

Konstrukce elektronických zařízení - návrh plošných spojů

Garant předmětu:
Prof. Ing. Kamil Vrba, CSc.

Autoři textu:
Ing. Jiří Mišurec, CSc.
Ing. Václav Zeman
Ing. Miroslav Štěpán

Obsah

1	ÚVOD	4
2	TECHNOLOGIE SPOJOVÁNÍ – DESKY PLOŠNÝCH SPOJŮ	4
3	TVORBA PŘEDLOHY A MATRICE	5
3.1	ZHOTOVENÍ MATRICE	7
3.2	DESKY S POKOVENÝMI PROPOJOVACÍMI OTVORY	8
3.3	VÝROBNÍ PODKLADY PRO TVORBU MATRICE	10
3.4	KONSTRUKČNÍ TŘÍDY PŘESNOSTI.....	14
3.5	FINÁLNÍ ÚPRAVY	17
3.5.1	<i>Formát výsledného rozměru</i>	<i>17</i>
3.5.2	<i>Sesazovací značky.....</i>	<i>17</i>
3.5.3	<i>Popisy desky plošného spoje</i>	<i>18</i>
3.5.4	<i>Příprava na pokovování</i>	<i>18</i>
3.6	SOUHRN NEJČASTĚJŠÍCH CHYB PŘI NÁVRHU DESEK PLOŠNÝCH SPOJŮ	19
4	POVRCHOVÁ MONTÁŽ.....	19
4.1	SOUČÁSTKY PRO POVRCHOVOU MONTÁŽ.....	20
4.1.1	<i>Pouzdra s metalizovanými ploškami</i>	<i>21</i>
4.1.2	<i>Pouzdra s páskovými vývody</i>	<i>21</i>
5	PÁJENÍ SOUČÁSTEK V ELEKTRONICE	23
5.1	PÁJENÝ SPOJ	23
5.2	ZAŘÍZENÍ PRO OSAZOVÁNÍ A PÁJENÍ TECHNIKOU POVRCHOVÉ MONTÁŽE.....	28
6	POČÍTAČOVĚ PODPOROVANÝ NÁVRH PLOŠNÝCH SPOJŮ.....	29
7	NÁVRHOVÝ SYSTÉM EAGLE 4	29
7.1	ZÁKLADNÍ VLASTNOSTI PROGRAMU	29
7.2	NEŽ ZAČNEME	30
7.3	VYTVOŘENÍ PROJEKTU	31
7.4	EDITOR SCHÉMAT	33
7.5	POSTUP KRESLENÍ SCHÉMAT	35
7.6	EDITOR DESKY.....	39
7.7	POSTUP NÁVRHU DESKY PŘI UŽITÍ SCHÉMATU.	40
7.8	EDITOR KNIHOVEN.....	43
8	NÁVRHOVÝ SYSTÉM EXPEDITION.....	47
8.1	OBEZNÁ PRAVIDLA NÁVRHU	47
8.2	LIBRARY MANAGER – EDITOR KNIHOVEN	49
8.2.1	<i>Library services</i>	<i>49</i>
8.2.2	<i>Symbols.....</i>	<i>50</i>
8.2.3	<i>Padstacks.....</i>	<i>51</i>
8.2.4	<i>Cells.....</i>	<i>52</i>
8.2.5	<i>Parts database.....</i>	<i>54</i>
8.3	DESIGN CAPTURE – EDITOR SCHÉMAT	56
8.3.1	<i>Jak začít?</i>	<i>56</i>
8.3.2	<i>Umísťování komponent a kreslení spojů</i>	<i>57</i>
8.3.3	<i>Kreslení spojů a sběrnic</i>	<i>58</i>

8.3.4	<i>Kreslení „hierarchických“ schémat.....</i>	<i>59</i>
8.3.5	<i>Ověření správnosti navrženého schématu:</i>	<i>60</i>
8.4	EXPEDITION PCB – EDITOR DESKY	61
8.4.1	<i>Jak začít?.....</i>	<i>61</i>
8.4.2	<i>Úprava vodivých vrstev a tvaru desky</i>	<i>62</i>
8.4.3	<i>Draw mód.....</i>	<i>62</i>
8.4.4	<i>Route mód</i>	<i>64</i>
8.4.5	<i>Place mód.....</i>	<i>64</i>

Seznam obrázků

OBR. 1: DEFINICE ROZMĚRŮ PLOŠEK A SPOJŮ	16
OBR. 2: PŘÍKLAD OŘEZOVÝCH ZNAČEK SE ZAMĚŘOVACÍM OTVOREM.....	17
OBR. 3: SESAZOVACÍ ZNAČKY	17
OBR. 4: PŘÍKLAD POPISŮ NA DESCE PLOŠNÝCH SPOJŮ	18
OBR. 5: PROPOJENÍ PRO GALVANICKÉ POKOVOVÁNÍ	19
OBR. 6: POUZDRO SMD A) REZISTORU, KAPACITORU, B) MELF	21
OBR. 7: TAHOVÉ A STŘIHOVÉ SÍLY SPOJE	24
OBR. 8: SMÁČITELNOST PÁJKY	25
OBR. 9: PODSTATA SMÁČIVOSTI	25
OBR. 10: PÁJENÝ SPOJ	27
OBR. 11: PÁJECÍ STANICE PRO SMT MONTÁŽ	28
OBR. 12: ZÁKLADNÍ OKNO PROGRAMU „CONTOL PANEL“	30
OBR. 13: OKNO EDITORU SCHÉMAT	33
OBR. 14: SCHÉMA VYTVOŘENÉ POMOCÍ EDITORU SCHÉMAT „SCHEMATIC“	39
OBR. 15: EDITOR DESKY „BOARD“	40
OBR. 16: PROGRAM LIBRARY MANAGER.....	49
OBR. 17: IMPORT POUZDER, SYMBOLŮ A KOMPLETNÍCH SOUČÁSTEK DO UŽIVATELSKÉ KNIHOVNY	50
OBR. 18: EDITOR PADSTACKŮ.....	52
OBR. 19: EDITOR PADSTACKŮ.....	53
OBR. 20: EDITOR POUZDER SOUČÁSTEK.....	54
OBR. 21: MAPOVÁNÍ PINŮ.....	55
OBR. 22: PROGRAM DESIGN CAPTURE	56
OBR. 23: VÝBĚR KNIHOVNY V REŽIMU SYMBOL	58
OBR. 24: VÝBĚR KNIHOVNY V REŽIMU SYMBOL	59
OBR. 25: VÝBĚR KNIHOVNY V REŽIMU SYMBOL	60
OBR. 26: KOMPILACE SCHÉMATU DO EXPEDITION PCB	61
OBR. 27: DEFINICE VRSTEV DESKY	62
OBR. 28: DEFINICE TVARU A VELIKOSTI DESKY	63
OBR. 29: UKÁZKA ROZMÍSTĚNÍ PÁJECÍCH PLOŠEK NEBO DĚR NA DESCE.....	64
OBR. 30: ROZMÍSTĚOVÁNÍ SOUČÁSTEK NA DESCE	65
OBR. 31: VYTVÁŘENÍ „FANOUTŮ“	65

1 Úvod

Předložený učební text je studijní pomůcka pro výuku předmětu „Konstrukce elektronických zařízení“. Věříme, že tato učební pomůcka Vám pomůže překonat některá úskalí práce při návrhu plošných spojů a bude dobrým průvodcem a rádcem při studiu. Skripta jsou napsána tak, aby i ti z Vás kteří s touto oblastí nemají žádné zkušenosti výuku zvládli

Učební text je rozdělen do několika tématických okruhů, které jsou postupně zaměřeny na to, co je potřeba znát pro návrh plošných spojů. I když je text zaměřen především na počítačový návrh, je třeba mít stále na paměti to, co vlastní program zpravidla nedokáže zajistit. Návrh plošných spojů vyžaduje komplexní pohled a dá se říci, že je k tomuto problému nutno přistupovat se znalostí v těchto oblastech:

- technologie výroby plošných spojů,
- osazování a pájení,
- obvodové funkce součástek,
- teorie elektromagnetického pole,
- sortiment součástek a konstrukčních prvků,
- průmyslový design a estetika.

V této souvislosti je třeba upozornit na to, že návrh plošných spojů je záležitostí především dlouhodobé praxe a nelze jej zúžit jen na znalost počítačového návrhového programu. Návrhář plošných spojů vlastně převádí výsledky „obvodářů“ do průmyslové praxe, zaměřené na sériovou výrobu, kde se musí zohlednit i řada dalších aspektů, které již ovlivňují samotný návrh plošného spoje.

Věříme že tato skripta budou pro Vás přínosem v dalším studiu. Své dotazy a připomínky adresujte autorům skript nebo vyučujícím předmětu Konstrukce elektronických zařízení. Hodně úspěchů přeje kolektiv autorů.

2 Technologie spojování – desky plošných spojů

Vývoj vzájemného spojování elektronických součástek jde v celé historii elektroniky souběžně s jejich modernizací. V začátcích radiotechniky byly vývody součástek řešeny jako připojovací šroubky s maticemi, pod které se přitahoval propojovací drát. To si vyžadovalo značnou rozměrnost součástek. Propojovací vodiče byly vedeny v pravoúhlých obrazcích. Při správné činnosti přístroje to svědčilo o mistrovství odborníka. Později se přecházelo na pájecí očka pod šroubky, což záhy vedlo ke drátovým, pájením spojovaným, vývodům. Tím se mohly začít zmenšovat rozměry součástek. Vzájemné propojování sice ještě zůstalo drátové, ale již ve třicátých letech se objevují první pokusy o jiné způsoby propojování na pevné podložce. Vznikají první vodivé laky, kterými se na izolační podložce vytvářejí spoje. Různí výrobci se začínají pokoušet o galvanické pokovování či lepení ražených fólií. Začátkem čtyřicátých let se objevují první praktické pokusy realizace amerického patentu z r.1925 na odleptávání spojů. Výrobní technologie je však drahá, takže vše je na několik let určeno jen pro laboratorní a pokusné podmínky. Teprve vývoj nových materiálů a výrobních postupů

umožnil koncem téhož desetiletí techniku odleptávání plošných spojů rozšířit. V padesátých letech se začíná již úspěšně probojovávat na první místo ve spojování elektronických prvků. Nové výrobní technologie materiálů pro součástky umožnily jejich další miniaturizaci a integraci. Vznikají první hybridní obvody, kde již vývody a jejich upevnění nejen na součástce, ale i na desce s plošnými spoji začíná činit potíže.

Koncem šedesátých let přichází firma Philips s prvními součástkami s bezdrátovými vývody. Zahajuje tak novou éru - technologii povrchové montáže součástek, u které již vývody tvoří jen boční stěny součástky, která se pak vpájí na desku ze strany spojů. V počátcích rozvoje desek s plošnými spoji se měděná fólie lepila na tvrzený papír nebo textil, nějaký čas se používal převážně pertinax. Později, s rozvojem umělých pryskyřic, se pozvolna začalo přecházet na sklolamináty se zalaminovanou měděnou fólií. Dnes se vyrábí pro různá použití značné množství různých podkladových materiálů, které se od sebe liší hlavně v použití pro kmitočtově závislé obvody, kde významnou roli hraje kapacitní vodivost této podložky. Pro velmi vysoké kmitočty řádu GHz se používají teflonové lamináty (duroid) s příměsemi dále zvyšujícími jakost podložky. U nás se první pokusy s plošnými spoji objevují v roce 1957. Hromadnější výroba však nastává až na počátku šedesátých let s fólií lepenou na pertinaxové podložce (cuprexcart). Brzy se však přechází na epoxidový laminát (cuprexit). Tyto izolační podložky se vyrábějí od tloušťky asi 0,1 mm pro speciální použití, až po několikamilimetrové, sloužící zároveň jako nosná deska k upevnění těžších součástek (transformátory, tlumivky, relé apod.). Měděné fólie mají tloušťku od 5 μm i více pro mikromodulové obvody i méně, do 105 μm i více pro obvody s větší proudovou zatížitelností. Při vlastní výrobě spojového obrazce z měděné fólie se nejčastěji používá metoda vykrytí, kdy se část fólie, která má být na desce zachována, vhodným způsobem zakryje, aby k mědi nepronikla leptací lázeň, do které se celá deska vloží. Po odleptání nepotřebné mědi se deska očistí a případně pokryje pájecím lakem. Přesné vykrytí měděné fólie obrazcem spojů umožňuje vhodná maska. K výrobě desky s plošnými spoji je tedy potřeba, kromě vlastní desky s plátovanou mědí a vhodných pomůcek k jejímu leptání i návrh, kresba a výroba vykrývací masky - obrazce spojů, předlohy, které mají být v měděné fólii vyleptány. Předlohou se rozumí přesný výkres všech spojů a pájecích bodů realizovaný dříve na bílém papíře, později na planfilmu, či jiném vhodném materiálu, který se vhodným způsobem přenese na měděnou fólii. Dnes k přenosu obrazce spojů používá laserový paprsek. Odpadá tak mezičlánek vykresleného obrazce.

3 Tvorba předlohy a matrice

Zhotovení předlohy

Předloha slouží jako podklad pro tvorbu transparentní matrice, která se použije jako předloha pro výrobu desek s plošnými spoji, lze zhotovit různými způsoby. U nejjednoduššího způsobu se může vodivý obrazce kreslit na jakýkoli vhodný základní materiál a použít přímo jako matrice. Je třeba připomenout, že obrazec je třeba kreslit zrcadlově, má-li být ve styku s maskovacím materiálem. Při zanedbání tohoto pravidla vyjdou plošné vodiče a pájecí plošky mnohem širší nebo užší (podle způsobu přenášení obrazce), mimo jakékoliv uvažované tolerance. Desky určené pro montáž integrovaných obvodů vyžadují mnohem vyššího stupně přesnosti, než se dá docílit kreslením matrice, a složitost vodivých obrazců potřebuje jednodušší metodu vytváření obrysů pájecích plošek a plošných vodičů. Obvyklou metodou zhotovování matic pro výrobu takových desek je vytvoření předlohy s kresbou vodivého obrazce ve dvoj- nebo čtyřnásobném zvětšení a potom její zmenšení fotografickou cestou na matrice v měřítku 1:1. Vedle zvětšení přesnosti má tento

postup přednost v tom, že lze matrice zhotovovat jako pozitivy nebo negativy s fotografickou emulzí na požadované straně. U prvních plošných spojů se kladl největší důraz na rozluštění všech spojů v elektrických schématech a na získání vodivého obrazce, na němž se nekřížily žádné vodivé spoje. Izolační mezery a tolerance se sotva braly v úvahu. desky pro montáž integrovaných obvodů vyžadují zcela odlišný přístup. Již necelé tři setiny milimetru (0,001") se mohou projevit jako kritické. Při požadavku na složitost spojů je třeba buďto přijmout takový systém návrhu rozmístění součástek a kresby vodivého obrazce, který poskytuje užitečné výsledky, anebo je nutné určovat polohu pouzder a drah plošných vodičů pomocí počítače. Vytvoření kresby vodivého obrazce je třeba považovat za druh vysoce přesné inženýrské práce.

Ekonomie počítačového návrhu vodivého obrazce vyžaduje pečlivou úvahu. Rozvrh spojů velmi pomůže při procesu logického návrhu, ale jeho úplné sestavení je náročné na čas. Použijeme-li úplný soubor programů pro přezkoušení funkční správnosti obvodu, pro zhotovení řídicích pásek testovacích zařízení desek atd., pro vypracování konfigurace pouzder na desce, potom pro návrh vodivého obrazce a nakonec pro číslicově řízené strojní zařízení, tehdy bude automatizace opodstatněná. Jestliže se však provádí jenom návrh vodivého obrazce, je důvod domnívat se, že zde se automatizace nevyplatí. Použití automatického souřadnicového zapisovače k přímému zhotovení předloh do značné míry opodstatňuje použití programu pro návrh vodivého obrazce. Jestliže se však kresba obrazce vytváří ručně pomocí samolepicích pásek podle návrhu vypracovaného počítačem, budou náklady na vypracování programů sotva opodstatněné. Je nutné si uvědomit, že i když celý proces bude automatizován, návrhy vodivého obrazce budou dražší než ručně vytvořená kresba vodivého obrazce, avšak s velkou úsporou času a se značnou přesností. Použití programu, který může navrhnout pouze jednoduché dráhy plošných vodičů, má velmi pochybnou hodnotu. Je to zpravidla posledních několik obtížných drah plošných vodičů, kdy nejspíše vzniknou chyby. Minimum, na které je žádoucí se zaměřit, je program, s nímž počítač může vypracovat vodivý obrazec s pomocí operátora. Hlavním úkolem počítače potom je zajistit, aby nedošlo k žádným omylům spíše než plánovat dráhy plošných vodičů.

Vhodným rozmístěním obvodů dosáhneme poměrně efektivního využití místa. Při rozdělení zapojení na několik obvodů jsou větší potíže s upevňováním desek a může dojít např. k nežádoucím vazbám při propojování jednotlivých destiček mezi sebou. Na druhé straně se zapojení snáze uvádí do chodu, protože je možné předem nastavit jednotlivé části, při dodatečných úpravách nebo změnách stačí vyměnit jedinou destičku a ostatní ponechat, mnohdy se podaří lépe využít prostoru, který je k dispozici (především tehdy, je-li prostor rozdělen většími mechanickými součástkami nebo díly, např. transformátory, obrazovkou, přepínači apod.). Při návrhu menších destiček se vyskytne mnohem méně problémů a návrh je rychlejší. V neposlední řadě je na místě i úvaha, zda nějakou část konstruovaného zařízení (nf zesilovač, zdroj apod.) nebudeme potřebovat v budoucnosti znovu - potom je výhodné umístit ji na samostatnou destičku a příště si ušetříme práci s návrhem. U složitějšího zapojení je výhodné udělat si návrh rozložení součástek a jejich zevrubné propojení v měřítku 1:1. Taková skica kreslená z pohledu na součástky usnadní volbu velikosti desky, konečné rozložení součástek a hlavně kresbu budoucí předlohy. Při rozmisťování součástek je nutné dbát, kromě již uvedených požadavků i následujících zásad, aby : - cesta signálu, ať nízkofrekvenčního nebo vysokofrekvenčního, byla vždy co nejkratší - součástky, na nichž je např. zesilovaný signál, nebyly blízko u zdrojů možných rušivých napětí, jako jsou transformátory, tlumivky, kontakty apod. - polovodičové součástky a ostatní součástky citlivé na teplotu byly co nejdále od zdrojů tepla - cívky a keramické kondenzátory laděných obvodů, jejichž parametry také většinou závisí na teplotě, byly od tepelných zdrojů co nejdále - výstup a vstup jednoho stupně nebyl příliš blízko sebe a aby tím nedocházelo k nežádoucím vazbám -

spoje, které mezi jednotlivými součástkami povedou, byly co nejkratší a aby se pokud možno nekřížily - vývody z destičky byly umístěny v takovém místě, aby napojení na zdroj a případné další destičky nebo součástky bylo co nejkratší.

Společný pól zdroje - většinou záporný (zemní) - se snažíme vést tak, aby procházel mezi místy, mezi nimiž by neměla vzniknout nežádoucí vazba. Pokud se na destičce vyskytnou spoje, přenášející větší napětí, zvětšíme izolační mezeru mezi těmito spoji a ostatními okolními plochami a snažíme se, aby spoje byly co nejkratší. Stejně tak dbáme, aby spoje přenášející signály nízké úrovně měly co nejmenší plochu, aby se omezila možnost indukovaní rušivých napětí a poruch. Platí to i u soustavy dělicích čar, kde by plocha, omezená dělicími čarami, měla být v těchto případech co nejmenší. Je dobře vyhnout se souběžnému vedení dvou nebo několika rovnoběžných spojů, pokud jimi protéká střídavý proud (je to možné u napájecích přívodů stejnosměrného napětí). Je-li to nevyhnutelné, protáhneme mezi nimi alespoň jeden spoj, spojený se společným polem zdroje.

