle používaných knihoven zavádí program *Layout* v zájmu jednoduhosti popis obvodu prostřednictvím několika parametrů. Kromě jména je obvod definován počtem vývodů, způsobem číslování (proti směru hodinových ručiček, podélně nebo příčně), roztečí řad vývodů (pro jednořadé pouzdro je nulová) a roztečí vývodů; jeho umístění pak je určeno souřadnicemi vývodu 1 a orientací. To vede ke zjednodušení programu (a příp. práce uživatele, který nemusí vytvářet knihovny), ovšem za cenu jistých omezení. Uvedený způsob dovoluje popsat dvouřadá a jednořadá pouzdra, tedy dostupné číslicové integrované obvody a konektory, ale vede k obtížím již např. u tranzistoru. Popisy obvodů program *Layout* ukládá do seznamu obvodů, který může obsahovat až 255 položek.

Primární příkazy umožňují popsat, vložit a pojmenovat obvod, najít vývod obvodu zadaného jména (tj. přesunout na něj ukazatel), identifikovat jméno obvodu a číslo vývodu v poloze ukazatele a také nejbližšího vývodu, připojeného ke spoji určeného ukazatelem. Dále lze obvod přejmenovat, příp. zrušit celý seznam obvodů.

## Seznamy spojů

Program *Layout* pracuje se dvěma seznamy, seznamem skutečných a referenčních spojů. Jejich primárním účelem je kontrola správnosti zapojení plošného spoje, představují však zároveň jeden z kroků k automatizovanému návrhu. Ukázka výpisu části seznamu spojů do okénka na obrazovce je na obr. 3. Program umožňuje vytvářet seznam skutečných spojů pro specifikovaný obvod nebo pro celý seznam obvodů a zapsat jej do textového souboru. Současně lze načíst seznam referenčních spojů z diskového souboru a porovnat jej se skutečným zapojením plošného spoje. Tento soubor může být pořízen některým programem pro vytváření schémat, nebo může být výstupním souborem programu *Layout*, do kterého byly textovým editorem vneseny opravy a úpravy. Seznam skutečných spojů dovoluje ověřit správnost zapojení plošného spoje jeho systematickým porovnáním se schématem, na kvalitativně vyšší úrovni, než lze dosáhnout kontrolou obrazce plošného spoje.

Výstupem porovnání seznamu skutečných a referenčních spojů je seznam zkratů a seznam spojek, tj. hran nejmenších koster chybějících spojů. Poslední seznam může být vstupem pro algoritmy automatizovaného propojování v některé pozdější verzi programu; současná verze dovoluje spojky vykreslit, vyčíslit jejich celkovou délku a určit počet spojek procházejících rameny ukazatele. Tyto údaje mohou poskytovat kritéria pro hledání optimálního rozmístění součástek.

Side A Write Idle X 79 Y 47 Line 4 Pad 12 Via 9

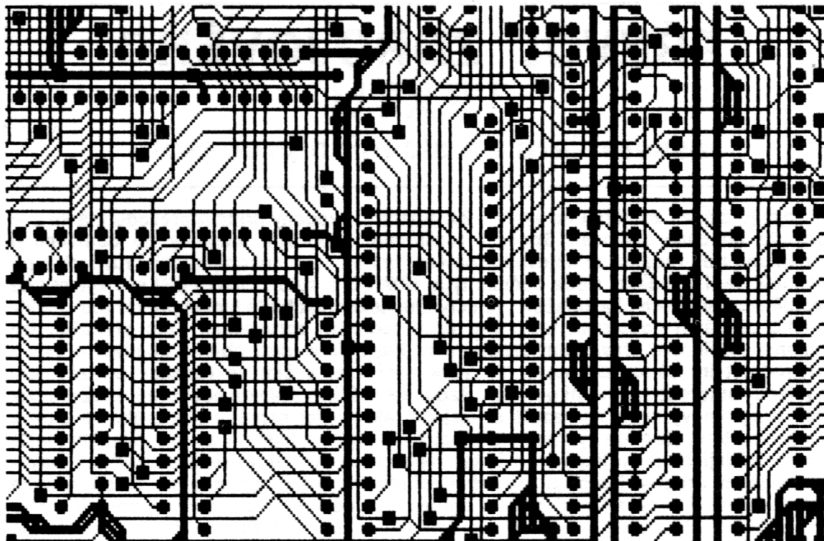
Vector File Read Mode Setting												
Side A Lines:	Included	Rotation:	None (0)									
Side B Lines:	Omitted	VF Sides:	Not Swapped									
Pads:	Included											
Off-Grid Points:	Omitted											
Element Dimensions:	Included											
List of Circuits:	Included											
System Setup:	Included	Implement changes?	(Y/N)									
Vector File Offset X:	20	Y:	-32	grid units								
Window dimensions X:	0 to 240	Y:	0 to 132	grid units								
Element types transformation	(VF type / Side A type / Side B type)											
---	LINE WIDTHS	PAD SHAPES										
1 2	3 4 5 6 7	1 2	3 4 5 6 7 8	9 10 11 12 13 14 15								
1 2	3 4 5 6 7	1 2	3 4 12 6 12 8	9 10 11 12 13 14 15								
1 2	5 6 5 6 7	1 2	3 4 12 6 12 8	9 10 11 12 13 14 15								

