

## Návrh plošného spoje pomocí PC stručný popis programu EAGLE

Ing. Vlček

*Určeno pro výuku praxe a technického kreslení*

Že je počítač pro návrh plošného spoje velmi dobrým pomocníkem, není jistě třeba dlouho vysvětlovat. Zbaví konstruktéra otrocké práce (zajistí, že čára je rovná, kolečko kulaté, správné rozteče vývodů a rozměry součástek, apod) a umožní snadné změny návrhů. Při profesionální práci je jeho použití samozřejmé.

Naučit se využívat všech možností kvalitního programu vyžaduje delší čas. Vzhledem k tomu, že PC patří již k běžnému vybavení domácností, bude tato problematika jistě zajímat i amatéry. Podle návrhu plošného spoje, který byl vytisknut kvalitní (nejlépe laserovou) tiskárnou, si každý může nechat desku vyrobit. I kdyby byl v nejhorším případě obrazec přenesen na cuprexit pomocí důlčičku a barvy, má použití počítače svůj smysl.

V této kapitole chci trochu přiblížit čtenářům program EAGLE, jehož jsem dlouholetým a spokojeným uživatelem. K důkladnému popisu existuje více než dvoustránkový manuál, který je součástí programu. Vybírám zde z něj pouze nejdůležitější informace, které potřebuje začínající zájemce. Program existuje ve více verzích (jejich vzájemnými rozdíly se zde nezabývám), vytvořené projekty jsou i v různých verzích programu kompatibilní.

Předpokládám, že většina níže uvedených informací má obecnější platnost a že jiné programy fungují podobným způsobem.

### **Kreslení schématu**

Nejprve začneme **nakreslením schématu** v modulu **Schematic** (vytvořené soubory \*.sch). Používané součástky jsou uloženy v několika knihovnách (\*.lbr) např. odpory kondenzátory, diody, atd. Příkazem **USE se knihovna otevře** (natáhne do paměti) abychom z ní mohli příkazem **ADD vybrat potřebnou součástku**. Např. R75 znamená rezistor s roztečí vývodů 7,5 mm. Vybranou součástku **pojmenujeme** příkazem **NAME**, případně příkazem **VALUE zadáme její hodnotu**.

Součástky můžeme rovněž vytvářet příkazem **COPY**. K jejich správnému pojmenování potom dochází automaticky. Zkopírujeme-li např. R<sub>1</sub>, vytvoříme R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub>, atd. Program nedovoluje, aby v jednom návrhu měly dvě součástky stejné označení (může být např. R<sub>1</sub>, R<sub>1a</sub>)

**Spojování součástek** se ve schématu provádí pomocí vodičů **NET** a spojovacích bodů **JUNCTION** a **PIN**.

Po nakreslení schématu příkazem **BOARD vytvoříme soubor desky** (\*.brd), který obsahuje všechny použité součástky. Jejich vzájemné propojení je zatím provedeno **vzdušnými spoji** (airways) ve vrstvě Unrouted (19). Při kreslení schématu doporučuji přesvědčit se příkazem **MOVE**, že spoje jsou k součástkám skutečně přichyceny.

Příkaz **BOARD** provádíme pouze jednou, desku potom otvíráme příkazem **EDIT** (abychom si nesmazali rozpracovaný plošný spoj).

### **Návrh plošného spoje**

Základem úspěchu při návrhu desky je **vhodné rozmístění součástek**. Začneme nejprve určením rozměrů desky ve vrstvě Dimension (20), aby se nám vešla do vhodné krabičky a vyznačením zakázaných oblastí pro součástky a pro spoje (Rect). (ChANGE LAYER – 20 Dimension, CHANGE WIRE –např 0,25, příkazem WIRE nakreslit rozměr desky). Někdy je možné určit rozměry desky až po pozemístění součástek a návrhu spojů.

Při rozmísťování součástek pomocí příkazu **MOVE** (na vrstvu tPlace – 21 shora nebo příkazem **MIRROR** vybranou součástku přemístit dospod desky do vrstvy bPlace -22) již dopředu uvažujeme tak, aby budoucí plošné spoje měly **minimální délku**. To je velmi důležité, nevhodné rozmístění součástek zvětšuje plochu spojů a jím i rozměry desky. Při

rozmístování součástek začínáme potenciometry, přepínači, LED, konektory, které mají vazbu mechanické uspořádání (aby například LED byly v jedné řadě).