3.1 Zhotovení matrice

Matrice je přesný obraz požadovaných spojů v poměru 1:1 z předlohy nakreslené v takovém měřítku, které je pro kreslení výhodné. Před jejím vyrobením musíme uvážit, zda budeme celé zapojení realizovat na jedné, třeba i větší desce s plošnými spoji, nebo je rozdělíme na několik částí, z nichž každá bude mít vlastní destičku s plošnými spoji. Oba způsoby mají své výhody a nevýhody. Při konstrukci na jedinou desku jsou všechny obvody vůči sobě trvale ve stejné poloze, celek je mechanicky pevnější, jednodušeji se upevňuje do skříňky či pouzdra.

Zhotovení matrice fotocestou

Umožňuje nám věrně přenést celou předlohu s vysokou kvalitou zobrazení. Fotografický přenos spočívá v exponování světlocitlivé vrstvy nanesené na měděnou folii desky přes kresbu předlohy. Expozice může být buď kontaktní, je-li předloha v měřítku 1:1 nebo ofotografováním a osvitěním přes zvětšovací přístroj.

Kamery používané pro zmenšování jsou vysoce specializované přístroje, které musí zmenšovat s přesností větší než 0,025 mm na 0,5 mm a navíc bez kulové vady nebo odchylky rovnoběžek na celé pracovní ploše. Objektiv kamery musí být tak nastavitelný, aby bylo možné kompenzovat jakékoli smrštnění nebo roztažení předlohy. Na předloze by mělo být uvedeno redukční měřítko, které lze porovnat s přesnými standardy při nastavování kamery. Tyto kamery musí být velké, aby se daly použít u předloh s rozměry okolo 1,5 m x 1 m. V obvyklém uspořádání jde o masivní horizontální lože s kolejničkami umožňujícími pohyb různých částí kamery. Předloha je zpravidla přichycena podtlakem na svislou skleněnou desku a může být osvětlována buď zepředu nebo zezadu. některé firmy mají zabudované kamery s objektivem ve stěně mezi dvěma místnostmi, takže s exponovanými deskami lze pracovat v temné místnosti, zatímco další předloha se nastavuje do kamery. Zadní část kamery je vybavena obvyklou maticí a všechny části kamery mají zařízení umožňující jemné nastavování. Jedna specializovaná fotografická firma má k dispozici zmenšovací kameru s vertikální osou a otočnou výměnnou hlavou umožňující čtyři různá zmenšení. toto zařízení usnadňuje nastavování, zejména na umístění a uchycení předlohy.

Matrice z počítače

V současné době se realizují návrhy předloh sestrojené počítačem podle zadaných parametrů elektronického obvodu a jejich přenesení pomocí plotteru /elektronický kreslící

přístroj/ s vhodným unášecem krycí barvy na měděnou folii. Základem těchto systémů je rozsáhlý program „Layout“, který obsahuje specializovaný grafický editor umožňující nejen tvorbu, ale i různé obměny obrazce plošných spojů nebo jeho výřezu pomocí instrukcí o požadavcích na rozteče, vzdálenosti, šířky spojů a další, včetně typů pájecích bodů, hustoty čar, či použití jiné součástky. Po konečném strojovém porovnání se schématem a vizuální kontrolou na obrazovce monitoru počítače se předloha přenesení plotterem přímo jako vykrývací maska na měděnou folii. Hustota čar takového obrazce spojů je pak již velmi vysoká.

3.2 Desky s pokovenými propojovacími otvory

Desky s pokovenými propojovacími otvory vyžadují zcela odlišný výrobní postup. Při pokovování plošných kontaktů u jednoduchých desek zlatem je třeba ponechat plošný vodič vně plochy výsledné desky. Tento vodič se použije pro vodivé spojení všech plošných kontaktů při pokovování, které následuje po leptání obrazce. Je zřejmé, že by nebylo praktické zavádět vhodné propojení ke každému plošnému vodiči a propojovacímu otvoru v desce. Z tohoto důvodu bývají otvory vrtány a pokovovány před leptáním vodivého obrazce. Další podstatný rozdíl mezi výrobou jednoduchých desek a desek s pokovenými propojovacími otvory vystupuje do popředí proto, že zatímco použití fotorezistu je postačující pro vytváření leptuvzdorné masky u jednoduchých desek, není tak jednoduché zaručit neporušenost vrstvy rezistu u všech pokovovaných otvorů. Proto se používá postup, při němž se ponechá rezist na těch plochách mědi, která se má odstranit leptáním a zlatem nebo cínem se pokovují všechny plošné vodiče a vnitřní povrchy otvorů a tento ochranný kovový povlak se využije jako leptuvzdorná maska. Pozitivní rezist i sítotiskové postupy se s úspěchem používají při výrobě desek s pokovenými propojovacími otvory, avšak v současné době většina výrobních postupů využívá jako rezistu zlacení nebo cínování. Při pokovování propojovacích otvorů ukládá se měď zároveň také na povrchu desky, takže plošné vodiče u desek s pokovenými propojovacími otvory mají podstatně větší tloušťku než u jednoduchých desek.

Vrtání otvorů

U desek s pokovenými propojovacími otvory nelze použít při vyvrtávání otvorů ručního nastavování, neboť na desce není k dispozici žádný leptaný obrazec. Je proto třeba použít vrtání podle šablony nebo na děrnou páskou řízených vrtačkách, eventuálně na souřadnicových vrtačkách. Nejjednodušší formou šablony pro vrtání může být jednovrstvá deska s leptaným obrazcem a vrtaná normálním způsobem ručním nastavováním. Taková deska se umístí na tři až čtyři na sobě naskládané desky určené k vrtání otvorů, všechny se pečlivě srovnají pomocí čepů a podle této šablony najednou vrtají. Šablona má velmi krátkou životnost a není zvlášť přesná. Obvyklou metodou vrtání desek s pokovenými propojovacími otvory je použití obrácené vrtačky. Tato vrtačka má rovný stůl a vrták vystupuje vzhůru otvorem ve středu stolu. Vrtanou desku přichytíme ke stolu a polohu otvorů vyhledáme pomocí šablony nebo optické hlavy. Potom desku pevně přitlačíme ke stolu svěrkou a můžeme vrták vysunout a provrtat desku. tyto vrtačky mají extrémně vysoké obrátky a u mnoha typů se používají vzduchové turbíny a vzduchová ložiska na vřetenech tak, že se vrták volně otáčí kolem své osy a může vyříznout rovný a čistý otvor. Používají se krátké, tuhé, karbidové vrtáky se stopkou o větším průměru upínanou ve speciálním sklíčidle. Při použití optické hlavy se jedna strana desky potiskne barevně obrazcem podle výchozí matrice. V optické hlavě se zobrazuje část povrchu desky, v níž se má vyvrtat otvor, s nitkovým

křížem a soustřednými kruhy. Pájecí plošku lze lehce umístit do středu nitkového kříže, potom se deska přichytí a vyvrtá otvor.

Šablony pro vrtání

Šablony používané k vrtání otvorů na těchto strojích jsou obvykle vyrobeny z akrylikové desky o tloušťce okolo 8 mm. Mají lícovací otvory k sesazení s deskou, v níž se mají vyvrtávat otvory, a s matricemi. Šablona se potiskne obrazcem výše zmíněným způsobem a vyvrtají se v ní otvory s použitím optické hlavy. Speciálním vrtákem používaným pro výrobu šablon se vytvoří záпустky nebo důlky o přesné hloubce. Šablona se umístí na svazek desek, optická hlava se zamění za kopírovací hlavu, která je opatřena kopírovacím hrotem s pružinovým mechanismem. Tento hrot zapadá do důlků na vrchní straně šablony, a dokud není správně umístěn v důlku, nelze vrtat otvor. Tyto přesné stroje vyžadují velmi pečlivé seřizování. Jsou-li správně seřizeny, pracují s vysokou přesností. Jejich zřejmou nevýhodou je, že nemohou umístit otvor o nic přesněji, než je umístěna pájecí ploška na matici desky. Je-li soustřednost otvoru uvnitř pájecí plošky nejdůležitějším kritériem, bude tento způsob vyvrtávání otvorů s pomocí šablony pravděpodobně nejlepší použitelnou metodou. Je-li však přesnost umístění otvoru důležitější než soustřednost uvnitř pájecí plošky, potom jedinou uspokojivou metodou je použití páskou řízeného stroje. Tento stroj poskytuje nejen nejvyšší dosažitelnou přesnost, ale nemůže opomenout některý otvor, jak se někdy stává při vyvrtávání otvorů s pomocí šablony. Je třeba poznamenat, že zmínka o ručním nastavování při vrtání otvorů a o přesném vrtání jako součásti výroby desek s pokovenými propojovacími otvory byla uvedena v souvislosti s výrobou jednoduchých desek jen z toho důvodu, že u těchto výrobních postupů jsou tyto způsoby vrtání používány nejčastěji. Jednoduché desky se mohou vyvrtávat na přesných strojích s použitím šablony a desky s pokovenými propojovacími otvory s velkými přípustnými tolerancemi se mohou vrtat s pomocí dosti hrubých vodičků a šablon. Je však třeba připomenout, že do desek s pokovenými propojovacími otvory ze základních materiálů na bázi epoxidových pryskyřic ztužených skelnou tkaninou otvory vyrážet nelze, neboť při tomto postupu není povrch otvoru čistý a jeho stěny nejsou rovnoběžné. Dobrá kvalita pokovení otvorů je jednoznačně vyloučena u otvorů se špatným povrchem. Při použití kteréhokoli způsobu vrtání otvorů je především nutné rozstříhat materiál desek na vhodné rozměry a potom vyvrtat nebo vyrazit otvory pro používaný lícovací systém. Povrch desky se očistí a po vyvrtání otvorů a začištění se deska opět důkladně očistí buď otíráním, nebo proudem stlačeného vzduchu, eventuálně i chemicky.

Propojky

Elektrické provedení mezi oběma stranami dvouvrstvé desky způsobem, který by byl jednoduchý a levný a odolával vibracím, termálním sklonům, a velkým změnám vlhkosti. Výrobcům se však podařilo zdokonalit technologii pokovení otvorů mědí. Tento proces spočívající v pokovení izolačních materiálů byl známý. Zvládnutí technologie pokoveného otvoru pro použití všech možností vícevrstevných desek

Průměr pokovených propojovacích otvorů

Většina výrobců desek s plošnými spoji doporučuje, aby průměr propojovacích otvorů, které mají být pokoveny, byl rovný nebo větší než polovina tloušťky desky. Obvyklé postupy však dávají uspokojivé výsledky i u otvorů s průměry rovnými jedné třetině tloušťky desky.

Tloušťka pokovení

Jednou z otázek jež je předmětem zájmu jak projektantů, tak výrobců je tloušťka vrstvy pokovení propojovacího otvoru potřebná k zajištění spolehlivosti. Zdá se, že u malých otvorů

je přijatelná jak pro uživatele tak pro výrobce desky tloušťka 0,025 mm /0,001"/ mědi na vnitřním povrchu propojovacího otvoru. Ve srovnání s tloušťkou plošných vodičů na povrchu desky je tato vrstva přiměřená a dostatečně pevná z hlediska potřebné spolehlivosti. U otvorů o průměru 1,27 mm (0,050") a větších se všeobecně doporučuje vrstva 0,038 mm (0,0015"). U desek, které mají být použity k zařízení podle vládních nebo vojenských požadavků, může dojít k modifikaci uvedených údajů. Tloušťka vrstvy měděného povlaku na laminátovém základním materiálu desky se někdy udává též váhou měděného povlaku na jednotku povrchu, nejčastěji používanými tloušťkami je jednouncová (0,035 mm tj. 0,0013") a dvouuncová (0,070 mm tj. 0,0027").

Pokovování propojovacích otvorů

Další fází výrobního procesu je pokovování propojovacích otvorů. Je to náročný proces, u něhož je nezbytná čistota, kontrola teploty a stálé sledování stavu používaných roztoků. V prvním kroku se opatří povrch desky i otvorů velmi jemným povlakem z palladia. K tomu se použije vhodného roztoku, stejně jako u následujícího kroku, kterým je chemické nanášení velmi tenkého měděného povlaku, který stačí k vytvoření dobře vodivé vrstvy na celém povrchu desky i uvnitř otvorů. Při přemísťování pokovovaných desek z jedné aktivní lázně do druhé procházejí desky důkladným očišťovacím procesem, při němž se odstraní všechny možné formy znečištění a vyloučí přenos chemikálií mezi jednotlivými lázněmi. Většina výrobců používá dlouhé postupné linky z pokovovacích, čistících a omývacích lázní. Po skončení chemického procesu pokovování a dalším očištění jsou desky elektrolyticky pokoveny mědí.

Pokovování

Pokovování slitinou cínu s olovem je nahrazováno pokovováním zlatem nebo mědí.

3.3 Výrobní podklady pro tvorbu matrice

Pro výrobu desek plošných spojů se v současné době používají nesledující technické podklady. Co která výrobní firma používá, je dáno především technologickým vybavením. Při tvorbě podkladů je proto nutné již vědět, jaké zařízení bude použito pro výrobu a tomu přizpůsobit dodané podklady.

- výtisk na papíře - nutný maximální kontrast (pouze pro neprokovené desky a méně přesné oboustranné).
- technický film - nejlépe pozitiv i negativ. Označit orientaci spojů. Filmy pro prokovené desky nesmí mít dírky v ploškách, pro neprokovené desky vrtané ručně jsou vhodné.
- elektronická data - ve formátech požadovaných výrobcem, např.
 - Gerber + D – kódová tabulka se specifikací použitých clonek.. Typy clonek jsou kruh, ovál, osmiúhelník, čtverec a obdélník. Zpravidla je nutný je i kontrolní výtisk.
 - TIFF v požadovaném rozlišení (dpi) nebo jako náhled pro kontrolu obrazce. Zpravidla nelze vrtat na CNC a vyrobit prokovené DPS.
 - U podkladů z návrhových systémů je nutné označit použité vrstvy pro výrobu.

Podklady pro vrtání :

- výtisk na papíře - obrazec spojů s označením různých průměrů děr na desce.
- elektronická data - pro CNC vrtačku v textovém formátu Excellon v jakémkoli nastavení + tabulku průměrů vrtáků, případně i Merona či Sieb a Mayer. Uvedený průměr se vždy bere jako průměr výsledného otvoru.

Formát podkladů :***Pro překreslení (digitalizaci) :***

Návrh desky na rastrovaném papíře, nejlépe barevně, měřítko 1:1.

Pro servisní potisk :

Formát dat jako obrazec spojů. Síla čar pro potisk min. 0,15 mm pro fotocestu, min. 0,3 mm pro sítotisk

Pro nepájivou masku :

Formát dat jako obrazec spojů. Průměr plošek maskou nezakrytých by měl být o cca 0,25 mm větší než je průměr pájecích plošek. Je vhodné provést orámování plošného spoje čarou asi 1 - 2 mm kvůli štípání masky.

Pro karbonový lak :

Pozitivní obrazec plošek, které mají být zakryté karbonovým lakem. Je potřeba technologické okolí souhlasné s okolím obrazce spojů.

Příprava přířezu a technologické okolí :

Obrys desky by měl být ohraničen pouze rohovými kříži nebo tenkou linkou. V rozích nulové a maximální pozice je vhodné definovat do středu rohové značky vrták samostatného průměru, který definuje velikost dps při CNC vrtání.

Frézování CNC:

Okótovaný výkres opracování tvaru s pozicemi začínající na 0,0. Do příslušných vrtacích dat je nutné doplnit vrtací značky minimální a maximální frézované pozice. Průměr vrtáku libovolný, nebude se vrtat. Používané frézy jsou průměru 1,6 a 3,2 mm.

Příprava motivu pro drážkování :

Mimo obrys drážkovaného motivu (v rozích) musí být 3 svrtávací otvory

Příprava plošného spoje pro zlacení přímých konektorů :

Přímý konektor je galvanicky pokoven cca 8 um niklu a poté cca 4 um zlata. Je nutné vyvést přímé konektory za okraj desky, tam je všechny propojit a za obvodem DPS vyvést mimo obvod DPS nahoru.

Používaný materiál:**Umatext :**

norma FR 4. Určení pro nejnáročnější aplikace DPS. Nosným materiálem je několik vrstev skelné rohože pojené skelnou pryskyřicí, plátovaný elektrolyticky vyloučenou mědí čistoty 99,8 %. Je vhodný pro frézování, drážkování, prokovené otvory, HAL, frekvence až 4 GHz. Tepelná odolnost až 125 stupňů a je samozhášivý do 10 sec.

Gumon :

norma G 10. Určení pro jednodušší desky, vzorky, prototypy. Nosným materiálem je několik vrstev skelné rohože pojené skelnou pryskyřicí, plátovaný elektrolyticky vyloučenou mědí čistoty 99,8 %. Není vhodný do náročnějších procesů, nevhodný pro prokovené desky a vyšší frekvence a není samozhášivý.

Umaclad :

norma FR 2. Určení pro jednodušší desky komerčního charakteru. Nosným materiálem je několik vrstev celuzového papíru pojeného fenolickou pryskyřicí, plátovaný elektrolyticky vyloučenou mědí čistoty 99,8 %. Není vhodný do vyšších teplot, nevhodný pro prokovené desky, těžké mechanické díly a vyšší frekvence.

CEM 1 :

norma CEM 1. Určení pro i pro složitější desky komerčního charakteru. Nosným materiálem je několik vrstev celuzového papíru pojeného fenolickou pryskyřicí pro vnitřní vrstvy a ze dvou vnějších stran potažen skelnou rohoží normy FR 4, na které je plátovaná elektrolyticky vyloučená měď čistoty 99,8 %. Je vhodný na drážkování a lisování, není vhodný pro prokovené otvory.

Tloušťka laminátu :

Zpravidla se používají tloušťky 0,2 mm, 0,4 mm, 0,8 mm, 1,0 mm, 1,5 mm, 2,0 mm, 3,0 mm. Běžné je použití 1,5 mm

Tloušťka mědi :

Zpravidla 35 μm , používá se 18, 35, 70 a 105 μm .

Typy montáží

Před vlastním návrhem je třeba se rozhodnout, jaký typ montáže bude na desce použit. Rozdělit typy montáží lze na klasickou, SMD a smíšenou montáž. Klasická montáž zahrnuje osazení klasických součástek s drátovými vývody, většinou z jedné strany DPS (strany součástek). SMD montáž zahrnuje osazení SMD součástek, které mohou být u vícevrstevných desek osazeny z obou stran. Smíšená montáž zahrnuje osazení jak klasických, tak SMD součástek na jedné desce. V praxi se doporučuje navrhovat DPS tak, aby u vícevrstevných desek SMD součástky byly umístěny na straně spojů 1 a klasické součástky na straně součástek 2. Umisťovat součástky obou typů na jednu stranu desky je nevhodné, při výrobě nastávají problémy (pájecí plošky klasických součástek se před pájením vlnou musejí zamaskovat a po zapájení SMD teprve osadit klasické součástky).

Rozměry výsledných desek

Maximální rozměry výsledných desek jsou 400 mm x 500 mm. Větší rozměry desek je nutno projednat s výrobcem stejně, jako sdružování mnohonásobného obrazce do motivů a opracování DPS na konečný tvar. Pokud nebude schopen výrobce zabezpečit konečný tvar, budou DPS vyrobené v hrubých obrysech.

Označování vrstev DPS, předloh a matic

Jednotlivé vrstvy se označují číslicemi nebo písmeny. Jednovrstvé DPS mají plátovanou pouze stranu pájení, která se označuje vždy číslem 1 nebo písmenem A, u

dvouvrstevných DPS se strana pájení označuje 1 nebo A a strana součástek 2 nebo B. Každá strana DPS musí být označena. Na straně pájení musí být vyznačeno:

- 1) výkresové číslo nebo název,
- 2) označení vrstvy,
- 3) změnová koncovka strany,
- 4) může být měděná ploška min. 3 x 15 mm pro evidenční číslo výrobce.