Obr. 1. Ukázka tabulky parametrů (volba režimu čtení vektorového souboru)

A DSSSTTP B DSSSTTP Side A Write Idle X 79 Y 47 Line 4 Pad 12 Via 9

Cross Reference of Circuit Connections												
U9/12:	U16/13	( shape 9: 1 pad ):										
( U9/13:	see K2A/B )											
( U9/14:	see C1/1 )											
U10/1:	U19/21, U19/28	( shape 9: 1 pad ):										
( U10/2:	see R6/2 )											
( U10/3:	see R7/1 )											
( U10/4:	see R8/1 )											
( U10/5:	see C1/1 )											
U10/6:	U21/6	( shape 9: 2 pads ):										
( U10/7:	see J1/2 )											
U10/8:	U19/16	( shape 9: 1 pad ):										
U10/9:	U14/20	( shape 9: 2 pads ):										
U10/10:	U15/3, U15/6, U15/12:											
U10/11:	U13/11:											
U10/12:	U11/8, U12/8, U13/8, U14/9, U19/15	( shape 9: 1 pad ):										
U10/13:	U11/7, U12/7, U13/7, U14/10, U19/14	( shape 9: 2 pads ):										
U10/14:	U11/6, U12/6, U13/6, U14/11, U19/13	( shape 9: 1 pad ):										
U10/15:	U11/5, U12/5, U13/5, U14/13, U19/12	( shape 9: 1 pad ):										
Press Esc to abort printing or any other key to continue												

Obr. 3. Část seznamu spojů v textovém okénku na obrazovce



Line Widths:	1	2	3	4	5	6	7	Pads:
Side A Lines	Dashed	Dashed	Solid	Solid	Solid	Thick	Thick	On
Side B Lines	Dashed	Dashed	Solid	Solid	Solid	Thick	Thick	On

Screen Offset X: 53, Y: 7; Zoom On  
 20:18, Apr-12-1988; FM Version 1.32 PH 1987

Obr. 2. Hardcopy obrazovky (pro ilustraci typické hustoty zpracovávaných plošných spojů zobrazeny obě strany současně)

### Fyzické rozměry

Jedním ze dvou směrů, ve kterých je popis plošného spoje rozšířen za hranici základních struktur popsaných výše, jsou fyzické (skutečné) rozměry. Návrhový systém dovoluje zadávat fyzické rozměry základních prvků a specifikovat jejich polohu vzhledem k síti.

Jedna z tabulek parametrů umožňuje zadat v setinách mm fyzické rozměry základních prvků, tedy šířku a výšku pájecích bodů a šířku spojových čar. U pájecích bodů lze navíc zadat tvar (kruh, resp. ovál nebo čtverec, resp. obdélník). Fyzické rozměry základních prvků nejsou v přímém vztahu k rozměrům jejich grafické reprezentace; slouží pouze jako průvodní informace plošného spoje, určená výstupním generátorem a (v pozdější verzi) spolu se zadanou minimální šířkou izolační mezery jako podklady pro kontrolu dodržení návrhových pravidel. Grafická reprezentace je přesto zvolena tak, že na obrazovce spolu kolidují základní prvky (běžných typů) právě tehdy, jestliže spolu kolidují jejich fyzické rozměry, které byly nastaveny při inicializačním systému.