Pokud nemůžeme některé součástky najít v knihovně- musíme si je dle jejich výkresu (datasheetu) vytvořit – viz podrobný manuál. Potom je zařadíme do knihovny a můžeme je dále používat. Pokud to neumíme nebo nechceme dělat, můžeme si vývody atypické součástky vytvořit pomocí příkazu VIAS (u SMD PADS) a ve vrstvě 21 příkazem WIRE nakreslit její pouzdro.

**Než začneme kreslit plošný spoj, měli bychom mít rozmístěné součástky**, abychom při dalším návrhu jejich polohu měnili jen minimálně.

Vzdušné spoje nám při tom jsou dobrým vodítkem. Ukazují nám, které součástky jsou spolu propojeny. K vytvoření spojů používáme nejčastěji příkaz **ROUTE**.

Tento příkaz můžeme provést pouze tam, kde se nachází vzdušný spoj (vrstva 19). Pokud jej nemáme vytvořený už z kreslení schématu, vytvoříme jej příkazem **SIGNAL**.

Příkazem **CHANGE WITH** si zvolíme šířku spoje.

Správné provedení spoje znamená odstranění vzdušného spoje, které doprovází krátké písknutí. Vymažeme-li plošný spoj, objeví se zpátky vzdušný spoj. Každý provedený příkaz (i větší posloupnost příkazů) můžeme vrátit zpátky příkazem **UNDO** (klávesa F9). Příkaz(y) **UNDO** můžeme vrátit zpátky příkazem **REDO** (klávesa F10).

Při práci se schématem i s plošným spojem potřebujeme mít na obrazovce návrh ve vhodné velikosti. Zvětšování se provádí klávesou F3, zmenšování klávesou F4. Nebo pomocí příkazu **WINDOW** a dvojným kliknutím myši vyznačíme oblast ve výkresu, kterou chceme zobrazit. Klávesou F1 přejdeme na základní zobrazení výkresu (pokud nám při jejím stisknutí nenaskočí Náповěda). Klávesou F2 se návrh znova na obrazovce vykreslí.

**Při návrhu začínáme vždy nejkratšími spoji, kterým se delší spoje budou později vyhýbat** (naopak nikdy). U složitějších zapojení používáme **2 vrstvy** (layer), aby spoje nezabíraly větší část desky a abychom neměli příliš velký počet drátových propojek. Horní vrstva (top) se zobrazuje červeně, spodní (bottom) modře. Spojení mezi nimi zajišťují prokovené otvory - příkaz **VIAS**. Změnit velikost otvoru můžeme příkazem **CHANGE DRILL** a **CHANGE DIAMETR**.

Při návrhu někdy nejprve zaplníme jednu vrstvu a zbývající spoje provedeme ve druhé vrstvě. U hodně složitých zapojení tvoříme obě vrstvy současně tak, aby **spoje v jedné vrstvě** směřovaly převážně **vodorovně** a **ve druhé převážně svisle**. Tato strategie vede vždy k úspěchu, návrh se vždy podaří. Změnu vrstvy, ve které pracujeme, provedeme instrukcí **CHANGE LAYER**, případně středním tlačítkem myši. Pracujeme-li v jedné vrstvě, můžeme si další vrstvy příkazem **DISPLAY** vypnout. Tím si zajistíme, abychom je příkazy **MOVE** nebo **DELETE** neporušili.

U kvalitně provedeného návrhu (pokud tomu nic jiného nebrání) by měly součástky zabírat 60 až 80 % plochy destičky.

Pro **automatický návrh** můžeme použít **autorouter** (příkaz **AUTO**). Příprava jeho spuštění ale není jednoduchá, je nutné odstranit všechny (i formální) chyby v zapojení. Výsledek nemusí být uspokojivý, inteligence člověka je v tomto směru vyšší než schopnosti počítače. Ve vlastním návrhu se navíc každý jistě nejlépe a rychleji vyzná.