Na straně součástek musí být vyznačeno:

- 1) výkresové číslo nebo název,
- 2) označení vrstvy,
- 3) změnová koncovka strany,
- 4) může být měděná ploška min. 3 x 15 mm pro evidenční číslo výrobce.

Změnová koncovka strany a měděná ploška pro evidenční číslo mohou být vynechány.

PŘÍKLADY:

00100/1-00 kde 00100 je výkr. číslo, 1 za lomítkem je označení vrstvy a 00 za pomlčkou je změnová koncovka alternativně 00100/A-00 nebo název/1-00 nebo název/B-00 a podobně. Označení matrice nepájivé masky a otvorů. Nepájivá maska se označuje písmenem R a matrice otvorů písmenem S. Na matricích musí být vyznačeno:

- 1) výkresové číslo nebo název,
- 2) označení vrstvy,
- 3) změnová koncovka strany.

PŘÍKLAD:

00100/1R-00 nebo název/1R-00 a podobně

Průměry vrtaných otvorů

Neprokožené otvory - průměry otvorů pro součástky se volí v závislosti na rozměrech vývodů součástek. Řada standardních otvorů je: 0,8 mm; 0,9 mm; 1,0 mm; 1,3 mm; 1,6 mm; 1,8 mm; 2,0 mm; 2,2 mm; 2,7 mm; 3,2 mm; 4,3 mm; 5,4 mm; 6,4 mm. Minimální vzdálenost středů otvorů od kraje desky se volí dle požadavků zákazníka. Otvory mimo standardní řadu a nad 2,2 mm lze vyrobít, pouze však po dohodě s výrobcem. Na jedné desce se doporučuje používat minimální sortiment průměrů otvorů. S počtem druhů použitých otvorů rostou náklady, maximální sortiment na jedné DPS je 7, více jen po dohodě s výrobcem. Je to dáno většinou počtem pozic karuselu vrtáků u souřadnicových vrtaček. Prokožené otvory - řada standardních otvorů je stejná jako u neprokožených, vlivem prokožení však dojde ke zmenšení otvoru. Otvory musí být ohraničené z obou stran desky ploškami. Aby bylo dosaženo optimálního prokožení otvoru, nesmí být průměr otvoru menší než polovina tloušťky výsledné desky. Průměr otvoru uvedený v konstrukční dokumentaci je průměrem na výsledné desce, je však vhodné na to výrobce upozornit. Doporučuje se prokožení všech vrtaných otvorů. Neprokožené otvory zvyšují náklady na desku. Otvory, které budou na prokožené desce neprokožené, se označí v legendě. Rozdíl mezi vnitřním průměrem prokoženého otvoru a vnějším průměrem zasunutého součástkového vývodu nesmí být větší jak 0,70 mm a menší jak 0,25 mm. Při použití páskového vývodu nesmí být rozdíl mezi tloušťkou vývodu a vnitřním průměrem prokoženého otvoru větší než 0,70 mm. Speciální otvory - mohou být pravidelného nebo nepravidelného tvaru a jejich středy nemusí ležet na průsečíku základní sítě. Za speciální otvory se považují též kruhové otvory o průměru větším jak 6,4 mm. Zhotovení speciálních otvorů je nutno projednat s výrobcem.

3.4 Konstrukční třídy přesnosti

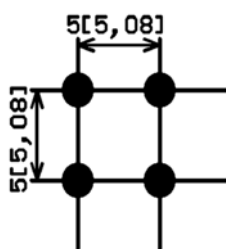
DPS se vyrábějí v šesti konstrukčních třídách, charakterizovaných hustotou plošných prvků a z toho vyplývající obtížnosti výroby a tvorby výrobních výkresů, dané nejmenší použitou roztečí a velikostí pájecích bodů, průchodů plošných vodičů mezi dvěma sousedními body, minimální izolační mezerou, minimální šířkou plošných vodičů a tím nutností přesného provedení (třídou přesnosti). Čím vyšší konstrukční třída, tím vyšší jsou výrobní náklady. Konstrukční provedení je proto nutné zvážit nejen z hlediska potřebných funkčních a konstrukčních parametrů, ale také z hlediska ekonomického. DPS v konstrukčních třídách V a VI se vyrábějí jen po dohodě s výrobcem.

Jednotlivé vzdálenosti otvorů a vodičů v daných třídách jsou uvedeny v následující tabulce.

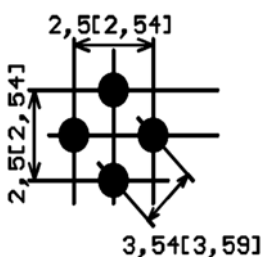
Tabulka 1: Konstrukční třídy

PARAMETR (mm)	TŘÍDA I	TŘÍDA II	TŘÍDA III	TŘÍDA IV	TŘÍDA V	TŘÍDA VI
Minimální průměr pájecí plošky do otvoru 1,3 mm včetně	jmen. prům. otvoru + 1,90 mm	jmen. prům. otvoru + 1,40 mm	jmen. prům. otvoru + 1,05 mm	jmen. prům. otvoru + 0,70 mm	jmen. prům. otvoru + 0,50 mm	jmen. prům. otvoru + 0,40 mm
Nad průměr otvoru 1,3 mm	+ 2,0 mm	+ 1,5 mm	+ 1,1 mm	+ 0,8 mm	+ 0,6 mm	-
Min. šířka vodičů 18μm	0,50 mm	0,40 mm	0,35 mm	0,30 mm	0,2 mm	0,15 mm
Min. šířka vodičů 35μm	0,50 mm	0,40 mm	0,35 mm	0,30 mm	-	-
Min. šířka vodičů 70μm	0,50 mm	0,40 mm	0,35 mm	-	-	-
Přesnost umístění pájecích plošek vzhledem k základní síti	0,35 mm	0,25 mm	0,18 mm	0,08 mm	0,06 mm	0,06 mm
Min. šířka izolační mezery	0,65 mm	0,45 mm	0,35 mm	0,30 mm	0,25 mm	0,20 mm
Obrysová tolerance	± 0,25 mm	± 0,20 mm	± 0,12 mm	± 0,08 mm	± 0,06 mm	± 0,06 mm

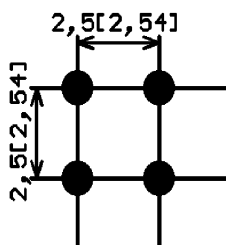
Rozteč bodů a možnosti vedení vodičů mezi pájecími body je názorně pro jednotlivé třídy přesnosti uvedena v tabulce na následující straně.

**TŘÍDA****I**

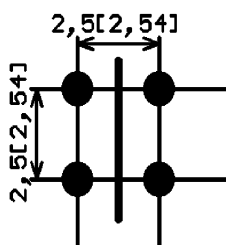
Základní síť s roztečí 5 mm nebo 5,08 mm. Minimální vzdálenost středů dvou sousedních pájecích bodů je nejméně 5 mm nebo 5,08 mm. Při minimální rozteči není dovoleno vedení plošného vodiče mezi dvěma pájecími body.

**TŘÍDA****II**

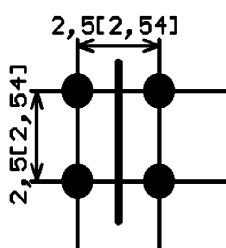
Základní síť s roztečí 2,5 mm nebo 2,54 mm. Středů dvou sousedních pájecích bodů leží při minimální rozteči na úhlopříčce základní sítě. Vzdálenost středů dvou sousedních pájecích bodů je nejméně 3,54 mm nebo 3,59 mm. Při minimální rozteči není dovoleno vedení plošného vodiče mezi dvěma pájecími body.

**TŘÍDA****III**

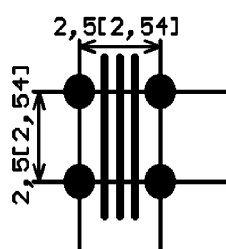
Základní síť s roztečí 2,5 mm nebo 2,54 mm. Minimální vzdálenost středů dvou sousedních pájecích bodů je nejméně 2,5 mm nebo 2,54 mm. Při minimální rozteči není dovoleno vedení plošného vodiče mezi dvěma pájecími body.

**TŘÍDA****IV**

Základní síť s roztečí 2,5 mm nebo 2,54 mm. Minimální vzdálenost středů dvou sousedních pájecích bodů je nejméně 2,5 mm nebo 2,54 mm. Při minimální rozteči je dovoleno vedení jednoho plošného vodiče mezi dvěma pájecími body.

**TŘÍDA****V**

Základní síť s roztečí 2,5 mm nebo 2,54 mm. Minimální vzdálenost středů dvou sousedních pájecích bodů je nejméně 2,5 mm nebo 2,54 mm. Při minimální rozteči je dovoleno vedení dvou plošných vodičů mezi dvěma pájecími body.

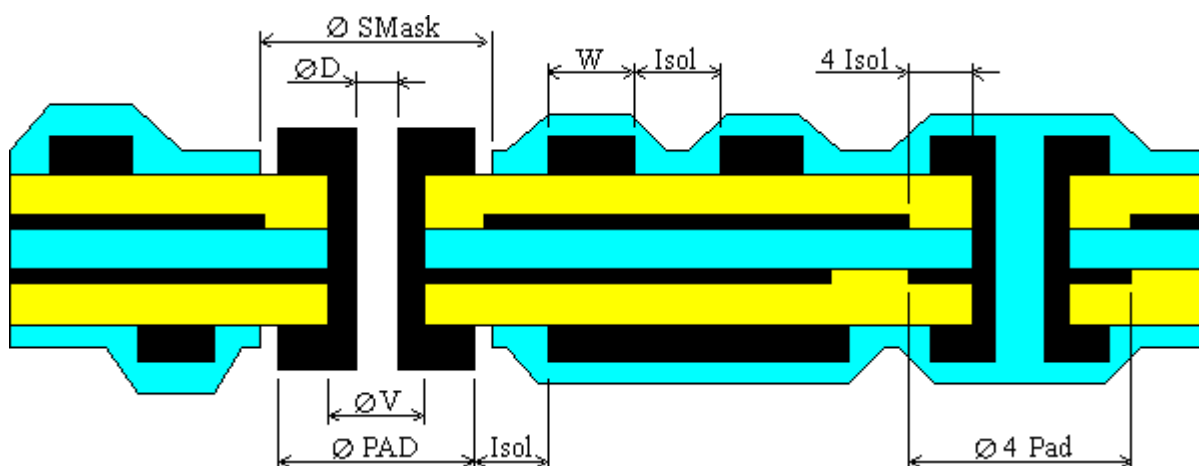
**TŘÍDA****VI**

Základní síť s roztečí 2,5 mm nebo 2,54 mm. Minimální vzdálenost středů dvou sousedních pájecích bodů je nejméně 2,5 mm nebo 2,54 mm. Při minimální rozteči je dovoleno vedení tří plošných vodičů mezi dvěma pájecími body.

V návrhových systémech typu CAD lze tyto parametry

roztečí zadefinovat. V těchto systémech se zpravidla používá jednotka mil (1 mil = 0,001 inch = 0,254 mm). V tabulce jsou uvedeny dané rozměry pro dnes nepoužívanější třídy přesnosti. Z Obr. 1 je pak patrný význam jednotlivých rozměrů. Upozorníme, že před návrhem plošných spojů je nutné se obrátit na konkrétního výrobce a vyžádat si od něj aktuální parametry tříd přesnosti, veškeré další technické a obchodní podmínky, jako například požadované prvky finálních úprav, formát dat, ceníky atd.

Třída přesnosti:	4	5	6
Šířka spoje (W)	12	8	6
Isolační vzdálenost (Isol)	12	8	6
Průměr vrtáku (ΦV)	28	20	16
Průměr pájecí plošky (ΦPAD)	$\Phi V + 24$	$\Phi V + 16$	$\Phi V + 12$
Průměr nepájecí masky ($\Phi SMask$)	$\Phi PAD + 10$	$\Phi PAD + 8$	$\Phi PAD + 6$



Obr. 1: Definice rozměrů plošek a spojů

Poznamenejme, že v tabulce je průměr pájecí plošky ΦPAD a nepájecí masky $\Phi SMask$ vztažen k průměru vrtáku ΦV . Do dokumentace pro výrobu se zadávají konečné průměry otvorů ΦD . V knihovnách návrhového systému budou mít pájecí plošky a prokovy nastaveny také průměr ΦD . Musíme tedy na základě tohoto faktu při definici rozměrů plošek k údajům ΦPAD a $\Phi SMask$ připočítat rozdíl mezi ΦV a ΦD , který činí zpravidla 4 milly (0,1 mm).

Konečný průměr otvoru zpravidla stanovujeme jako průměr vývodu + 8 milů (0,2 mm).

Příklad:

Pro pájecí plošku ve 4. třídě přesnosti tedy pro vývod součástky o průměru 24 milů (0,6 mm) budeme zadávat (v milech):

Průměr otvoru $\Phi D = 24 + 8 = 32 = \text{vývod} + 8 \text{ milů}$

Průměr pájecí plošky $\Phi PAD = 32 + 4 + 24 = 60 = \text{otvor} + \text{nakovení} + \text{min. pájecí ploška}$

Průměr nepájecí masky $\Phi SMask = 60 + 10 = 70 = \text{pájecí ploška} + \text{min. nepájecí maska}$

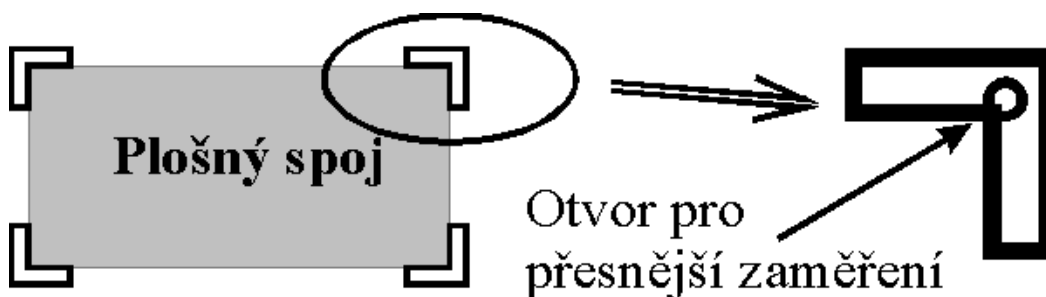
3.5 Finální úpravy

Návrh plošného spoje musí respektovat i to, jak bude vlastní plošný spoj konstrukčně zabudován do celku zařízení. To znamená, že plošný spoj má určitý tvar, určitý rozměr, požadavky na uchycení větších součástek, chladičů, konektorů atd. Mezi finální úpravy tedy patří například příprava ořezových značek nebo dat pro frézování či drážkování, umístění sesazovacích značek, kótování, popisy desky plošného spoje, ošetření zlacených vývodů či konektorů tvořených plošným spojem, atd.

3.5.1 Formát výsledného rozměru

Tvorba značek pro výsledný tvar a rozměr desky je dán především technologickým zázemím výrobce. Nejběžnější je ostříh na padacích nůžkách, frézování a drážkování. Pro tyto mechanické úpravy je nutné dodat následující podklady:

- Ostříh na padacích nůžkách. Většinou postačuje prosté orámování plošného spoje. Při vyšších nárocích na přesnost je dobré v rozích desky umístit ořezové značky, případně zaměřovací otvory, jak je uvedeno na **Obr. 2**.



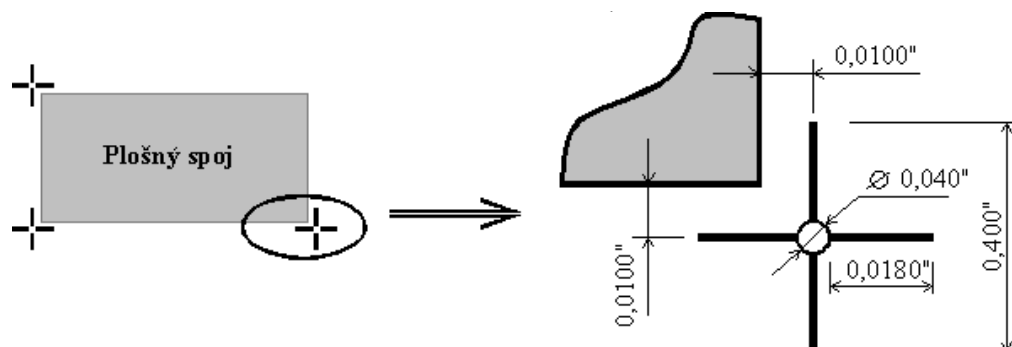
Obr. 2: Příklad ořezových značek se zaměřovacím otvorem

- Frézování. Při malých nárocích na přesnost je možné plošný spoj frézovat podle prostého orámování. Potom se ovšem výrobcí dodává samostatný datový soubor pro řízení frézky.

- Drážkování. Platí totéž jako pro frézování.

3.5.2 Sesazovací značky

Sesazovací značky slouží ke správnému umístění planfilmu či datového souboru při zpracování jednotlivých vrstev desky či vytváření otvorů či řízení vrtání otvorů. Proto musí být umístěny ve všech vrstvách určených pro výrobu. Pro většinu výrobců stačí jako sesazovací značka jednoduchý kříž, který má ve svém středu vrtací otvor. Takovou značku je možné si přímo definovat v návrhovém systému a pak ji vhodně použít. Sesazovací značky se zpravidla umísťují vně plošného spoje ve třech rozích desky tak, aby navzájem tvořily pravý úhel a položení vrstvy bylo jednoznačné a nezaměnitelné. Příklad je uveden na **Obr. 3**.





Obr. 5: Propojení pro galvanické pokovování

3.6 Souhrn nejčastějších chyb při návrhu desek plošných spojů

Závěrem této teoretické části jsou uvedeny nejčastější chyby a nedostatky při návrhu a tvorbě podkladů desek plošných spojů pro hromadnou výrobu.

- Chybí označení stran (vrstev).
- Nejednoznačnost označení datových souborů.
- Nejednotné měrné jednotky.
- Způsob opracování.
- Obrisy plošného spoje.
- Tolerance u rozměrů obrysů.
- Spoje, pájecí plošky a prokovy blízko okraje plošného spoje.
- Zbytečně tenké spoje.
- Příliš tenké texty.
- Servisní potisk přes pájecí plošky.
- SMD – malý odstup nepájecí masky.
- Zbytečně malé průměry vrtáků.
- Chybí údaj, zda se jedná o průměry vrtáků nebo konečné průměry otvorů.
- Tolerance průměru otvorů.
- Mnoho průměrů vrtáků.
- Malý rozdíl průměru vrtáku a vnějšího rozměru pájecí plošky.
- Chybí ošetření zlacených konektorů.
- Chybí údaj, zda se mají filmy generovat pro kusovou nebo sériovou výrobu.
- Speciální výřezy.

4 Povrchová montáž

Při klasické montáži jsou součástky s drátovými přívody pro předchozím natvarování a ostřížení vloženy do prokovených nebo neprokovených děr desky s plošnými spoji a následně zapájeny ze strany plošných spojů. Technika povrchové montáže předpokládá využití bezvývodových součástek, které se pájejí přímo na povrch desky s plošnými spoji. V současné době jsou k dispozici kompletní řady součástek jak pasivních, tak i aktivních, včetně různých typů univerzálních pouzder a konektorů. Technika povrchové montáže vykazuje oproti klasické montáži následující výhody:

- zmenšení rozměru a hmotnosti desky s plošnými spoji,

- zmenšení počtu prokovených děr pájecích plošek,
- dosažení vyššího pracovního kmitočtu (kratší přívody),
- snadnější osazování pomocí osazovacích automatů,
- vyšší spolehlivost a nižší cena osazené desky.