Bod mimo základní síť (*off-grid point*) může mít, zadáno posunutí v obou osách vůči uzlu sítě, s kterým se pojí. Lze také potlačit transformaci (zpravidla na palcovou síť) při generování kódu pro počítačové zařízení. Posuv se zadává opět v setinách mm ( $0 \pm 9,99$  mm) spolu s kombinací vrstev (spojovými čarami strany A a B a pájecími body), ke které se vztahuje. Tak je možno např. specifikovat souřadnice upevňovacích otvorů nebo vytvořit čáry s obecným úhlem k souřadnému systému. Body mimo základní síť slouží výlučně jako průvodní informace pro výstupní generátory; program *Layout* umožňuje pouze jejich úpravy a vkládání do seznamu bodů mimo základní síť, který obsahuje až 255 položek.

### Vektorové soubory

Pro ukládání plošných spojů do vnějších pamětí a jako jediného spojení s výstupními generátory používá program *Layout* vektorové soubory. Ty mají vždy stejnou strukturu; obsahují spojové čáry strany A a B, pájecí body, seznam obvodů, tabulku rozměrů základních prvků, seznam bodů mimo základní síť, velikost obrazce plošného spoje, použitý režim zobrazování a označení verze návrhového systému. Zatímco jsou vektorové soubory vytvářeny vždy stejným způsobem, může být obrazec plošného spoje obsažený ve vektorovém souboru různě modifikován během jeho zpětného čtení programem *Layout*. Tak lze specifikovat potlačení některých vrstev plošného spoje nebo záměnu stran, posunutí obrazce vůči původním souřadnicím, rotaci a okénkování a konverzi typů základních prvků

podle zadané tabulky (viz obr. 1). (Jde většinou o operace, které by se nad vnitřními datovými strukturami programu *Layout* prováděly obtížně.) Čtení vektorového souboru má charakter jeho doplnění ke stávajícímu obrazci, což dovoluje skládání obrazců plošných spojů.

### Výstupní generátory

Výstupní generátory systému *F. Mravenec* konvertují vektorové soubory na řídicí soubory pro jednotlivá počítačová zařízení. Mají podobnou stavbu a oproti programu *Layout*, který je v počítači po téměř celou dobu práce se systémem, nezahnují tak vysokou interaktivitu. Pomocí tří nebo čtyř tabulek parametrů vesměs dovolují přiřadit základním prvkům jednotlivých typů odpovídající nástroje počítačového zařízení (např. clonky fotoplotteru nebo vrtáky vrtáčky), specifikovat transformaci části obrazce vymezené obdélníkem na palcovou síť a zadat formát výstupních souborů (např. zvolit kód).

Pro návrhový systém mají základní význam výstupy na fotoplotter a číselnicové řízenou vrtáčku. V současné době existují výstupní generátory pro fotoplottery Emma 80 a Admap 4 a pro vrtáčky Excellon, Posalux a Merona. Médium pro přenos dat na tato zařízení je děrná, příp. magnetická páska. Protože děrovač ani magnetopásková jednotka nejsou standardní periférií osobního počítače, výstupní generátory pouze vytvářejí standardní soubory MS-DOSu a jejich přenos na

požadované médium ponechávají na uživateli.

U nenáročných plošných spojů poskytuje určitou alternativu k maticím kresleným fotoplottery program *Printout*, který umožňuje tisk matrice plošného spoje maticovou tiskárnou Epson FX-85 nebo kompatibilní. Díky rozlišovací schopnosti tiskárny tento program principiálně dovoluje tisknout v měřítku 2 : 1 předlohy matic i pro IV. třídu přesnosti; jejich skutečná použitelnost ovšem závisí na kvalitě tiskárny a fotografického zpracování.