Při návrhu desky pracujeme v určitém **rastru**, který zvolíme příkazem **GRID**. Základní rastr v elektrotechnice je 2,54 mm = 0,1 palce (inch), což je rozteč vývodů klasického integrovaného obvodu. Rozteč vývodů SMD integrovaného obvodu je poloviční – 1,27 mm. Rastr si většinou volíme 1,27 mm, 0,635 mm nebo 0,3175 mm. Doporučuji začít návrh s větším rastrem (práce je pohodlnější) a kritická místa nakonec dodělat v menším rastru. (Opačně to nejde, při přepnutí z menšího do většího rastru jsou problémy se vzájemným napojováním spojů a součástek.). Pro návrh těch částí desky, které mají vazbu na mechanické díly, doporučuji přepnout na rastr 1 mm nebo 0,5 mm.

Pro rastr a měření vzdáleností můžeme použít jako jednotky milly (1 mil = 0,001 inch). Šířku čáry volíme v profesionálních zařízeních 0,5 mm, vyjímečně až 0,3 mm. Minimální vzdálenost mezi spoji má být nejméně 0,3 mm, raději však více. Zmenšení těchto rozměrů vyžaduje kvalitnější a tím i dražší technologii výroby. Pro amatérské konstrukce používám raději šířku spojů 0,8 mm.

Program EAGLE umožňuje umožňují **automaticky provádět kontrolu schématu** (nezakončené spoje, zkrat výstupů na zem a napájecí napětí, apod) příkazem **ERC** a **kontrolu návrhových pravidel na desce** (minimální mezera mezi spoji, zkrat mezi spoji, minimální šířku spoje, minimální průměr pájecí plošky, apod.) příkazem **DRC** (design rule check). Tyto funkce se vyplatí používat u složitějších zapojení.

Výše uvedený postup návrhu se dá zjednodušit. Pokud není k dispozici modul **Schematic**, navrhujeme desky přímo v modulu **Board**. Pomocí příkazů USE a ADD vybereme součástky, příkazem **SIGNAL** mezi nimi natáhneme vzdušné spoje. Dále pak pokračujeme příkazem **ROUTE**.

Ještě jednodušší je vytvořit plošný spoj příkazem **WIRE**. Takto vytváříme jednoduché plošné spoje, pro které nemáme nakreslené schéma a které jsme nazávěr schopni snadno zkontrolovat sami. Takový návrh ale nemůžeme programem kontrolovat, spoje nejsou se součástkami pevně spojené. Při tisku se mohou překrývat díry pro vrtání se spoji.

Šířku čáry si při aktivovaných příkazech **ROUTE** a **WIRE** můžeme volit přímo z klávesnice. Příkazem **MOVE** můžeme součástky i spoje **přemísťovat**. Pravým tlačítkem myši provádíme rotaci elementu nebo skupiny. **Skupinu** definujeme příkazem **GROUP**. Myší objedeme skupinu, pravým tlačítkem uzavřeme. Pokud chceme skupinu přesunout, vybereme povel **MOVE** pravým tlačítkem myši.

Příkazem **CUT-** (**středník**); **uložíme** předem definovanou **skupinu do mezipaměti** (bufferu). Odtud ji můžeme **vybrat** (zkopírovat) příkazem **PASTE**.

Pokud před provedením příkazu **PASTE** provedeme příkaz **EDIT -načtení souboru, vytvoření nového souboru**, můžeme jednotlivé části schématu nebo plošného **spoje přenést do dalších výkresů**.

Skupina se kopíruje do výkresu s počátkem v tzn. referenčním bodě, který můžeme vytvořit kliknutím myši po vybrání povelu **CUT**. Referenční bod je označen kurzorem. Tím můžeme **kopírovanou skupinu přesně umístit**, což je důležité např. pro vytváření kumulů – viz dále. Jinak je referenční bod umístěn uprostřed kopírované skupiny.

Do vrstvy TPlace -21 doporučuji zakreslit případné drátové propojky a připojení přívodních vodičů, které pomocí příkazu **TEXT** v této vrstvě popíšeme.

**Do obrazce plošných spojů** (vrstva 16 nebo 1) **nikdy nezapoměňte doplnit identifikaci** (viz dále), i když budete desku kreslit sami. Zabráníte tak nejhoršímu možnému omylu: vyrobení desky zrcadlově (nápis na desce nesmí být napsán zrcalově). Pokud se tato chyba stane a zjistí se až po osazení součástek při jejím ožívování, zničí se přepólováním napájení všechny integrované obvody.