Používané zkratky mají následující význam:

SMT – technologie povrchové montáže (Surfaces Mounted Technology)

SMD – součástky pro povrchovou montáž (Surface Mounted Devices)

Odlišný způsob osazování a pájení klade specifické nároky při tvorbě návrhu plošného spoje. To se týká především tvorby pouzder součástek, rozmístění součástek, způsobu vedení spojů a tvaru pájecích plošek.

4.1 Součástky pro povrchovou montáž

Tato kapitola není popisem součástek pro povrchovou montáž, slouží jako obecný popis z pohledu návrhu desek plošných spojů pomocí návrhového systému. Z tohoto pohledu je při tvorbě pouzder SMD součástek nutné správně definovat zejména následující položky.

Pájecí plošky. Je vhodné dbát doporučení katalogových listů a aplikačních zpráv pro danou součástku resp. typ daného pouzdra, kde bývá uveden vhodný typ a rozměr pájecích plošek.

Nepájivá maska. Rozměr nepájivé masky, resp. její odstup od pájecích plošek je dán třídami přesnosti.

Plocha pro pájecí pastu. Pro pájení přetavením se musí nadefinovat plošky, na které bude nanесena pájecí pasta. Velikost plošek pro pájecí pastu má být o 10% až 20% menší než je rozměr plošek ve vrstvě mědi.

Místo pro lepidlo. Pro pájení vlnou je nutné nadefinovat místo, kam bude metodou sítotisku nebo dávkovačem nanесeno lepidlo.

Referenční bod. Slouží pro uchycení součástky osazovacím automatem. Tímto bodem je zpravidla geometrický střed součástky.

Plocha vymezujiící obrys součástky. Tento obrys je zpravidla větší, než je vlastní rozměr součástky. Obzvláště při pájení vlnou je totiž nutné dodržet minimální vzájemné odstupy součástek. Nedostatečný odstup může způsobit, že některé plošky budou ve „stínu“ vlny a budou nedostatečně připájené.

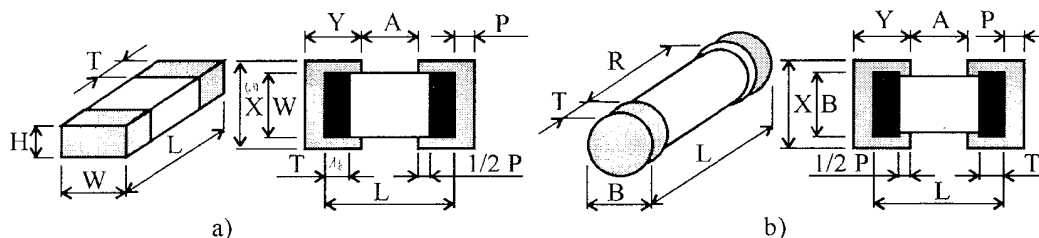
Deska plošných spojů má být navržena dle zásad pro SMT nejlépe v některém z užívaných návrhových systémů (Orcad, Pads, Protel, Formica a p.). Doporučuje se používat u dané součástky výrobcem definovanou velikost pájecích plošek. Jednou z důležitých zásad návrhu DPS je na př. to, že vývod vodiče z pájecí plošky musí býti tenčí než je její šířka nebo musí být opatřen krčkem. Zamezí se tím vztlínání tekuté pájky z plošky na spoj.



krček mezi pájecí ploškou a spojem

4.1.1 Pouzdra s metalizovanými ploškami

Do pouzder s metalizovanými ploškami se pouzdří především rezistory a kondenzátory. V provedení SMD mají tvar kvádrů (viz **Obr. 6**). Velikost pouzdra se značí čtyřmístným číslem, kde první dvě číslice znamenají délku L a druhé dvě číslice šířku W kvádrů v desítkách milů. V současné době se vyrábějí pouzdra velikostí 2040 až 0201. Diody se zpravidla pouzdří do válcových pouzder typu MELF (Metal Electrode Face Bonding) a vyrábějí se v několika velikostech.



Obr. 6: Pouzdro SMD a) rezistoru, kapacitoru, b) MELF

V následující tabulce jsou uvedeny rozměry vybraných pouzder a pájecích plošek (v milech)

Pouzdro	W/B	L	H	T	X	Y	A
1206	60	120	22	16	60	60	70
0805	50	80	20	12	50	50	34
0402	20	40	12	4	22	22	20
MELF	Ø100	200	-	20	114	60	132
MiniMELF	Ø63	140	-	16	80	56	76

Při návrhu pájecích plošek platí obecná zásada, že $X \approx W$, $Y \approx P + T + P/2$, P je přesah, který se doporučuje u kvádrových pouzder $P \approx H$ a u typu pouzdra MELF je $P \approx B/4$.

4.1.2 Pouzdra s páskovými vývody

Základní typy vývodů pouzder

Typ: Gull-wing



Použití: - SOIC, QFP, TSOP

Typ: J-lead



Použití: - PLCC, SOJ

Typ: Ball



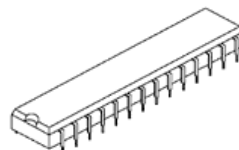
Použití: - BGA Chip Scale Flip Chip (Bump)

Základní typy pouzder

DIP / DIL (Dual In-Line Package)

Pouzdro klasické montáže součástek. Vývody procházejí skrz díry v plošném spoji. Rozteč pinů je 100 milů (0.1") - vzdálenost pinů (šířková rozteč) může být .300", .600" or .900" Často používaný název pro toto pouzdro je také DIL.

DIP (DIL)

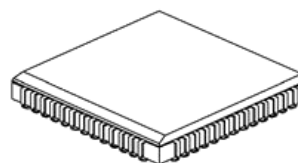


PLCC (Plastic Leaded Chip Carrier)

Pouzdro pro povrchovou montáž.. Jedná se o všeobecně akceptovaný vedoucí standard. Podstatný je výrobce ale hlavně počet pinů.

Výhodou je možnost umístit PLCC obvody do patice i na desku klasické montáže. Existují však také patice pro povrchovou montáž.

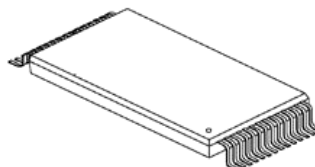
PLCC



TSOP (Thin Small Outline Package)

Pouzdro pro povrchovou montáž, typ malých pouzder s malým počtem vývodů. "T" znamená tenký. Pouzdro je celkem standardní, podstatný je výrobce ale hlavně počet pinů a šířka pouzdra.

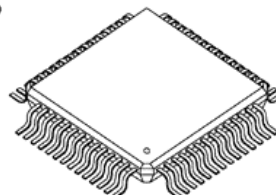
TSOP



QFP (Quad Flat Pack)

Pouzdro pro povrchovou montáž, podstatné je délka pinů, která se může lišit. Pouzdro je celkem standardní, podstatný je výrobce a hlavně kód pouzdra. TQFP je tenčí varianta pouzdra. Existují podtypy PQFP Plastic Quad Flat Pack Lidded TQFP Thin Quad Flat Pack TSOP (Thin Small Outline Package)

QFP



SOIC (Small Outline IC "Gull Wing Style")

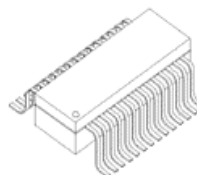
Pouzdro pro povrchovou montáž, různá je délka pinů, výška pouzdra, rozteč atd.. Pouzdro je celkem standardní, podstatný je výrobce a hlavně kód pouzdra.

Verze s vyšší hustotou pinů:

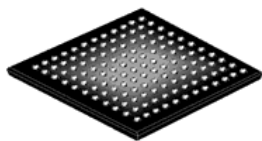
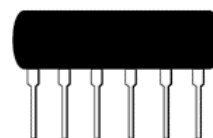
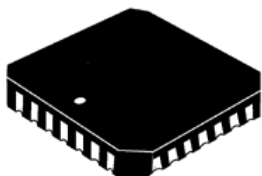
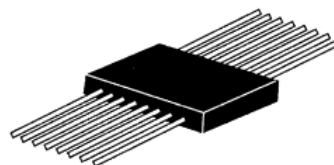
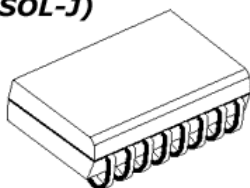
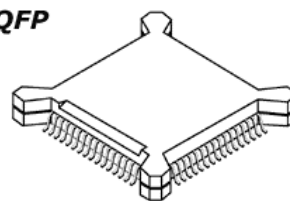
SSOP (Shrunk Small Outline Package), TSSOP (Thin Shrunk Small Outline Package).

SOP rozteč je 1.27mm, SSOP rozteč je 0.4, 0.5 nebo 0.65mm.

SOIC



Ostatní pouzdra pro SMT

BGA**SIP****LCC****Flat Pack****SOJ (SOL-J)****BQFP**

5 Pájení součástek v elektronice

5.1 Pájený spoj

Základní princip připojování elektronických součástek do obvodů se od počátků elektronické výroby zásadně nezměnil. Provádí se stále měkkým pájením slitinami Sn-Pb, které vytváří pevný a dobře vodivý spoj, jehož základem jsou intermetalické slitiny Sn-Cu mezi vývodem součástky a připojovacím místem obvodu. Jedná se v podstatě o fyzikálně-chemické pochody.

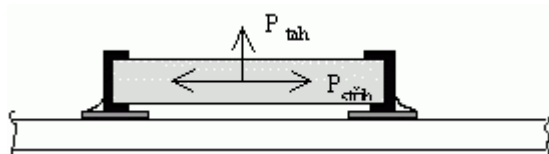
Vznik těchto mezivrstev (i.v.) z intermetalických slitin je základním předpokladem pro vytvoření dokonalého pájeného spoje, který zaručuje dlouhodobou mechanickou pevnost a elektrickou vodivost.

Takovýto spoj je utvářen ve dvou nezávislých krocích :

- části, které mají být vzájemně spojeny se nejprve pocínují, resp. opatří vrstvou pájky (dojde k vytvoření intermetalických vrstev)

- spojované povrchy se následně prohřejí nad teplotu tání použité pájky, která vzájemným slitím s přídavkem pájky z vnějšku vytvoří po ochlazení pevné spojení dvou nebo i více částí.

Dalším neméně důležitým faktorem při pájení je teplota, za které proces probíhá. Vrstvy intermetalických slitin mají krystalickou strukturu, jejíž jemnost závisí na velikosti teploty při pájení i době trvání tepelného procesu a to tak, že při vyšších teplotách a kratším působení tepla se vytváří jemnější struktury. Při dlouhodobé aplikaci tepla na spoj ($> 10 - 20 \text{ sec.}$) velikost zrn vzrůstá, čímž klesá jeho mechanická pevnost zejména ve stříhu. Tato okolnost je zvláště významná v technice SMT, kde stříhová napětí výrazně převažují nad tahovými (viz. **Obr. 7**).



Obr. 7: Tahové a stříhové síly spoje

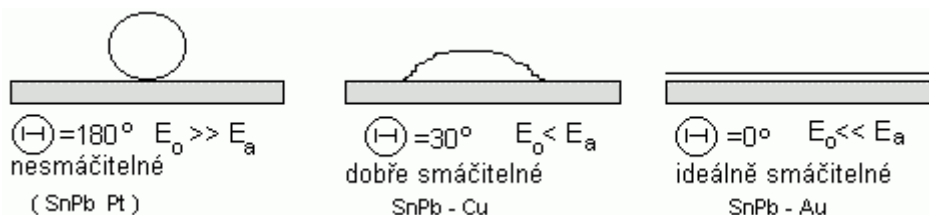
Protože růst i.v. je závislý na teplotě, proces i když velmi pomalu pokračuje i za ambientní teploty a protože silné i.v. ($> 0,5 - 0,7 \mu\text{m}$) zhoršují pájitelnost, opatřují se povrchy základního kovu, což bývá obvykle měď nebo mosaz mohutnějším ovrstvením SnPb máčením s procesem HAL (hot air leveling) pro odstranění přebytků pájky. Takto opatřené DPS mohou být skladovány za snížené teploty po relativně dlouhou dobu (i týdny) se zachováním pájitelnosti. Na rozdíl od tohoto, DPS cínované chemicky musí přijít do pájecího procesu téměř okamžitě po pocínování, vzhledem k tomu, že vrstva dosáhne síly max. μm . Z tohoto důvodu je chem. cínování vhodné pouze v prototypové výrobě nebo v amatérské praxi, kde lze okamžitě zapájení uskutečnit bez problémů.

Pájitelnost

Pájitelností je nazvána míra schopnosti povrchu kovu, který má být pájen, být smočen pájkou a to bez ohledu na to jestli se jedná o základní kov nebo o povrch, který již byl nějak metalurgicky zpracován (např. pozlacen, kadmiován, niklován a p.). Různé kovy totiž mají rozdílnou schopnost vytvářet se slitinami SnPb intermetalické vrstvy z čehož zákonitě vyplývá i jejich rozdílná pájitelnost. Pro SnPb slitiny se pájitelnost zhoršuje s následujícím pořadím kovů : Au, Ag, Cu, Pa, Ni a Pt, která je již téměř nepájitelná. Dalším důležitým předpokladem dobré pájitelnosti jsou čisté a neoxidované povrchy (i toto je jedním z důvodů proč je zlato výborně pájitelné i v nejnepříznivějších podmínkách). Jak již bylo zmíněno, opatřují se povrchy zákl. kovů kromě zlata ochrannou antioxidační vrstvou Sn, resp. SnPb.

Povrchové napětí pájky a smáčitelnost

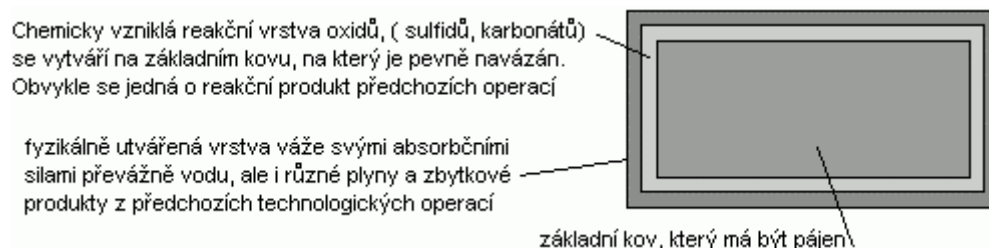
Jestliže kulička tekuté pájky přijde do styku s povrchem jiného kovu, začnou na ni působit dva druhy sil. Kohesivní síly, které se ji snaží udržet v původním stavu, tj. s co nejmenším povrchem při daném objemu a adhesivní síly s tendencí rozšířit kontakt obou kovů na plochu. Velikost této plochy styku je potom mírou pájitelnosti tohoto kovu, jak již bylo uvedeno. Označme: E_o = povrch. energii, E_a = adhesivní energii, q = kontaktní úhel (viz. **Obr. 8**)



Obr. 8: Smáčitelnost pájky

Pomocné prostředky zlepšující pájitelnost

Různá znečištění povrchu, který má být pájen, z nichž nejčastější je vytvoření vrstvy oxidu, mají za následek výrazné zhoršení smáčitelnosti vlivem poklesu adhesivních sil. Kontaminované povrchy jsou na pohled matné a jsou složeny ze dvou rozdílně utvářených vrstev (blíže viz Obr. 9).



Obr. 9: Podstata smáčivosti

K překonání těchto bariér používáme tavidla (flux), která v procesu pájení účinkují několika způsoby :

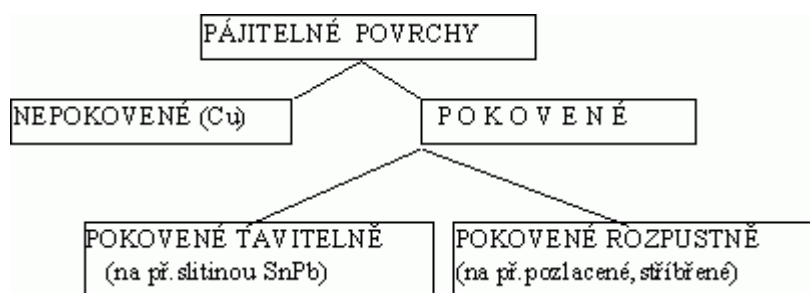
- rozpouštějí absorpční vrstvu
- odstraňují oxidy, sulfidy i jiné reakční produkty
- tím, že vnikají mezi povrchové molekuly zákl. kovu, podporují vznik i.v.
- zlepšují smáčitelnost
- zabráňují reoxidaci povrchu při zvýšené teplotě v procesu pájení

Obecně lze říci, že v současné elektronické výrobě není nutné používat aktivovaná tavidla, protože desky plošných spojů i součástky se vyznačují dobrou pájitelností. Avšak i vzhledem k ekologickým aspektům dnešní doby je žádoucí volba takových technologických postupů, aby se procesy mytí a čištění na bázi organ. rozpouštědel a halogenidových sloučenin zcela vyloučily. Z těchto důvodů je doporučováno výhradně používání neaktivovaných tavidel, pouze v případech nutnosti zrychlit pájecí proces a omezit tím případný teplotní šok některých citlivých součástek lze použít tavidel typu RMA. Tento typ tavidel se používá také při opravách a výměně vadných součástek. (RMA-7 Alfa-Metals).

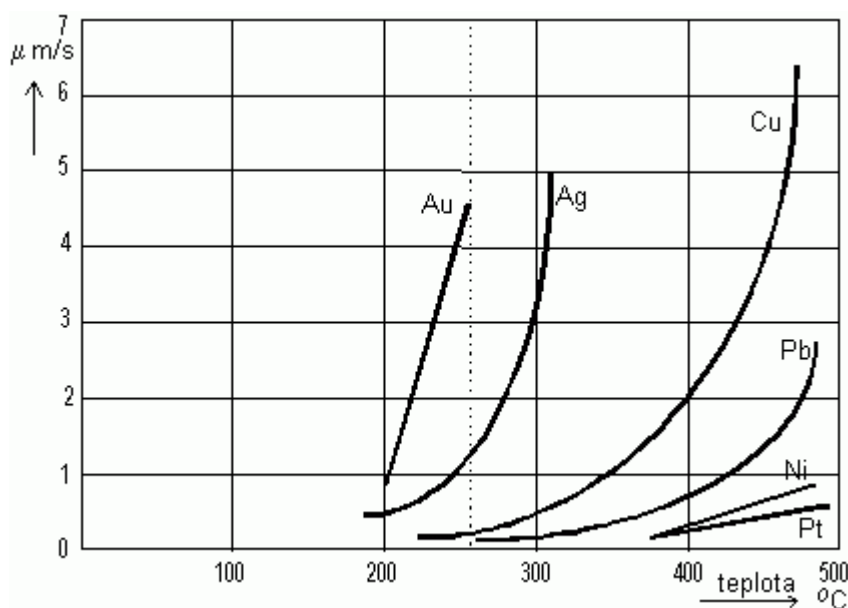
Zatímco principy pájení v elektrotechnice zůstávají neměnné, metody pájení se od minulosti k dnešku vyvíjely tak, aby stačily uspokojovat rostoucí nároky průmyslového vývoje.

Rozpustnost kovů

Pájitelné povrchy se rozdělují na pokovené a nepokovené. Nepokovené jsou tedy přímo základní kovy, nejčastěji Cu, ale také mosaz, Fe, Al a podobně. Pokovení základního kovu může být buď tavitelné nebo rozpustné



Rozpusťnost kovů v tekuté pájce SnPb klesá dle stejné řady jako v případě již uvedené pájitelnosti. Mezi oběma jevy je vzájemná závislost. V následujícím grafu je znázorněna rychlost rozpouštění vybraných kovů v klidné lázni SnPb na teplotě lázně.