Rozložení součástek může být vykresleno na plotteru Hewlett-Packard HP 7475A nebo kompatibilním pomocí programu *Doc-Plot* (viz ukázka na obr. 4).

### Požadavky na hardware

Systém pracuje na počítačích kompatibilních s IBM-PC, vybavených operační pamětí alespoň 512 kB a grafickou deskou EGA, EGC (počítače Olivetti M24 a M28), příp. CGA (která však podstatně omezuje grafické možnosti návrhového systému). Numerický koprocesor 80X87 není programem *Layout* využíván; může přinést pouze zvětšení rychlosti výstupních generátorů. Programy nevytvářejí žádné rozsáhlé soubory a snaží se omezit svůj přístup na disk. Je-li k dispozici RAM-disk pro overlaye programu *Layout*, nepředstavuje pro návrhový systém pevný disk žádnou podstatnou výhodu. Na interaktivitě tohoto programu se však projeví rozdíl mezi rychlostí procesoru 8088, pracujícího na 4,77 MHz, a 8086 na 8 MHz.

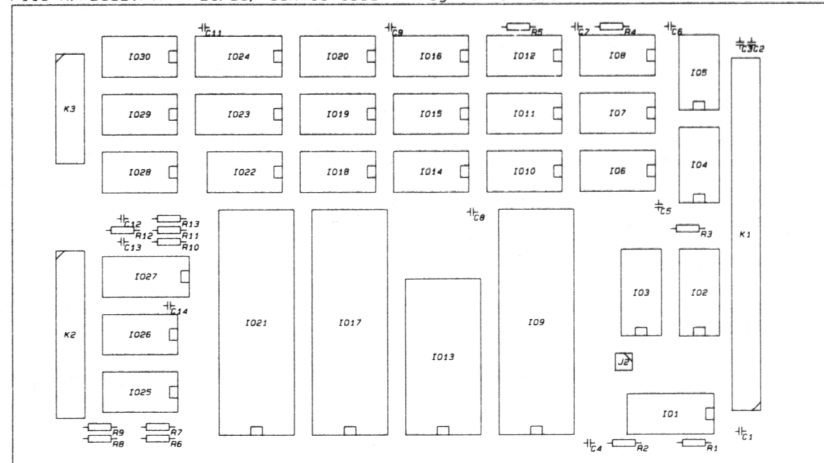
### Zdrojový text

Téměř celý systém byl vytvořen v jazyce Pacal, pouze některé časové kritické úseky jsou zapsány v assembleru. Zdrojový text programu *Layout* má 342 kB (asi 7000 řádek, tedy více než sto stran výpisu), zdrojové texty výstupních generátorů dohromady 234 kB. Přeložený program *Layout* má 92 kB. Pro zajímavost, celkový počet procedur a funkcí v tomto programu je asi 250.

*Systém F. Mravenec byl psán s několika cíli: získat použitelný návrhový systém, dovolující návrh bezchybného plošného spoje zpravidla v první iteraci, kompatibilní s dostupnými zařízeními a využívající co nejúplněji jejich možnosti; ověřit míru oprávněnosti některých nestandardních konceptů (speciální grafika, eliminace knihoven); vytvořit si prostředí pro zkoušení algoritmů některých fází automatizovaného návrhu plošných spojů; a konečně získat zkušenosti i představu o pracovním návrhu a realizace grafiky interaktivního systému, odpovídajícího stylem řešení programům pro osobní počítače vytvářeným ve světě. Systém není dosud dokončen (a nikdy ani nebude), nicméně uvedené cíle již splnil; prošel jím několik desítek plošných spojů. Přestože nemůže svými celkovými parametry konkurovat návrhovému systému v cenové hladině jednotek a desítek tisíc dolarů, díky obvyklému charakteru navrhovaných číselnicových desek a přizpůsobení systému dostupným zařízením (včetně možnosti dalších modifikací) mohou existovat důvody opravňující jeho použití i ve specifických československých podmínkách.*

**Petr Horský**

File A: FDCS2.PVF 21: 56, Jan-11-1988 Prog FM ver 1.3



Obr. 4. Ukázka výkresu rozložení součástek