Při ukončení práce musíme změněný soubor **zapsat** příkazem **WRITE**. To samé doporučuji občas v průběhu práce. Program **uzavřeme** instrukcí **CLOSE** nebo **QUIT**.

### Nejdůležitější vrstvy

V programu EAGLE – Board máme k dispozici několik desítek vrstev, zde se zmíním jen o těch nejdůležitějších.

**Top**(1) horní strana – spoje

**Bottom** (16) spodní strana spoje

**Pads** (17) pájecí plošky s otvorem

**Vias** (18) prokovené otvory

Unrouted (19) vzdušné spoje

Dimension (20) rozměry desky

**t(b)Place**(21,22) součástky horní (spodní) strana

t(b) Origins (23, 24) výchozí bod pouzdra (křížek), za který se součástka chytá. Tato vrstva musí být aktivní při všech operacích se součástkami (MOVE, DELETE, atd)

**t(b) Names** (25, 26) t(b)Values (27, 28) jména a hodnoty součástek horní (spodní) strana

**t(b)Stop** (29, 30) nepájivá maska

**t(b)Cream** (31, 32) pájecí pasta – síto

t(b) Keepout zakázané oblasti pro součástky, t(b)Restric zakázaná oblast pro spoje

Miling frézování obrysu – výřezy v desce.

Vrstvy tPlace a tNames mohou být použity k potisku plošného spoje.

Vrstvy **Route 2 až Route 15** se používají pro vnitřní vrstvy spoje (viz dále vícevrstvé spoje).

Můžeme je samozřejmě využít pro tvorbu mechanických **výkresů navazujících na plošný spoj** – přední panel, zadní panel, krabičky, případně k zobrazení drátových propojek a přírodních kabelů, pokud nejsou nakresleny ve vrstvě 21.

### **Další instrukce programu EAGLE:**

**ARC** – kreslení oblouků

**ASSIGN** – přiřazení funkčních tlačítek. Přednastaveno je: F1 Help, F2 Překreslení obrazu, F3 Zvětšit 2x, F4 Zmenšit 2x, F5 Pozice kurzoru je nový střed, F6 Zapnout / Vypnout rastr F7 Move, F8 Split, F9 Undo, F10 Redo

**BUS** – Kreslí sběrnice ve schématu

**CIRCLE** – přidá kružnici. První kliknutí střed, druhé obvod, šířka čáry se nastaví pomocí CHANGE WITH

**DELETE** – mazání spojů a součástek. Součástku můžeme smazat pouze pokud přetím smažeme všechny spoje (i vzdušné) ve všech vrstvách, které s'jsou k ní připojené. Pokud jsou s tím problémy, doporučuji příkazem SIGNAL natáhnout vzdušný spoj k součástce a pak jej smazat.

**HOLE** - přidá neprokořený otvor

**MARK** – definuje bod, od kterého zobrazuje kurzor myši přesnou vzdálenost. Slouží k přesnému měření vzdáleností na desce.

**MIRROR** –zrcadlí objekty a skupiny (pravé tlačítko vybírá skupinu).

**OPEN** – otevře knihovnu pro editaci – vytváření nových součástek. K tomu se používají instrukce **PACKAGE** (definuje pouzdro součástky), **CONNECT** (definuje vzájemný vztah mezi vývody schématického symbolu a pájecími ploškami, **PAD** (přidá pájecí plošky s vrtanými otvory do pouzdra součástky), **SMD** přidá pájecí plošku do pouzdra SMD součástky. Nápis >NAME ve vrstvě NAME (25) umožní zobrazení jména editované součástky

**POLYGON** – kreslí plochy polygonem. Ten patří ke spojům a vztahuje se na něj kontrola obrazce spojů. Zemní obrazce, spoje přes které teče velký proud, apod. můžeme rovněž vytvořit příkazem WIRE, na který se ale kontrola nevztahuje.

**RATNEST** – zhodnotí všechny vzdušné spoje na desce a uspořádá je tak, aby měly co nejkratší délku. (Rozložení součástek ve schématu a na desce se liší.). Tento povel je vhodné provést vždy po vygenerování desky (BOARD) a po větším přesouvání součástek.