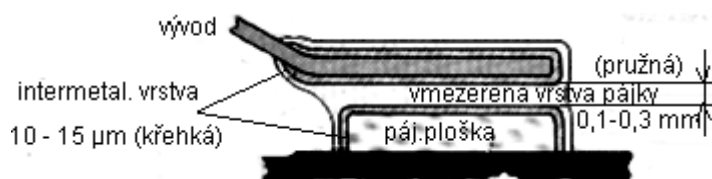
Z uvedeného grafu je patrné, že drahé kovy zlato a stříbro se při obvyklé pracovní teplotě pájecí lázně (cca 260 °C) velmi rychle rozpouštějí již i při krátkém styku s roztaveným kovem - pájkou. v trvání kolem 5 s.

Lze odvodit, že pokovení zlatem o síle 20 μm v lázni SnPb teploty 260 °C po pětisekundovém průchodu zcela zmizí. Fenomen rozpustnosti je i příčinou známého ubývání měděných hrotů pájedel. U profesionálních výrobků jsou hroty vždy povrchově upraveny tak, aby byly vůči pájce rezistentní. Nutno však poznamenat, že v tomto ohledu nepříznivá vlastnost rozpustnosti kovů je bezvýznamná v případě pájení v technice povrchové montáže metodami "reflow" (přetavení), u kterých se používá zanedbatelných množství pájecího prostředku nejčastěji ve formě pájecí pasty a pájený kov se tak "nemá v čem" rozpouštět. Rozpusťnost specifického kovu může být snížena také přidávkou téhož do slitiny pájky. Používá se tak na př. pájka Sn62Ag1Pb pro pájení součástek s vývody pokovenými AgPd.

Pevnost pájeného spoje

Pájené spoje vystavené trvalému mechanickému napětí mají tendenci k plastické deformaci, tzv. tečení materiálu. Výsledná mechanická deformace spoje je pak kombinací tvárné a pružné deformace materiálu spoje a jejich poměru mechan. napětí a teploty. Plastické

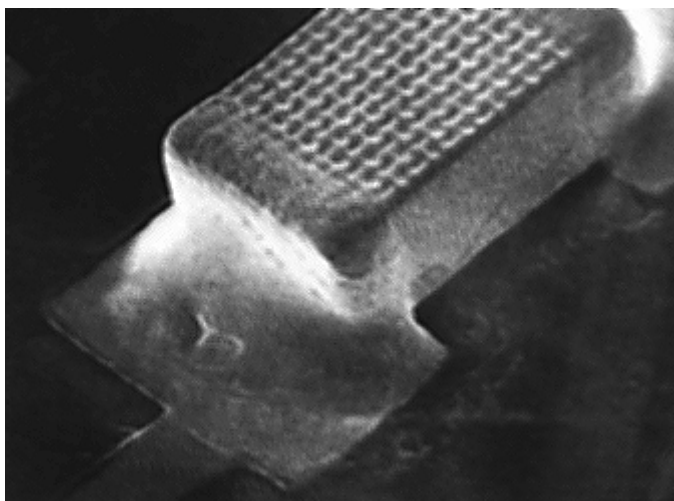
deformace tudíž uvolňují napětí v čerstvě zatuhlém spoji, které jsou obvykle způsobeny opětovným smrštěním materiálu součástky po jejím ochlazení. Mechanické provedení pájeného spoje je uvedeno na **Obr. 10**.



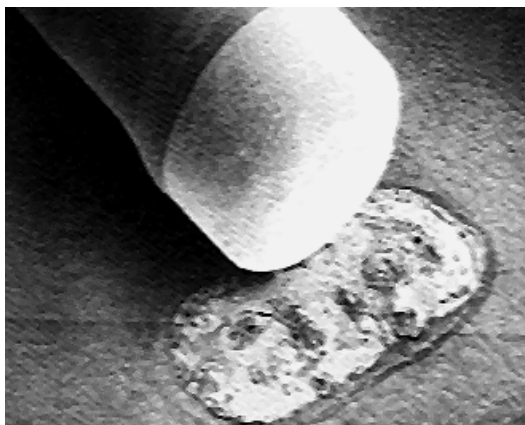
Obr. 10: Pájený spoj

Při pájení SMD je spoj nejvíce namáhán stříhem a nejslabším článkem tohoto spoje se stává křehká i.v., obzvláště je-li vytvořena velkými zrny krystalů kovu při dlouhém pájení za relativně nízké teploty. Jak již bylo zmíněno, tyto vrstvy narůstají i za pokojové teploty, i když velmi pozvolna, nicméně při zvýšených pracovních teplotách zařízení (60 - 80 0C) je to již okolnost nezanedbatelná. Při trvalém stříhovém napětí u špatně formovaného spoje pak křehká i.v. vrstva toto napětí neudrží a spoj praskne. Pokud však součástka u dobře formovaného spoje "plave" na vmezerené vrstvě pájky o síle min. 0,1 mm (až 0,3 mm u větších plošek) eliminuje se stříhové napětí v poměrně krátké době po zatuhnutí plastickou deformací této mezivrstvy a tím vymizí i stříhové namáhání intermetal. vrstev a spoj vykazuje trvalou kvalitu i při zvýšené teplotě okolí.

Dobrý spoj



Nedostatečně zapájený spoj a nedopájený spoj se zbytky pasty

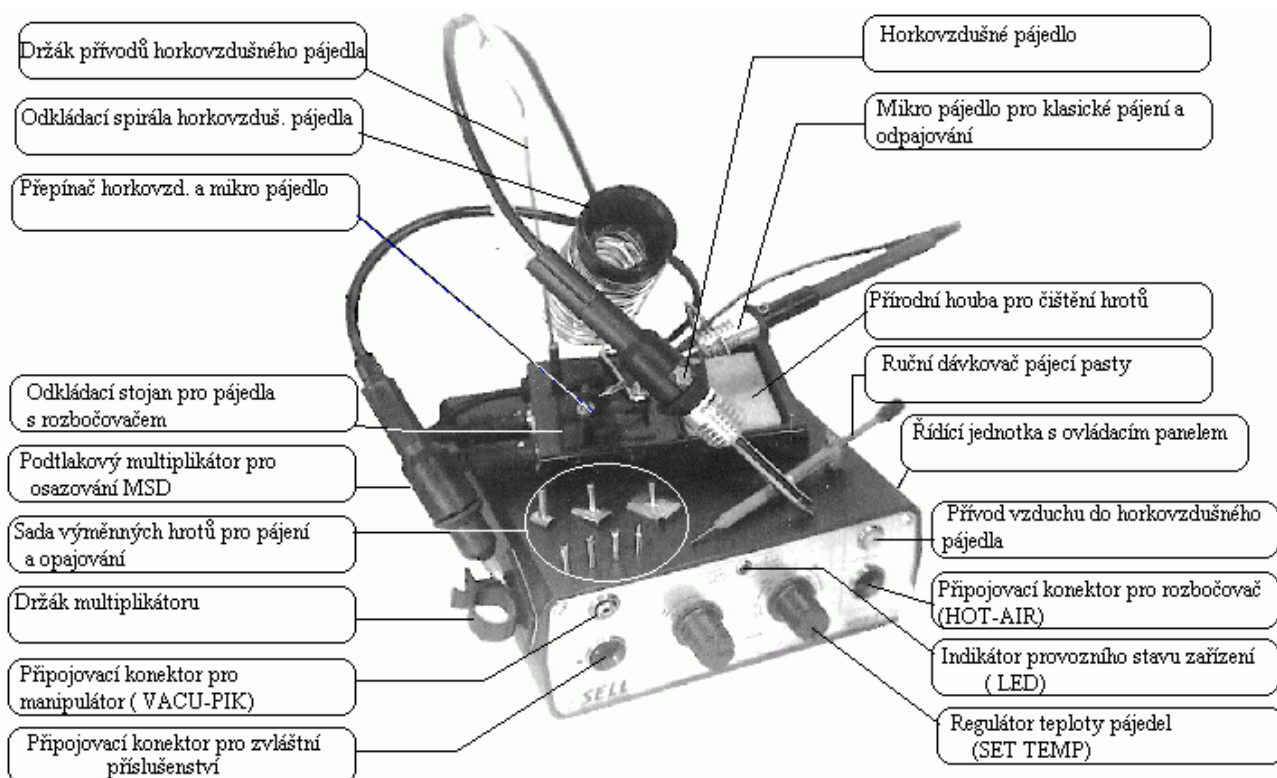


5.2 Zařízení pro osazování a pájení technikou povrchové montáže

Vývojová pracoviště řady SDW (SMT Development Workstation) umožňuje osazovat a pájet na deskách plošných spojů navržených technologií povrchové montáže-SMT. K řídicí jednotce lze připojit a nezávisle obsluhovat tři nástroje -podtlakový manipulátor , (VACU-PIK), kterým můžete ze zásobníků odebírat všechny typy SMD součástek a pohodlně je osazovat na desku plošného spoje s aplikací pájecí pasty.

- horkovzdušné pájedlo (HOT-AIR-IRON) s nastavitelným množstvím i teplotou výstupního vzduchového proudu, kterým osazené součástky přetavením pasty připájíte.
- mikropájedlo (MICRO-SOLDERING-IRON) se snadno vyměnitelnými hroty a speciálními nástavci ...pro jemné kontaktní pájení, ale zejména pro rychlé a šetrné odpájení základních typů SMD (součástek pro povrchovou montáž).
- pracovní stůl s podehřívací ploténkou (HOTPLATE), je další zařízení, které lze připojit k řídicí jednotce. Pracovní plocha se po zapnutí vyhřeje na nastavitelnou teplotu (80-150°C), takže pájecí proces na takto podehřáté osazené DPS probíhá rychleji, součástky jsou méně tepelně namáhány a zapájené spoje jsou kvalitnější. Toto zařízení není součástí základní sady.

Na **Obr. 11** je vyobrazena stanice pro ruční osazování a pájení technikou povrchové montáže. Tato stanice je využitelná i pro opravy desek se součástkami SMD, které neprošly výstupní kontrolou nebo pájení pájecí vlnou vykazuje chyby. S touto sestavou se také nejčastěji setkáme v laboratorních podmínkách.



Obr. 11: Pájecí stanice pro SMT montáž

6 Počítačově podporovaný návrh plošných spojů

Postup návrhu elektronických zařízení lze rozčlenit do několika kroků „návrh obvodu - simulace obvodu - návrh plošného spoje - simulace tepelného, proudového a napětového zatížení obvodu a parazitních jevů při daném rozložení na plošném spoji - výroba matrice pro plošný spoj - výroba plošného spoje - osazení plošného spoje - testovací měření“. Důležitým aspektem moderního přístupu k tomuto technologickému řetězci je důsledné využití výpočetní techniky ve všech článcích. Technologický řetězec musí být provázán tak, aby změna v jedné části řetězce provedla i změny ve všech bodech technické dokumentace. Programy, které se k návrhu využívají se souhrnně označují jako EDA (Electronic Design Automation).

Návrh plošného spoje je jednou ze součástí návrhového řetězce, kde se výpočetní technika začala používat nejdříve. V dnešní době je k dispozici řada propracovaných návrhových systémů, které se liší svým zaměřením složitostí a samozřejmě také cenou. V následujících kapitolách se seznámíme s dvěma z nich. Bude to program EAGLE, patřící do střední třídy návrhových systémů a zástupcem profesionálních systémů od firmy MentorGraphic.

7 Návrhový systém Eagle 4

EAGLE je u nás jeden z nejrozšířenějších a nejoblíbenějších systémů pro návrh plošných spojů. Systém vyvíjí a stále zdokonaluje německá firma CadSoft Computer GmbH z Pleiskirchenu. Sám Eagle patří mezi střední třídu CAD programů pro elektroniku. Důvody oblíbenosti „Eaglu“ jsou zřejmé, jedná se o systém relativně snadno pochopitelný a naučitelný, se kterým se dají při troše pečlivosti vytvářet desky plošných spojů na profesionální úrovni. Další předností jsou rozsáhlé knihovny které výrobce k programu standardně dodává. V neposlední řadě k ještě větší oblibě a rozšíření programu určitě přispěje fakt, že výrobce uvolnil pro nekomerční využití programu a pro školství tzv. „LIGHT“ verzi. Tato verze má tři omezení, maximální možná velikost desky je 100x80mm tj. polovina tzv. EURO desky, lze vytvářet pouze dvouvrstvé desky a dále nelze rozdělit schéma na více listů, ostatní funkce včetně „plných“ knihoven jsou dostupné v plném rozsahu a odpovídají provedení které výrobce označuje jako „PROFESSIONAL“.

7.1 Základní vlastnosti programu

Návrhový systém EAGLE se skládá těchto modulů:

- Editor schémat (Schematic)
- Editor plošných spojů (Layout Editor)
- Autorouter
- CAM processor – generuje technologická data
- Editor knihoven

Veškeré moduly jsou přístupné přes ovládací panel (Control Panel) systému.

Charakteristiky „Eaglu“:

pracuje v rastru, rozlišení až 0,1 μm

dopředná a zpětná anotace v reálném čase
 výkonný uživatelský jazyk, ULP
 integrovaný textový editor
 dostupný pro Windows 95/98/NT4/2000 a Linux

Editor desky

největší rozměr výkresu 1.6 x 1.6m (64 x 64 inch)
 až 16 signálových vrstev
 funkce vpřed/vzad pro LIBOVOLNÝ editační příkaz, do libovolné hloubky
 skriptové soubory pro dávkové zpracování příkazů
 kontrola pravidel návrhu

Editor schémat

až 99 listů jednoho schématu
 kontrola elektrických pravidel zapojení
 prohazování hradel a pinů
 vytvoření desky ze schématu jediným příkazem

Autorouter

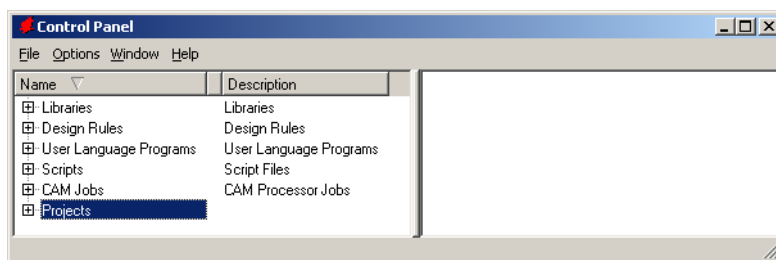
ripup&retry router
 až 16 signálových vrstev
 nastavitelná strategie propojování pomocí váhových faktorů

CAM Processor

postscript
 perové plotry
 plotry Gerber
 soubory pro vrtačky Excellon a Sieb&Meyer
 pro vlastní výstupní zařízení snadno konfigurovatelný pomocí ASCII souborů

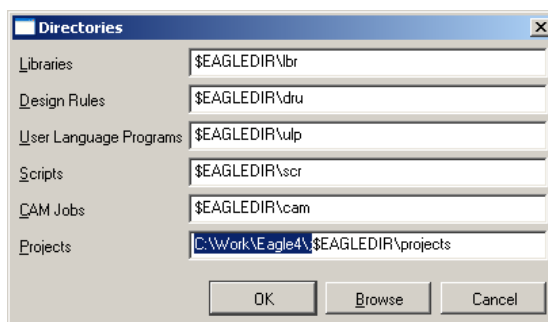
7.2 Než začneme

Po spuštění programu se ocitneme v základním modulu programu nazvaný „*Contol Panel*“ Obr. 12 , jedná se o jakýsi „manager“ celého systému přes který se dostaneme k jednotlivým modulům „Eaglu“. „Control panel“ navíc umožňuje provádět spoustu dalších užitečných funkcí jako např. nastavovat cesty pro ukládání souborů, upravovat prostředí podle vlastních potřeb, vytvářet projekty, přiřazovat knihovny, apod..



Obr. 12: Základní okno programu „Contol Panel“

Dříve než začneme pracovat je dobré nastavit prostředí a cesty k souborům podle vlastních potřeb. V menu pod položkami *Options – Directories* se otevře následující okno, ve kterém jsou cesty nastaveny pomocí systémové proměnné „*\$EAGLEDIR*“ do prostoru kde je „Eagle“ nainstalován, standardně *C:\Program Files\Eagle....*

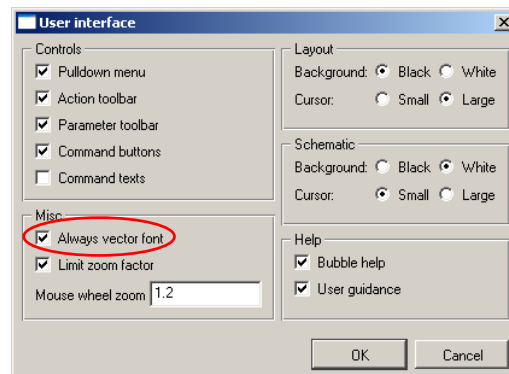
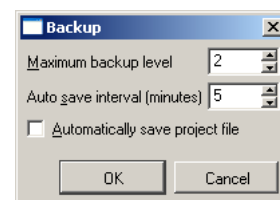


Doporučuji provést následující nastavení:

- **Vytvořit vlastní pracovní adresář** pro ukládání souborů (*Projects*) do jiného prostoru, usnadní se tím „život“ při práci na více počítačích, případně při přeinstalování systému počítače. Cest k souborům může být nastaveno i více najednou, jednotlivé cesty je třeba oddělit středníkem bez mezer.

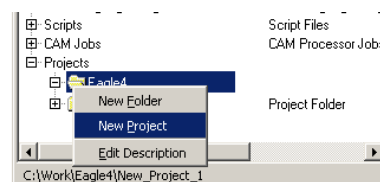
Příklad: C:\Work\Eagle4\; \$EAGLEDIR\projects - přes „Control panel“ budeme možné snadno přistupovat k souborům projektu uložených v adresáři C:\Work\Eagle4\ a zároveň, do standardního adresáře „Eaglu“ určeného pro ukládání projektů.

- **Omezit počet vytvářených záložních kopií**, nastaví se v menu pod položkami *Options – Backup*, počet omezit na jednu až dvě, standardně je nastaveno na devět. Při práci by se pro schéma, desku případně knihovnu vytvářelo dalších devět záložních souborů což v adresáři působí značně nepřehledně.
- **Nastavení uživatelského prostředí pro WIN NT/2000/XP**, při práci pod těmito operačními systémy se často stává, že se přestanou korektně zobrazovat jednotlivá „okna“ programu, poté nezbyvá nic jiného než práci uložit a program spustit znovu. Této chybě, která se projevuje u verze 4.xx, se dá předejít **důsledným používáním vektorových fontů**, nastavuje se v *Option – User Interface*....

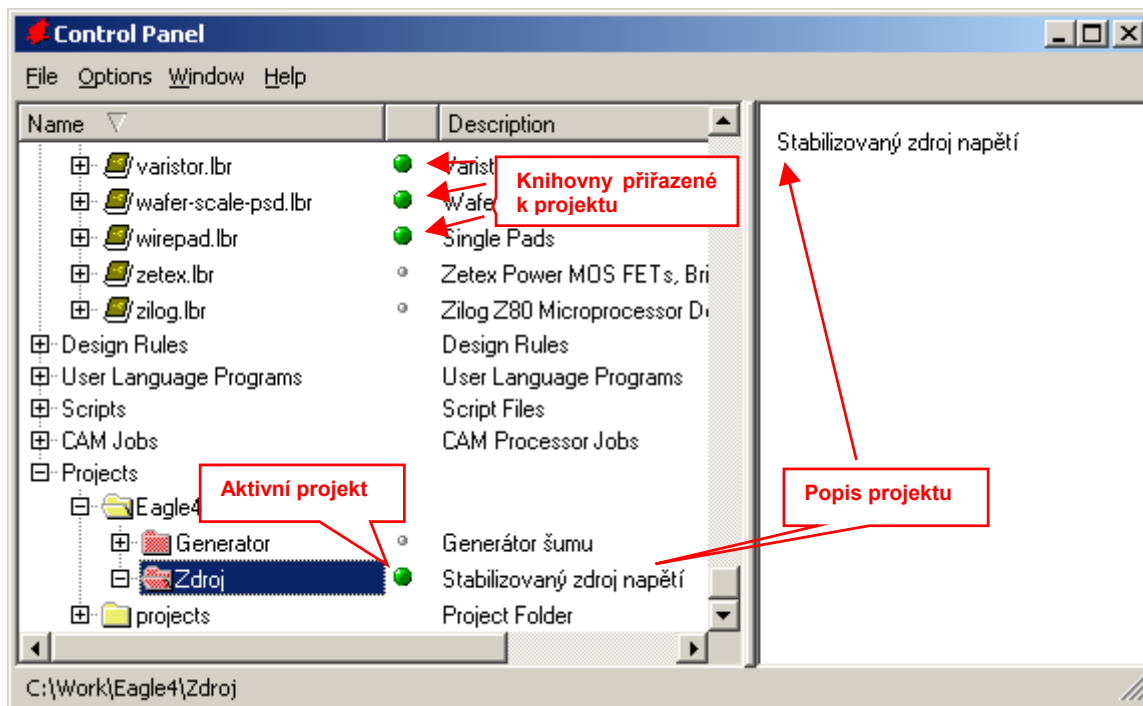


7.3 Vytvoření projektu

Pro vytvoření projektu využijeme „Control Panel“, kurzorem myši si vybereme Adresář ve kterém projekt bude uložen a **pravým tlačítkem** se dostaneme do menu kde vybereme položku **NewProject**, zadáme název projektu, případně můžeme dodatečně, opět pomocí pravého tlačítka myši doplnit popis projektu *Edit Description*. Popis se zobrazuje v „Control Panelu“ a usnadní vám pozdější orientaci ve vytvořených projektech.



Složky projektu jsou zobrazovány červeně a podle zeleného bodu vedle jeho názvu poznáme který projekt je zrovna aktivní.



Přiřazení knihoven:

Standardně jsou k danému projektu automaticky přiřazeny veškeré knihovny v systému obsažené, můžete ověřit tím, že si přes „Control Panel“ a položku *Libraries* zobrazíte seznam knihoven. Knihovny přiřazené k projektu mají opět vedle svého názvu zelený bod. **Pomocí myši a pravého tlačítka přes položku Use si zvolíme knihovny které k projektu budeme potřebovat.** Knihovny lze tímto způsobem přiřazovat a odebírat i u již rozpracovaných projektů.

Možnost výběru knihoven prostřednictvím „Control panelu“ má oproti postupu, který byl běžný v předchozích verzích programu řadu výhod. V „Control Panelu“ máte k dispozici stručné charakteristiky knihoven, které usnadní rozhodování zda budete knihovnu potřebovat či nikoli, navíc si můžete snadno prohlédnout jejich obsah, odpadne tedy zdlouhavé hledání daného prvku, pokud zrovna nevíte kde se nachází a jak je označený.

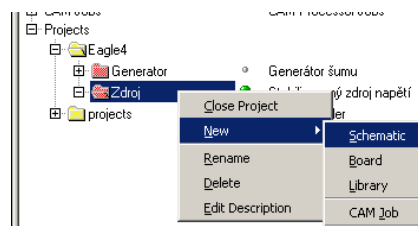
Poznámka:

Samozřejmě lze používat v projektu knihovny všechny, ale tato varianta není nejšťastnější, knihovny se natahují do paměti PC a mohou tak ovlivnit rychlost práce počítače, navíc užitím velkého počtu knihoven se ztrácí při výběru prvků přehlednost.

7.4 Editor schémat

Nové schéma projektu založíme opět pomocí „Control Panelu“. Nad aktivním projektem (označený zeleným bodem) pomocí pravého tlačítka myši založíme nové schéma. Nyní se ocitneme v editoru schémat nazvaném „Schematic“. Všimněte si, že v hlavičce okna

Obr. 13) je skutečně zobrazena cest tak jak jsme si pomocí „ControlPanelu“ zvolili. Schéma uložíme.

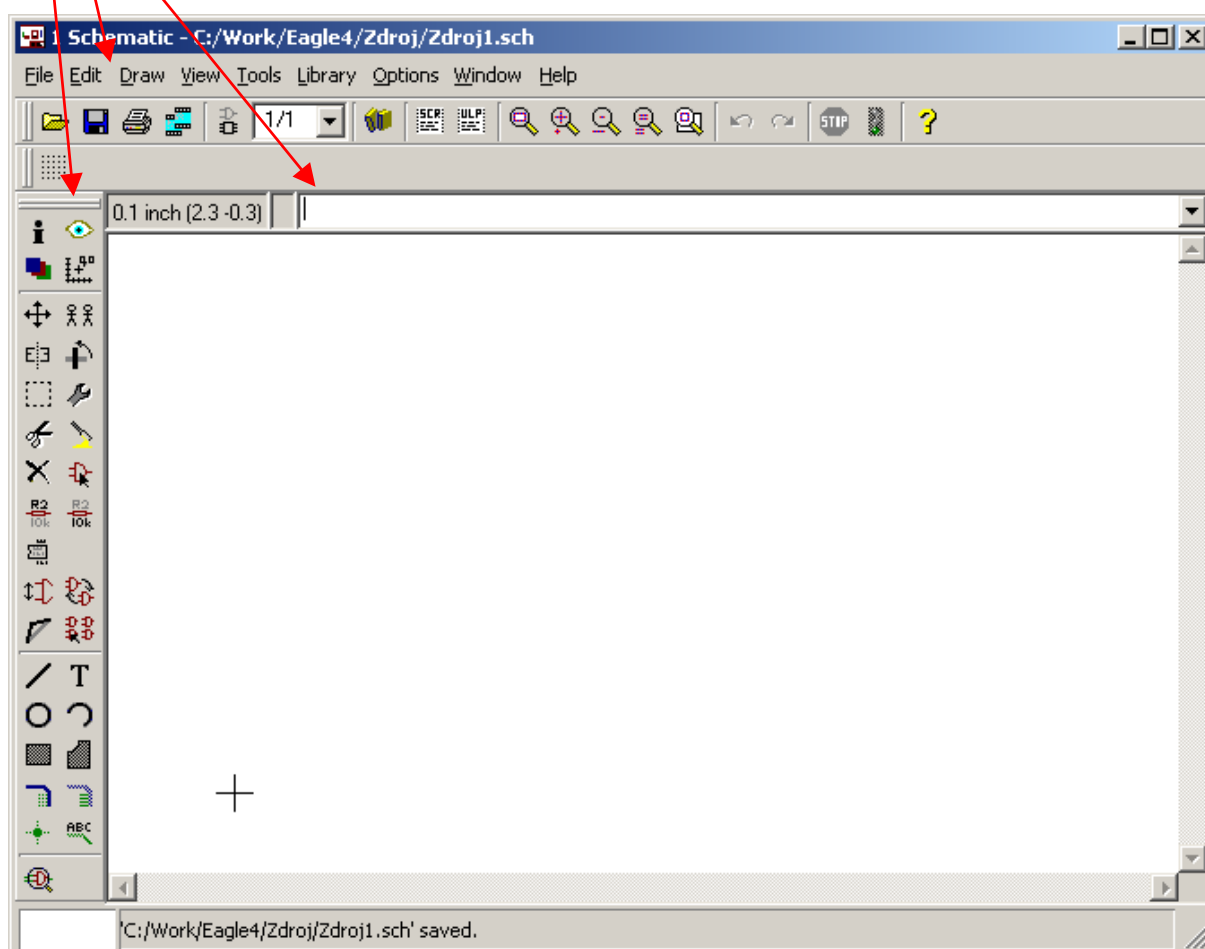


Ovládání:

U systému EAGLE je možné příkazy zadávat několika způsoby:

- výběrem pomocí kursoru myši z řady „ikonek“,
- výběrem pomocí kursoru myši z tzv. „pull-down menu“,
- zadáním příkazu z klávesnice.

Všechny tyto možnosti zadání příkazů jsou naprosto rovnocenné.



Obr. 13: Okno editoru schémat

Navíc je možno některé příkazy přiřadit funkčním klávesám (příkaz *Assign*), případně vykonat posloupnost příkazů pomocí tzv. script souborů (příkaz *Script*).

Některé příkazy pro ovládání prostředí editoru

▪ Změna měřítka zobrazení



Program umožňuje měnit měřítko zobrazení velikosti pracovní plochy pomocí sady ikon s „lupou“, Navíc, obdobně jak u předchozích verzí programu je zachována možnost použít příkazu **Window**, kdy po zadání příkazu z klávesnice s parametrem se provede požadovaná změna měřítka. některé možnosti jsou navíc předdefinovány pod funkční klávesy:

Window;	F2	„překreslení výkresu“,
Window 2;	F3	dvojnásobné zvětšení,
Window 0,5;	F4	dvojnásobné zmenšení,
Window FIT;	Alt + F2	zobrazení v maximálním možném měřítku,
Window (@);	F5	posun středu výřezu pracovní plochy na místo kurzoru myši (v kombinaci z dalším příkazem např. Move)

Stiskem klávesy **Ctrl** při pohybu myši lze posouvat oknem v libovolném směru.

▪ Nastavení rastru



Po zadání příkazu **Grid** se otevře dialogové okno kde můžeme volit parametry rastru:

On, Off - zapnutí / vypnutí zobrazení rastru,

Dots, Line - rastr ve formě „bodů“ nebo „mříže“,

Units - jednotky rastru

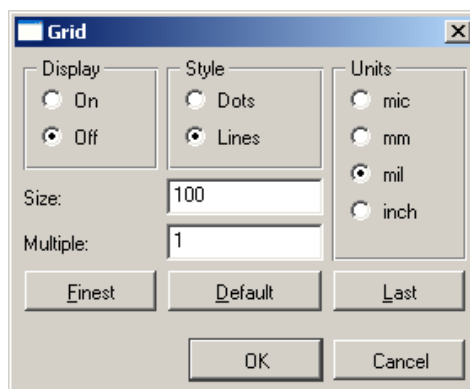
Size - rozteč rastru

Multiple - udává „kolikátá čára“ rastru se zobrazí,

Finest - nejmenší možný rastr (0,1 μm),

Default - přednastavený rastr,

Last - velikost rastru před poslední změnou.



▪ Změna počátku souřadnic



Nad pracovní plochou se nám zobrazuje pozice kurzoru myši, v jednotkách do kterých je přepnutý rastr. Pomocí příkazu **Mark** máme možnost zvolit nový, relativní, střed souřadnic. Návratu k původním, absolutním, souřadnicím docílíme zadáním příkazu **Mark** se středníkem **Mark;** (Středník také nahrazuje ikonka „semaforu“)

▪ Kreslicí hladiny



Pomocí příkazu **Display** si můžeme nastavit „viditelnost“ kreslicích hladin, vrstev.

V editoru schémat máme k dispozici vrstvy:

- 91 Nets - spoje,
- 92 Busses - sběrnice,
- 93 Pins - vývody součástek,
- 94 Symbols - schématické značky
- 95 Names - jména součástek,
- 96 Values - hodnoty součástek.

▪ Vytvoření skupiny



Pro vykonání operace nad více prvky najednou (posun, rotace, mazání, změna parametrů, apod.) využijeme příkaz **Group**. Pro vykonání příkazu nad skupinou používáme **pravé tlačítko myši**.

Skupinu můžeme definovat:

1. „přetáhnutím“ kursoru myši při stisknutém levém tlačítku (pravoúhlá oblast),
2. postupným „klikáním“ levého tlačítka vytýčíme oblast, kterou uzavřeme pravým tlačítkem myši.

Příklad: Smazání více prvků najednou:

definujeme skupinu,

zvolíme příkaz **Delete**, najedeme kursorem myši nad skupinu a stiskneme pravé tlačítko.

7.5 Postup kreslení schémat

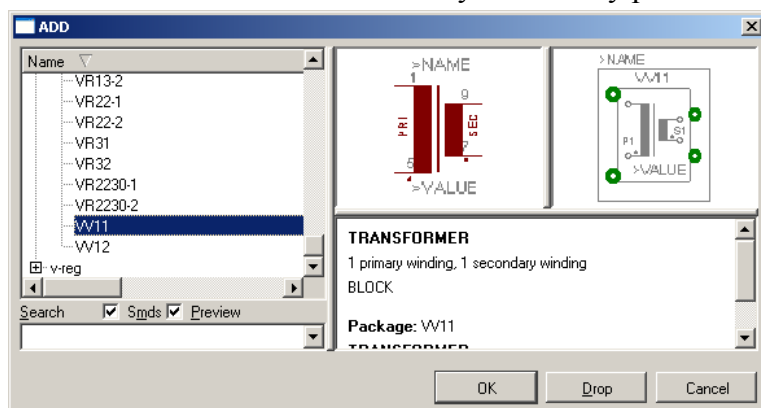
▪ Výběr a umístění součástek:

Add (zadáme z klávesnice, vybereme příslušnou ikonku



nebo „přes menu“ **Edit – Add**)

Otevře se okno ve kterém vyberem daný prvek.



Pokud potřebujeme knihovnu, která není k projektu přiřazena a tudíž její obsah se v okně neobjeví, vrátíme se do „Control Panelu“ knihovnu vybereme a pomocí pravého tlačítka myši přiřadíme příkazem **Use**.

Příkazy související s umístěním prvků:

Rotace prvku – pravé tlačítko myši (při umístění nebo posunu prvků)

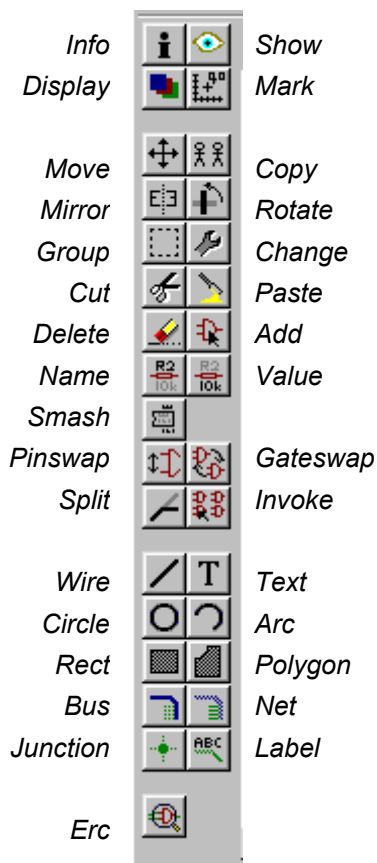
Posun prvku – **Move** (F7)

Zrcadlení – **Mirror**

Pojmenování – **Name**

Přiřazení hodnoty – **Value**

Vyvolání částí „složených“ součástek - Invoke, pokud je v pouzdře součástky obsaženo více prvků můžeme je vyvolat příkazem **Invoke**. (hradla TTL a CMOS, vícenásobné oper. zesilovače, napájecí symboly IO, apod.)



Upozornění:

Při umísťování prvků je nutné zvolit stejný rastr jako rastr ve kterém byly v knihovně prvky definovány. Proto **součástky umísťujte zásadně v „default“ rastru 100 mil (0,1 inch, 2,54mm)**. Při přepnutí rastru na jiný, který „nekoresponduje“ s původním, se piny ocitnou mimo rastr a nelze je vzájemně propojit.

- **Definování propojení**

Spoj - Net začátek - levé tlačítko myši



úhel zalomení – pravé tlačítko myši

konec – při zakončení spoje na „pin“ a „net“ se spoj ukončí automaticky, jinak dvakrát levé tlačítko myši

Pomocí spojů se propojují patřičné vývody, *piny*, součástek. *Piny* jsou označeny „zeleným kroužkem“ ve vrstvě 93 *Pins*. Pokud si nejste jisti kde má prvek „přípojný bod“ povolte si zobrazení vrstvy *Pins* pomocí příkazu **Display**.

Třídy spojů - Classes

U verze „Eagle 4“, je možné rozdělit spoje použité v zapojení do několika tříd, *Edit – Net Classes*. Jednotlivou třídu spojů je třeba nejdříve nadefinovat a posléze zvolit při „tahání“ spoje *Net* v „akčním“ menu které se objeví nad pracovní plochou. Dodatečně lze spoji přiřadit třídu pomocí příkazu **Change – Class** a označením spoje.

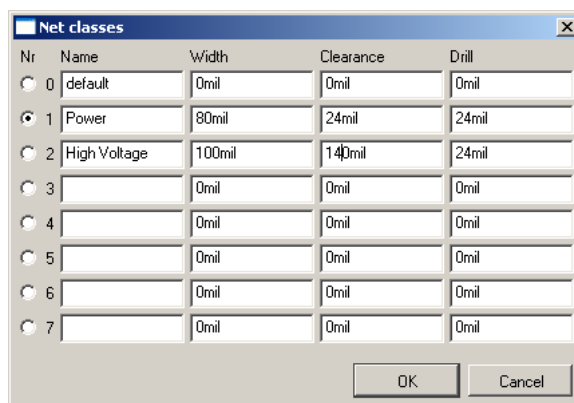
Každé třídě lze nadefinovat:

Name - název

Width – šířku budoucího spoje

Clearance – „izolační mezeru kolem spoje“

Drill – průměr otvoru vytvořeného při průchodu (*via*) signálu z vrstvy do vrstvy na desce.





Toto nastavení bude respektovat „Autorouter“ při automatickém pokládání spojů a dále bude zohledněno editorem desky při použití automatické kontroly návrhu **DRC**.

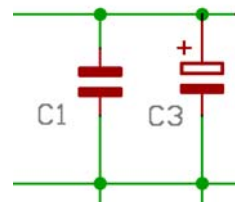
Poznámka:

Spoje se automaticky pojmenují a umístí do vrstvy 91 *Nets*. **Spoje které nejsou „opticky“ spojeny, ale mají shodný název, budou propojeny**, této vlastnosti lze využít např. při rozvodu napájení, rozdělení schématu na více listů, atd.. Název spoje lze zjistit např. pomocí příkazů **Name** nebo **Info**.

Upozornění:

K „tahání“ spojů používejte zásadně příkaz **Net** , velice často se stává, že ke kreslení spojů se využije příkaz **Wire** . Na první pohled se zdá vše v pořádku (pokud se čára umístí do vrstvy *Nets*), spoje vypadají stejně, jsou také zelené, ale u „wire“ se negenerují automaticky uzly, nelze vybrat třídu spoje a především není zaručeno správné pojmenovávání spojů při různých změnách ve schématu což může později vést k velkým komplikacím.

Uzel – *Junction*, uzly se generují automaticky, pokud přesto potřebujeme dodatečně vodiče propojit křížící se spoje umístíme na místo propojení tzv. *Junction*



Sběrnice – *Bus*, začátek - levé tlačítko myši



úhel zalomení – pravé tlačítko myši

konec – dvakrát levé tlačítko myši

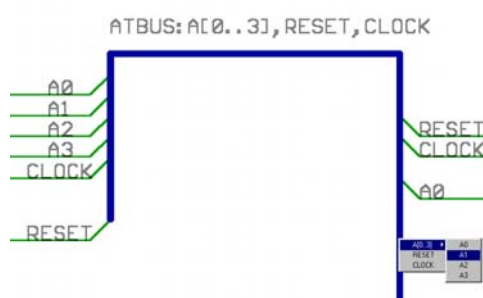
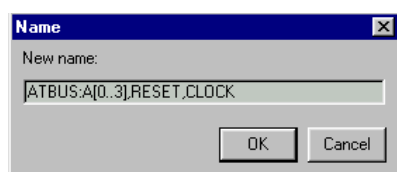
U sběrnice je nejdříve nutné (před připojením okolních spojů) definovat pomocí příkazu *Name* jaké vodiče sběrnice obsahuje a jaké mají názvy.