**RECT** – kreslí obdélník. Pokud je tento povel použit ve vrstvách t Restric nebo b Restric, potom definuje zakázanou oblast pro autorouter.

**REPLACE** – nahradí pouzdro součástky na desce jiným. Předtím musíme příslušnou knihovnu otevřít příkazem USE.

**RIPUP** – změni plošné spoje na vzdušné spoje. Tento povel se dá použít i na skupinu.

**ROTATE** – rotuje objekty a elementy

**INFO, SHOW** – zobrazí informaci o vybraném objektu.

SMASH oddělí text >NAME a>VALUE od elementů. Používá se k úpravě výkresu rozložení součástek, aby se texty a obrysy pouzder vzájemně nepřekrývaly. Příkaz se provádí při aktivní vrstvě t(b)Origins- 23, 24. Potom doporučuji tuto a další vrstvy (spoje) vypnout a příkazem MOVE texty srovnat (aby se už nehýbalo se spoji a se součástkami).

**SPLIT** – rozdělí čáry (spoje) a polygony na segmenty. Používá se protvarování již hotových plošných spojů.

**TEXT** – přidá text do výkresu. Příkazem CHANGE SIZE a CHANGE RATIO měníme výšku textu a šířku čáry textu. Pokud chceme napsat text, který je zaměnitelný za povel )např. U = Undo) musíme jej uzavřít do apostrofů nebo místo něj napsat text jiný a příkazem CHANGE TEXT jej změnit na správný.

**WINDOW** + jedno kliknutí – nový střed obrazu. Dvě kliknutí a ; definuje obdélník, který se zobrazí.

### Identifikace desek

**Na každé desce je nápis** vytvořený příkazem TEXT, kterým zabraňujeme jejímu zrcadlovému vyrobení a který desku označuje. Amatéri zpravidla označují desky názvem (zdroj, zesilovač). Z vlastní zkušenosti mohu ale říct, že tento způsob přestává být při větším počtu návrhů přehledný a může vést k omylům.

Pro firmy zabývající se touto činností je vhodnější označovat jednotlivé desky **kódem** (max. 8 písmen nebo číslic), ze kterého je zřejmé: která firma desku vyrobila (případně logo firmy), který konstruktér desku navrhl, do jakého zařízení (na jakou zakázku) je deska určena, o kolikátou verzi návrhu se jedná, jestli se jedná o desku základní nebo o kumul, kdy byla deska vyrobena, atd.

Tento **kód musí být na všech vygenerovaných vrstvách** (top, bottom, tStop, tCream, atd.) vně obrysu desky, u vrstvy top nebo bottom ještě navíc uvnitř obrysu (aby se deska dala identifikovat i po odstřížení). Kód desky by měl být zároveň totožný s názvem souboru desky.

### Generování výstupních souborů

Předlohu pro výrobu plošného spoje můžeme vytvořit dvojím způsobem:

a/ vytisknutím z laserové tiskárny na průhlednou folii

b/ vytisknutím z kvalitní (nejlépe laserové) tiskárny na papír a následné přefotografování na film. Předloha může být u malých desek pro lepší rozlišení vytisknuta zvětšeně a poté fotograficky zmenšena na správnou velikost (potom je třeba napsat měřítko nebo desku okótovat)

Obě výše uvedené metody jsou vhodné pro návrhy v nižších konstrukčních třídách (3), kde nepřesnosti vzniklé tiskem nejsou podstatné. Výhodou je nižší cena.

c/ pomocí fotoplotteru – dražší, přesnější, nutné pro návrhy vyšších konstrukčních tříd (4 a 5) kdy spoje procházejí mezi nožičkami integrovaných obvodů.

Ke generování výstupních souborů z programu EAGLE se používá CAM Procesor.

### Výroba plošného spoje

K zadání výroby je zapotřebí předloha (na průhledné folii) obrazce top, bottom, případně pro nepájivé masky a soubor dat pro automatické vrtání děr. Každá profesionálně vyráběná deska musí být opatřena **roh**y. Ty jsou zobrazeny ve všech vygenerovaných vrstvách. Slouží pro jejich správné sesazení při výrobě a pro správné odstřížení.