Syntaxe pojmenování: *<name>:<partbus>,<partbus>,...*

name - název sběrnice je nepovinný

partbus - můžeme definovat výčtem nebo také intervalem, *Name[LowestIndex..HighestIndex]*

Př.



Sběrnice *ATBUS* bude obsahovat vodiče:

A0

A1

A2

A3

RESET

CLOCK

Ke sběrnici se připojují vodiče pomocí příkazu *Net*. Při umístění vodiče na sběrnici program automaticky nabídne název vodiče.

Zviditelnění názvu



- *Label*, platí jak pro sběrnice tak pro spoje.

▪ **Posun názvů a hodnot součástek**

Uvolnění vazby popis - součástka



- *Smash*

Posun popisu



- *Move*

V některých případech jsou popisy součástek nevhodně umístěny, po rotaci jsou vedeny svisle, překrývají se, zasahují do schématické značky apod., v těchto případech máme možnost popis odsunout, nejdříve označíme vybrané součástky pomocí příkazu *Smash*, tím zrušíme vazbu mezi popisem a schématickou značkou prvku. Můžeme takto označit i více prvků najednou. Následně pomocí příkazu *Move* posuneme popisem na požadované místo, případně pravým tlačítkem myši s popisem rotujeme. Pro posun popisu je vhodné nastavit

jemnější rastr (příkaz **Grid**), většinou vyhoví oproti „default“ nastavení rastr „poloviční“ (50mil).

Změna velikosti písma - v případě, že potřebujeme změnit velikost písma u popisu součástky nebo jeho „tloušťku“ je opět nejdříve nutné příkazem *Smash* označit prvek u nějž budeme popis měnit, následně vybereme pomocí příkazu *Change - Size* patřičnou výšku písma a změnu provedeme kliknutím kurzorem myši na popis. (Velikost písma je udána v jednotkách do kterých je přepnutý rastr, pokud potřebujeme zadat velikost která není předdefinována v menu zadáme jí přímo z klávesnice napíšeme *change size <požadovaná velikost>;*). Při volbě *Change - Ratio* můžeme změnit „tloušťku“ písma.

Další příkazy pro editaci schématu

Pokud potřebujeme ve schématu dokreslit další obrazce máme k tomuto účelu celou řadu příkazů:

Kružnice - *Circle*

Pravoúhelník - *Rect*

Kruhový oblouk - *Arc*

Čára - *Wire*

Mnohoúhelník - *Polygon*

Text - *Text*

Při použití těchto příkazů se nad pracovní plochou objeví tzv. „akční menu“ ve kterém můžeme zvolit vrstvu do které chceme objekt umístit případně další parametry jako např. tloušťka čáry *Width* nebo styl *Style* u příkazu *Wire*.

Některé parametry již nakreslených objektů lze upravit pomocí příkazu **Change**.

▪ Kontrola návrhu schématu



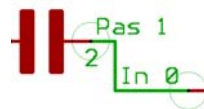
Abychom si ušetřili pozdější komplikace při návrhu desky je vhodné pozorně prohlédnout schéma a „opticky“ zkontrolovat zda je vše správně propojeno. K optické kontrole můžeme využít příkazu **Show**, po kliknutí na spoje se nám vše co je spojeno „prosvítí“ a to včetně pinů součástek. Následně můžeme provést elektrickou kontrolu.

Elektrická kontrola



- **Erc** program zkontroluje zapojení z hlediska zásad správného „elektrického“ návrhu.

Každý pin součástky má určitý atribut např. *Pas* - pasivní pin, *Out* - výstupní pin, *Pwr* - napájecí pin, atd. na základě těchto atributů *Erc* zjišťuje zda jsou vzájemně spojeny piny jejichž vlastnosti jim to povolují, dále pak zda ve schématu nejsou některé piny nezapojeny a zda je napájení obvodu provedeno korektně. Na případné prohřešky program upozorní výčtem chyb který uloží do souboru s příponou *.erc a automaticky jej zobrazí. Zde je nutné podotknout, že tato kontrola nezohledňuje všechny korektní možnosti zapojení součástek v obvodu, má tedy především informativní charakter, jejím hlavním úkolem je upozornit na možné chyby.



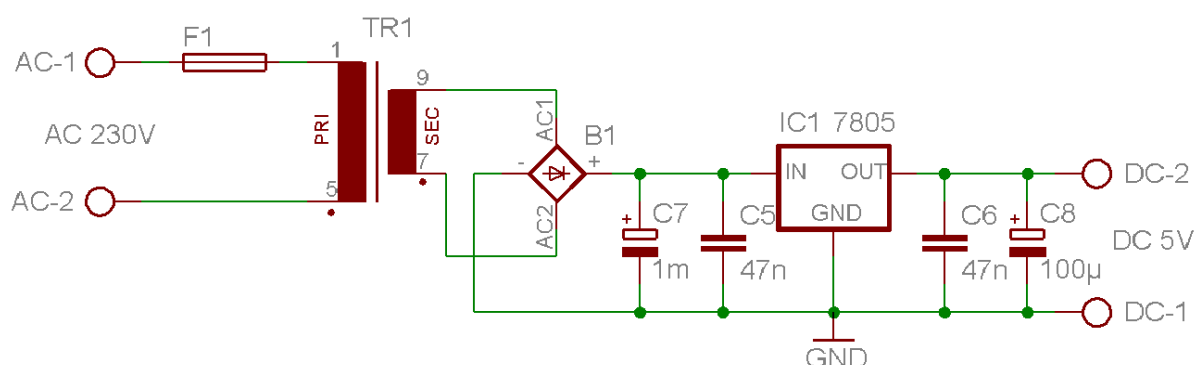
▪ Uložení schématu

Soubor můžeme uložit standardním způsobem přes menu *File - Save* nebo také příkazem **Write** zadaným z klávesnice, který je pozůstatkem po předchozích verzích Eaglu.

▪ Přechod do editoru desky



- **Board**



Obr 14: Schéma vytvořené pomocí editoru schémat „Schematic“

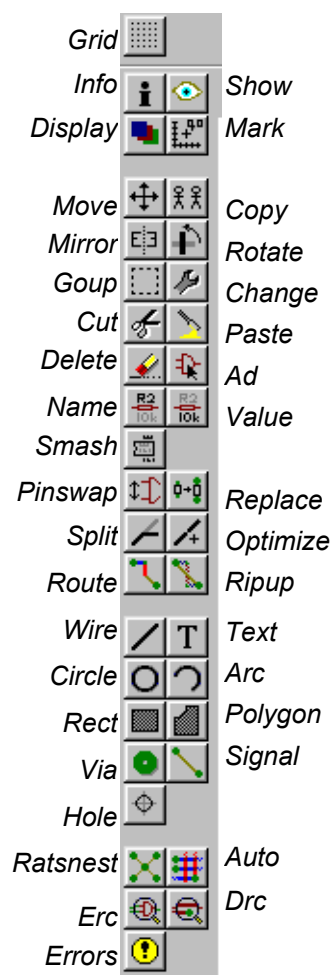
7.6 Editor desky

▪ Kreslicí vrstvy editoru desky

Pomocí příkazu *Display* si můžeme zobrazit kreslicí vrstvy:

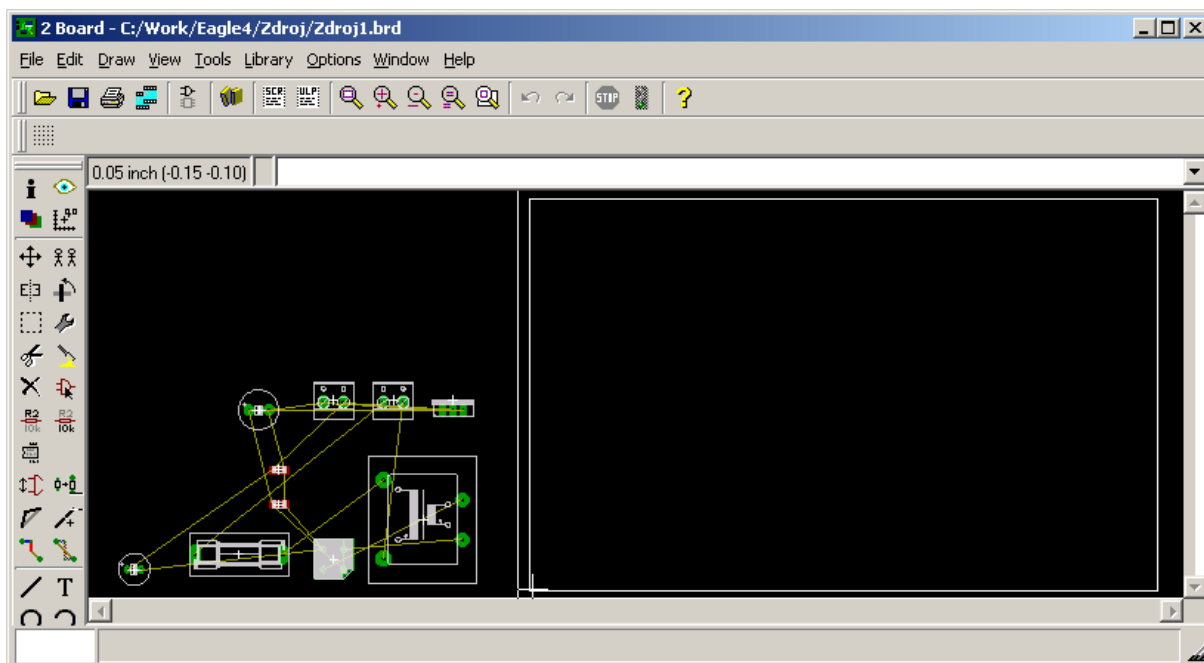
Význam některých vrstev:

- 1 Top Plošné spoje strana součástek
- 2 Route2 Vnitřní vrstva spojů (sig. nebo napájecí)
- .
- 16 Bottom Plošný spoj strana pájení
- 17 Pads Pájecí plošky (vývody pouzder součástek)
- 18 Vias Prokovené průchody mezi vrstvami
- 19 Unrouted Vzdušné spoje
- 20 Dimension Obrysy desky (neprokovené díry)
- 21 tPlace Potisk desky shora - osazovací výkres
- 22 bPlace Potisk desky zespodu - osazovací výkres
- 23 tOrigins „Závěsné“ body shora
- 24 bOrigins „Závěsné“ body zespodu
- 25 tNames Potisk shora (jména součástek, NAME)
- 26 bNames Potisk zespodu (jména součástek, NAME)
- 27 tValues Hodnoty součástek shora (VALUE)
- 28 bValues Hodnoty součástek zespodu (VALUE)
- .
- 39 tKeepout Zakázaná oblast pro rozmístění součástek shora
- 40 bKeepout Zakázaná oblast pro rozmístění součástek zespodu
- 41 tRestrict Zakázaná oblasti pro spoje shora
- 42 bRestrict Zakázaná oblasti pro spoje zespodu
- 43 vRestrict Zakázaná oblasti pro průchod signálu vrstvami (vias)
- .



7.7 Postup návrhu desky při užití schématu.

Po zadání příkazu *Board* v editoru schémat se automaticky spustí editor desky, z knihoven se vyberou pouzdra součástek jejichž plošky se propojí vzdušnými spoji podle sítě spojů definovaných ve schématu a vše se automaticky umístí na pracovní plochu editoru. Navíc se vygeneruje obrys desky jenž má rozměr „EURO desky“ 100x160mm, **Obr 15**.



Obr 15: Editor desky „Board“

Zpětná anotace

Od verze „Eaglu“ 3.5 a vyšší funguje tzv. zpětná anotace, v praxi to znamená, že určité změny provedené v desce se ihned automaticky promítnou zpětně do schématu. V desce lze měnit například hodnoty a názvy součástek. Pokud však chceme provést změnu v zapojení musíme se vrátit do schématu a změnu vykonat tam, úprava se automaticky přenesne i do již rozpracované desky. Pokud bychom se snažili změnu zapojení učinit přímo v desce, editor tuto činnost nedovolí. Program takto hlídá integritu mezi schématem a deskou. Tato vazba samozřejmě funguje pouze tehdy jsou-li oba editory spuštěny.

▪ Definování velikosti desky

Pro určení rozměrů desky je vhodné přepnout jednotky rastru na milimetry (příkaz **Grid mm**). Pokud nám vyhovuje pravoúhlý tvar desky můžeme rozměry EURO desky **upravit na požadovanou velikost pomocí příkazu Move**. Jinak máme možnost stávající obrys smazat (**Delete**) a nakreslit nový pomocí příkazu **Wire** ve vrstvě **20 Dimension**.

▪ Rozmístění součástek

Součástky rozmístíme na desku pomocí příkazu **Move**.

Rotace prvku - **Move** + pravé tlačítko myši

Optimalizace vzdušných spojů



– **Ratsnest**

Rozmístění součástek je jednou z nejdůležitějších fází návrhu plošného spoje, při nevhodném rozmístění se může stát celé zapojení nefunkční, proto je vhodné této fázi věnovat velkou pozornost a umisťovat součástky tak aby mohly být dodrženy zásady o vedení signálu deskou o rozvodu a blokování napájení, atd..

Při rozmisťování je dobré hojně používat příkaz pro optimalizaci vzd. spojů **Ratsnest** abychom se mohli orientovat podle jejich délky.

Umístění pouzdra ze strany spojů



– **Mirror**

V knihovnách jsou standardně pouzdra definovány pro umístění do vrstvy *1 Top*, pokud potřebujeme pouzdro umístit ze strany spojů vrstva *16 Bottom* využijeme příkaz **Mirror**.

▪ Pokládání spojů

Nyní je možné přistoupit k změně vzdušných spojů na spoje, které budou představovat předlohu pro „plošné spoje desky“. Pro „pokládání“ spojů jsou určeny vrstvy 1 až 16. Editor desky tedy umožňuje vytvářet až 16-ti vrstvé plošné spoje. Pokud bude deska jednostranná použijeme vrstvu *16 Bottom*, u dvoustranné desky využijeme vrstvy *1 Top* a *16 Bottom*.

Manuální pokládání spojů



– **Route**,

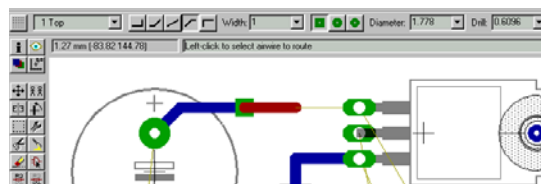
začátek - levé tlačítko myši,

úhel zalomení – pravé tlačítko myši,

konec – jedenkrát levé tlačítko při dotažení spoje na plošku, nebo dvakrát levé tlačítko myši,

změna šířky spoje - buď v menu nad pracovní plochou vybereme z předdefinovaných šířek spojů **Width**, nebo můžeme při pokládání spoje přímo zadat z klávesnice číslo (+ Enter) představující šířku spoje a to v jednotkách do kterých je přepnutý rastr.


změna vrstvy - nejdříve levým tlačítkem „pozastavíme pokládání“ spoje v místě kde chceme umístit průchod mezi vrstvami, poté v menu, nad pracovní plochou, vybereme vrstvu ve které bude spoj pokračovat. Program automaticky vygeneruje plošku *Via* pro vytvoření průchodu. Parametry *Via* můžeme taktéž zvolit v menu nad pracovní plochou.



Zrušení „položeného“ spoje



– **Ripup**

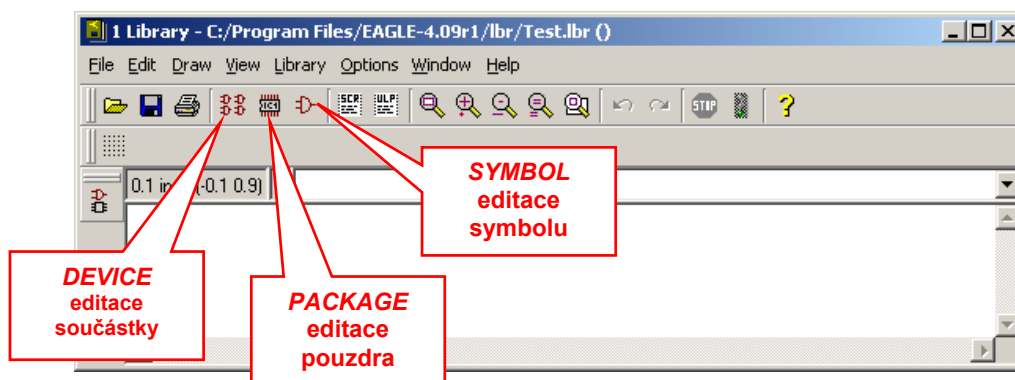
pokud chceme spoje zrušit (převést na vzdušné) všechny položené spoje příkaz ukončíme pomocí ikonky semaforu , nebo středníkem (**Ripup;**).

▪ Polygon - vytvoření souvislé plochy



7.8 Editor knihoven

Pokud chceme součástku vytvořit v nové knihovně založíme ji pomocí „Control Panel“, v menu *File-New-Library* otevřeme okno editoru knihoven. Knihovnu si uložíme příkazem *File-Save as*. Chceme-li součástku umístit do stávající knihovny, otevřeme ji pro editaci opět přes „Control Panel“ *File-Open-Library*.




Postup definování součástek si ukážeme na TTL prvku typu 7400. Nejdříve vytvoříme schématickou značku (symbol) poté pouzdro (package) a nakonec součástku „skompletujeme“ (device).

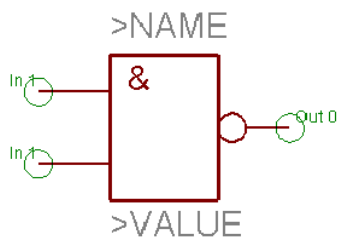
Editace symbolu

- Přepneme se do módu editace symbolu, založíme nový symbol NAND
- Schématickou značku bez pinů (terminálů) vytvoříme pomocí příkazů pro kreslení grafických obrazců (*Circle, Wire, Arc, Text, ...*) v hladině **94-symbols**, tloušťkou čáry alespoň 0,2mm. **Symbol vytvořte okolo počátku souřadnic!!!** Tam kde je počátek souřadnic bude vyvolávací bod sch. značky pro posun.
- Vložíme na vhodná místa v rastru 0,1inch (**rast 0,1inch nutno dodržet!!!**) terminály-piny. U „pinů“ je možné zvolit v „akčním“ menu nebo dodatečně

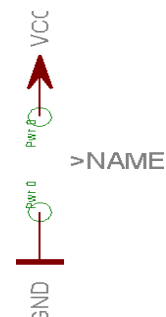
nastavit pomocí příkazu *Change* .

- *Function*, grafický vzhled pinu (dot, clock...),
- *Direction*, typ pinu pro ERC (In, Out, NC, ...)
- *Lenght*, délka
- *Visible*, volí se zda ve schématu u sch. značky bude viditelný, název pinu, název plošky, obojí případně vše bude potlačeno
- *SwapLevel*, pokud nastavíte stejnou hodnotu u více pinů bude možno signály na ně přivedené v editoru schémat prohazovat pomocí příkazu *Pinswap*, 0 prohazování zakazuje.






- Pomocí *Name*  změníme jména pinů tak, aby lépe než implicitní údaje vystihovala význam pinů.
- Do hladiny **95-Names** vložit text „>NAME“, do hladiny **96-Values** vložíme text „>VALUE“ pro potřeby umístění označení a typu součástky ve schématu.



- Pro integrovaný obvod typu TTL je třeba vytvořit samostatnou schematickou značku pro napájení obvodu - piny typu *Power*, pojmenované VCC a GND. Piny typu *Pwr (Sup)* mají tu vlastnost, že pokud mají stejné pojmenování budou automaticky propojeny aniž by musely být ve schématu umístěny (navíc svůj název přenášejí na signál který je k nim připojen).