Zatímco při amatérské výrobě je **vrtání** poslední výrobní operací, u profesionální výroby je tomu naopak. Deska se nejprve pomocí souřadnicové vrtačky automaticky odvrtá. potom se galvanicky **pocínují** ty oblasti, kde má měď zůstat a prokoví se otvory. Cín chrání měď při **leptání** v zahlubovači a vytváří zároveň pájecí plošky. Nakonec se nanese **nepájivá maska**.

U desek s velmi malými vzájemnými vzdálenostmi spojů je postup trochu složitější. Po leptání se vrstva cínu sundá a nanese se nepájivá maska. Na závěr se provede pocínování kontaktních ploch.

Standartně se používají dvouvrstvé plošné spoje s prokovenými otvory, jejich cena je oproti jednostranným zhruba dvou až čtyřnásobná. U vysokofrekvenčních obvodů bývá spodní strana využita jako zem. **Vícevrstvé (4vrstvé) desky** se vyrábějí jako dvě dvouvrstvé, které jsou nakonec k sobě slepeny. Jejich výroba je mnohem náročnější. Tím je i vyšší cena a horší (u vnitřních vrstev nulová) opravitelnost. Vnitřní vrstvy se nejčastěji používají jako zem a napájení. Použití těchto desek má význam pouze tehdy, má-li úspora místa nejvyšší prioritu.

Výrobců plošných spojů je na našem trhu větší počet. Kvalita jejich práce i ceny se často výrazně liší. Podaří-li se konstruktérovi navrhnout desku v nižší třídě přesnosti (větší tloušťka spojů a jejich vzájemné vzdálenosti), je možné bez obav zadat výrobu desky i levnější firmě. Že deska nesmí být při ožívování zdrojem problémů a nesmí být příčinou závad za provozu zařízení je snad samozřejmé. U mnoha výrobců závisí cena na požadovaném termínu zhotovení, expresní příplatky cenu zakázky značně prodraží.

### **Osazování desky**

Při technologii SMT se na desku nejprve **nanese pájecí pasta s cínem**, která má lepivé účinky. Tato operace se provádí buď ručně („bobkování“) nebo přes kovové **síto**. Výroba síta se provádí rovněž podle podkladů z programu EAGLE (vrstva 31, soubor \*.sl). Je ale finančně náročná (cca 10 000 Kč) a vyplatí se pouze pro sériovou výrobu.

Osazování se při technologii SMT zpravidla provádí pomocí osazovacího automatu řízeného počítačem. **Přesnou polohu a orientaci součástek udává partlist** vygenerovaný z programu EAGLE.

Deska se potom zaletuje v pájecí peci při teplotě 270°C a omyje rozpouštědlem. Pak je připravena ke **kontrolě** a k **oživení**.

Na každé desce bývá několik **technologických otvorů** (nulový bod, otvor pro upevnění desky při zpracování), které při jejím návrhu vytvoříme dle požadavků výrobce.

Protože výroba malé i velké desky je zpravidla stejně pracná, účtují výrobci zákazníkovi určitou **minimální velikost desky** (1 až 2 dm<sup>2</sup>). Pro zákazníka je potom výhodnější si z nich vytvořit **kumul** – tzn složenou desku. Jednotlivé destičky jsou na něm umístěny těsně vedle sebe, nemají rohy. Na všech okrajích kumulu je asi 1 cm místa, kde jsou pomocné čáry pro stříhání nebo drážkování desky.

**Drážkováním** se na hranách destiček zeslabí cuprexit na tloušťku 0,3 mm. Celý kumul potom můžeme i **společně osadit** a nakonec **rozlámat** (hrany se musí začistit), což je jednodušší než osazovat každou desku samostatně. Šířka drážky je 0,6 mm, což je třeba vzít v úvahu při vytváření kumulu.

**Literatura:** Eagle v.3.55, Stručný český manuál, CADware sro, leden 1997, Hálkova 6, 461 17 Liberec, tel: 048 / 510 61 31, [www.cadsoft.de](http://www.cadsoft.de). (Na této adrese je také možné zdarma získat demo v erzi – 8 x 10 cm, dvě signální vrstvy, schéma jen jedna stránka)