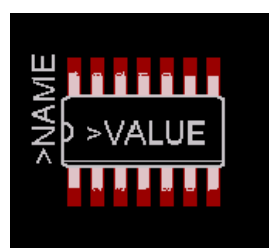
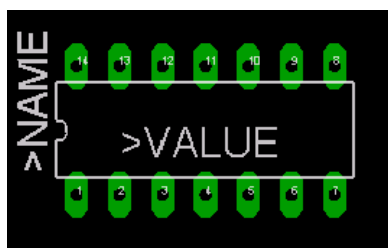
Editace pouzdra

- Přepneme se do módu editace pouzdra , založíme nové pouzdro DIL14, případně SMD pro variantu SO14.
- Umístíme příslušné plošky  vhodného tvaru, průměru plošky (diameter) i otvoru (drill),
 Diameter: 0.055 Drill: 0.032
- Obdobně se postupuje v případě vkládání SMD plošek 
- Pomocí *Name*  změníme jména „padů“ tak, aby lépe než implicitní údaje vystihovala význam pinů.
- Do hladiny *21-tPlace* se umístí motiv potisku - znázornění tvaru součástku pro osazování. Pro grafické informace používané jen na výkresech je vhodné používat hladin *51-tDocu*, případně *52-bDocu*
- Do hladiny *25-tNames* opět umístíme text „>NAME“, do hladiny *27-tValues* vložit text „>VALUE“.


Vytvořená pouzdra:



DIL14

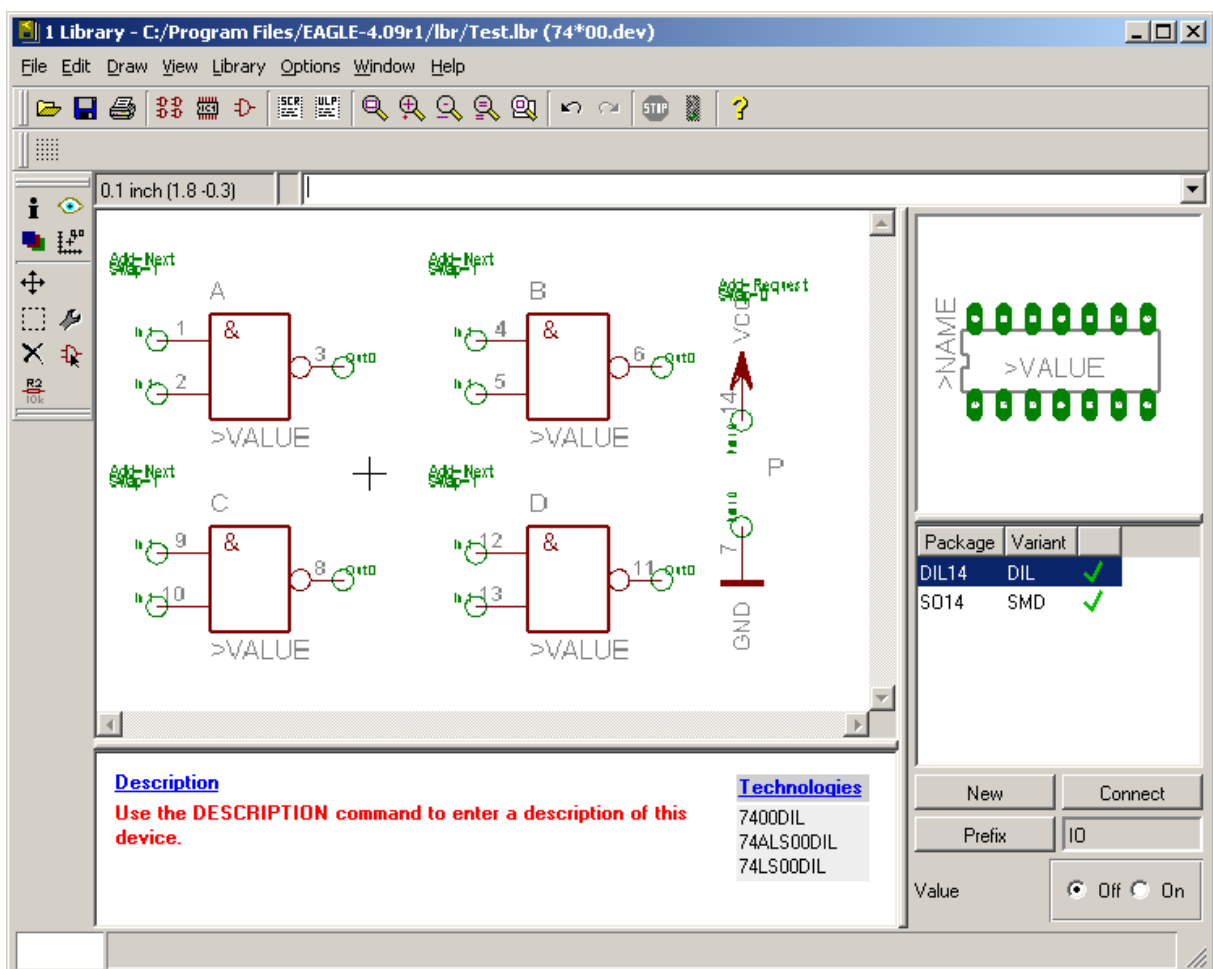
SMD SO 14



Editace součástky

- Přepneme se do módu editace součástky , založíme novou součástku 74*00. Hvězdička (*) umožňuje vytvořit více technologických variant dané součástky, např. 74ALS00, 74LS00, ... Pojmenování součástky se promítne do hodnoty součástky (VALUE).

- Vložíme symboly , které jsou potřeba pro definici propojení signálů na nožičky pouzdra - tedy například u odporu zde bude pouze symbol odporu, u popisu odvodu 7400 musíme umístit čtyři pouzdra NAND (addlevel - Next a Swaplevel - 1 pro povolení gate swapingu) a ještě napájecí symbol VCC a GND (Addlevel - Request, Swaplevel - 0). Případná opomenutí v nastavení lze opravit pomocí *Change*..
- Upravíme pojmenování jednotlivých symbolických prvků , tak, jak se mají v pozdějších schématech objevovat (například A, B, C, D...).
- Přiřadíme pouzdra *New* (pravé dolní okno), definujeme propojení jednotlivých pinů, terminálů s ploškami *Connect pin-pad*.
- Definujeme *Prefix* - promítne se do názvu (NAME) součástky v „Layoutu“.



Několik poznámek k vyvážení knihovních prvků:

Nové knihovny „Eaglu“ firma CadSoft vytváří podle následujících pravidel, pokud chcete zůstat kompatibilní se stávajícími knihovnami je dobré tyto pravidla dodržovat.

Symboly

- střed souřadnic (origin) je ve středu symbolu
- šířka čar (width) 16 Mil
- délka „pinů“ (length) pro integrované obvody je „middle“

- velikost textu (text size) pro >Name a >Value: 70 Mil, Ratio: 8
- vstupy jsou vlevo
- výstupy vpravo
- vzdálenost mezi „piny“ 100 Mil
- „piny“ jsou umísťovány především z leva nebo zprava
- vstupy "set" jsou umísťovány v horní části, "Reset" v spodní části symbolu, „clock“ uprostřed
- datové vstupy jsou odděleny čarou
- výstupy jsou naproti vstupům
- velikost symbolů integrovaných obvodů jsou malé tak jak je to možné

Pouzdra

- střed souřadnic (origin) je ve středu pouzdra
- velikost textu (text size) pro >Name a >Value: 70 Mil, Ratio: 10
- šířka čar (width): 5 Mil
- Pad Shape: Octagon
- Pad Diameter: 63 Mil
- Pad Drill: 32 Mil
- obrys SMD pads umístěn do hladiny tDocu (pro dokumentaci)

Devices

- Value On
- napájecí piny VCC a GND jsou ve zvláštním symbolu
- napájecí piny VDD, VSS apod. jsou součástí hlavní schématické značky

8 Návrhový systém Expedition

V následujících kapitolách se seznámíte s produktem Mentor Graphics WG2000.5 což je balík programů firmy Mentor zahrnující nástroje pro tvorbu, editaci a finální testy desek plošných spojů. Protože se jedná o komplexní program jsou podporovány další operace s návrhem související, jako např. návrh výchozího funkčního schématu nebo zátěžové tepelné testy osazené desky. Dále je systém vybaven nástroji pro definování vlastností používaných součástek, jako návrh pouzdra, návrh schematické značky, pájecích plošek a simulačního modelu součástky. S tím souvisí definice knihovny součástek, kterou využívají ostatní návrhové programy.

Firma Mentor Graphics patří v současné době ke světové špičce v oblasti automatizace elektronických návrhů schémat (EDA Leader – Electronic Design Automation) a proto má smysl se s tímto programem naučit pracovat. Pro více informací je možné navštívit domovskou stránku firmy <http://www.mentor.com/>. nebo četné odkazy na internetu.

Manuál obsahuje průvodce jednotlivými programy. Najde zde o detailní popis programu, ale o vysvětlení práce s těmito programy :

- Library manager– program pro tvorbu centrální knihovny součástek
- Design capture– program pro návrh elektrického schématu
- Symbol editor – program pro vytváření symbolů součástek
- Expedition PCB – program pro tvorbu plošného spoje včetně rozmístění součástek
- Thermal analysis – provede termální analýzu osazené desky

Je důležité pochopit hlavně následující kapitoly popisující tvorbu centrální knihovny součástek, protože ji následně využívají programy pro vytváření schémat a plošných spojů. Pokud bude knihovna navržena špatně, nebude zajištěna provázanost mezi programy a může se stát že z navrženého schématu nepůjde vygenerovat deska plošného spoje.

8.1 Obecná pravidla návrhu

Následující odrážky jsou řazeny chronologicky, při práci je vhodné dodržovat pořadí v jakém jsou uvedeny:

- Protože neexistuje implicitně vestavěná použitelná knihovna součástek, je potřeba si nejprve centrální knihovnu vytvořit. K tomu slouží Library manager.
- Součástky jsou uloženy v oblastech knihoven, tzv. **partition**. Ke každé součástce je třeba definovat její pouzdro, schematickou značku a pájecí plošku. Existují knihovny schémat, z nichž je možné importovat, viz podrobněji Library manager průvodce. Dále je potřeba vytvořit nebo importovat piny a tyto přiřadit ke schematickým značkám. Piny schematických značek přiřadit pouzdrům v tzv. mapování pinů. Tyto dílčí

informace definovat v **parts** oblasti – kompletní popis součástky. Tedy jednotlivé partition obsahují více parts které reprezentují jednotlivé součástky.

- Program pracuje s projekty, proto je na začátku práce potřeba vytvořit nový nebo otevřít stávající projekt z menu **Project**. Teprve až poté je možno tvořit nové soubory schémat, plošných spojů apod.
- Do nového projektu je potřeba definovat centrální knihovnu, z ní se berou součástky a modely vrstev desky.
- V adresáři projektu jsou uloženy dílčí výsledky. Schémata mají příponu *.sbk, plošné spoje *.pcb
- Program Design capture slouží k návrhu el.schématu. Je podporován vícevrstvý návrh, tj. je možno definovat blok a tento rozkreslit v novém schématu.
- Hotové schéma se kompiluje, tj. připraví se pro práci v Expedition PCB. V tomto procesu se schematickým značkám přiřadí pouzdra a volné spoje.
- Expedition PCB slouží k rozmístění součástek na desce a propojení mezi nimi dle schématu. Vodivé spoje se vedou definovanými vrstvami, implicitně je možno vybrat ze čtyřvrstvého nebo osmivrstvého modelu. Modely vrstev je možno editovat v Library manageru.
- Thermal analysis slouží k termální analýze navržené desky s osazenými součástkami. Simulací teplotního gradientu se zjišťuje, zda nejsou součástky a blízké oblasti plošného spoje nadměrně tepelně namáhány.

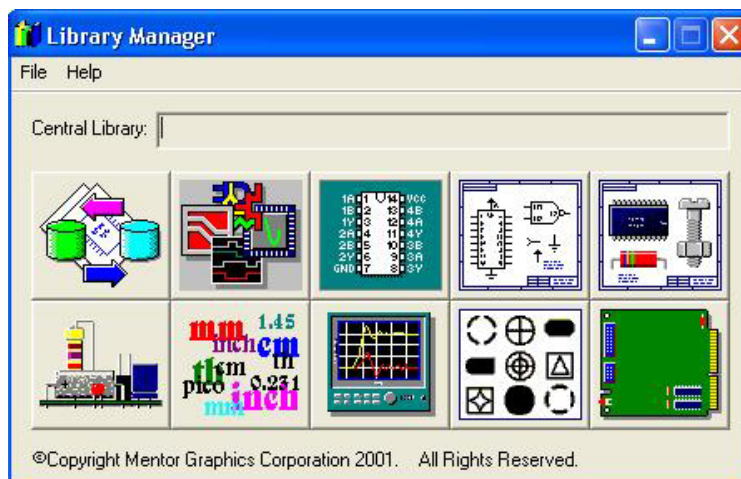
8.2 Library manager – editor knihoven

Tato kapitola vysvětluje proces vytváření vlastní knihovny a protože žádná solidní implicitní knihovna v Mentoru není k dispozici, je to ta nejdůležitější část projektu který tvoříme. Bez správně nadefinované knihovny nebudeme mít k dispozici schematické značky pro návrh v design capture a nebude možná kompilace schématu do expedition PCB.


Vytváření uživatelské knihovny je možné dvěma způsoby:

- Použitím hotových definic součástek a implementací do vytvářené knihovny
- Součástku si kompletně definujeme sami

Zvolíme kombinaci obou způsobů. Definice které najdeme v implicitních knihovnách využijeme, zbytek vytvoříme sami. Spustíme Library Manager v **Start-Programy-Mentor Graphics WG2000.5-Parts Manager Administrator-Library Manager**. Jsou k dispozici následující editory, jmenovány po řádcích zleva: Library Services, Common Properties, Parts Database, Symbols, Cells, Parts Manager, Units Display, IBIS Models, Padstacks a Layout Templates:




Obr. 16: Program Library manager

Definujeme novou knihovnu: **File-New** a proklikáme se k adresáři kde bude naše knihovna uložena. Do cílového adresáře se nepřepínáme, pouze na něj klikneme. **OK**. Spustíme **Edit-Partition Editor**. Zde definujeme „šuplíky“ do kterých si budeme ukládat vytvořené nebo importované součástky. Na záložce **Symbols** (informace o symbolech) vytvoříme novou partition, tlačítko **New** . Pojmenujeme ji **astabko**. Přepneme se postupně na záložky **Cells** (informace o pouzdrech) a **PDBs** (prováže symboly a pouzdra) a vytvoříme partitions stejného jména. Nyní do partitions importujeme data:


8.2.1 Library services

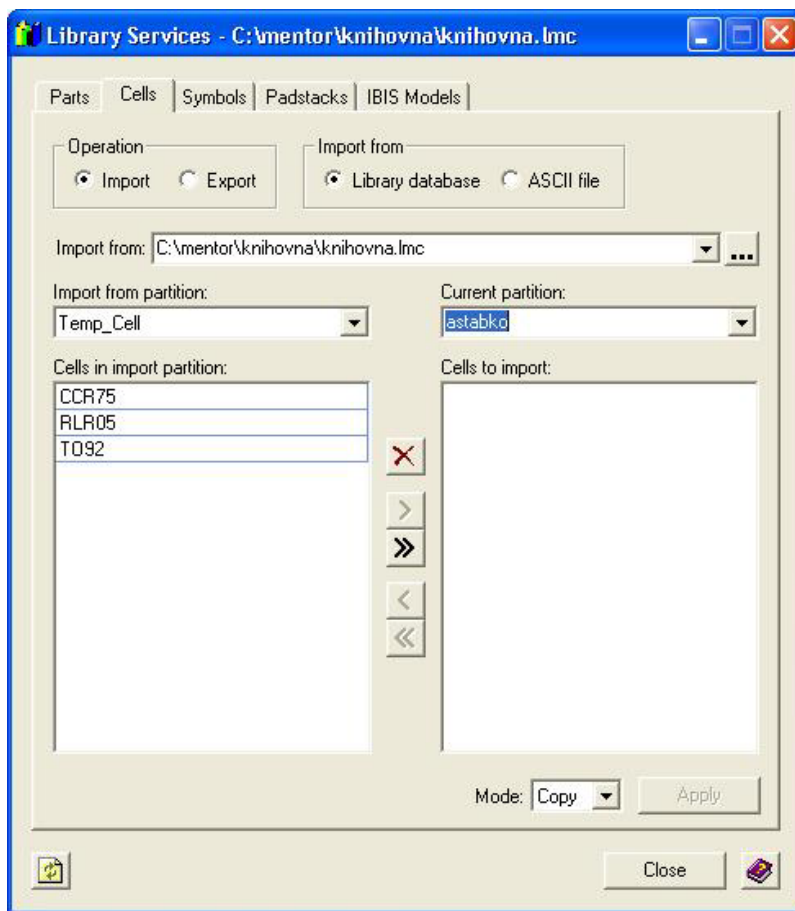
Klient pro import pouzder, symbolů, pájecích plošek do vytvořených oblastí – partitions. Na záložce **parts-Import from** nastavíme defaultní knihovnu ...2000.5\vbcore\Central_Library\vbcore.lmc. Z této budeme importovat do naší nové knihovny.

V **Import from partition** vybereme postupně tyto: Rezistor_RLR05 Capacitor_CCR75 a Tranzistor_BJT a z každé vybereme vždy např. první součástku. Zkontrolujeme, že máme

nastaveno kopírování součástky a ne přesunutí, v okně **Mode** nastavíme **Copy**. Stiskneme  a potvrdíme volbu stiskem **Apply**. Pokud jsme příslušnou součástku správně importovali, ve zdrojové knihovně se zobrazí modře. V této fázi tedy máme v záložce **Parts** v partition **astabko** např. tyto tři součástky: tranzistor AD2F3D, kondenzátor CCR75CG101FS a rezistor RLR05C__FR.

Nyní se přepneme na záložku **Cells**. Když se podíváme do boxu **Current partition**, zjistíme, že tu přibyla nová partition **Temp_Cell**. Ta se vytvořila po importu do knihovny Parts. Kopírovalo se pouzdro i symbol součástky asociované se symbolem parts.



Importujeme z Temp_Cell do námi vytvořené partition astabko stiskem  a potvrdíme **Apply**. Součásti z Temp_Cell se prosvítí modře.



Obr. 17: Import pouzder, symbolů a kompletních součástek do uživatelské knihovny.

Přepneme se na záložku **Symbols** a podobně importujeme z Temp_Cell do astabko. V této fázi máme definovány pouzdra a symboly, které musíme mezi sebou provázat a dodat pájecí plošky – vytvořit kompletní popis součástky. Opustíme menu Library services stiskem **Close**.

8.2.2 Symbols

Spouští program Design Capture symbol editor pro editaci a vytváření symbolů v knihovně. Je požadována partition ve které se bude pracovat. Zkusme si vytvořit nový symbol pro rezistor. Stiskneme New  a vybereme oddíl (partition) astabko. Stiskneme Symbol , zadáme jméno např. RES2 a typ součástky **Passive discrete**. Nakreslíme

klasický rezistor a přidáme piny. Klikneme na pin, v záložce general vybereme typ pinu **Bidirectional** a pojmenujeme ho. Nyní dodáme popis součástky. V kreslení je ikona **Text**, stiskneme, na záložce **Type/Value** v okně **Type** vybereme postupně Pin Number, Value, Tolerance a Ref designator, které můžeme postupně pojmenovat. Po každém výběru stiskneme **Apply**. Tímto je symbol hotov. Uložíme **Ctrl+s** a opustíme program.

8.2.3 Padstacks


Spouští Padstack editor. Slouží k definici pájecích plošek, děr a k jejich spojení v jeden celek - Padstack. Nejprve definujeme osazovací díry v záložce **Holes**. Vytvoříme kruhovou díru:

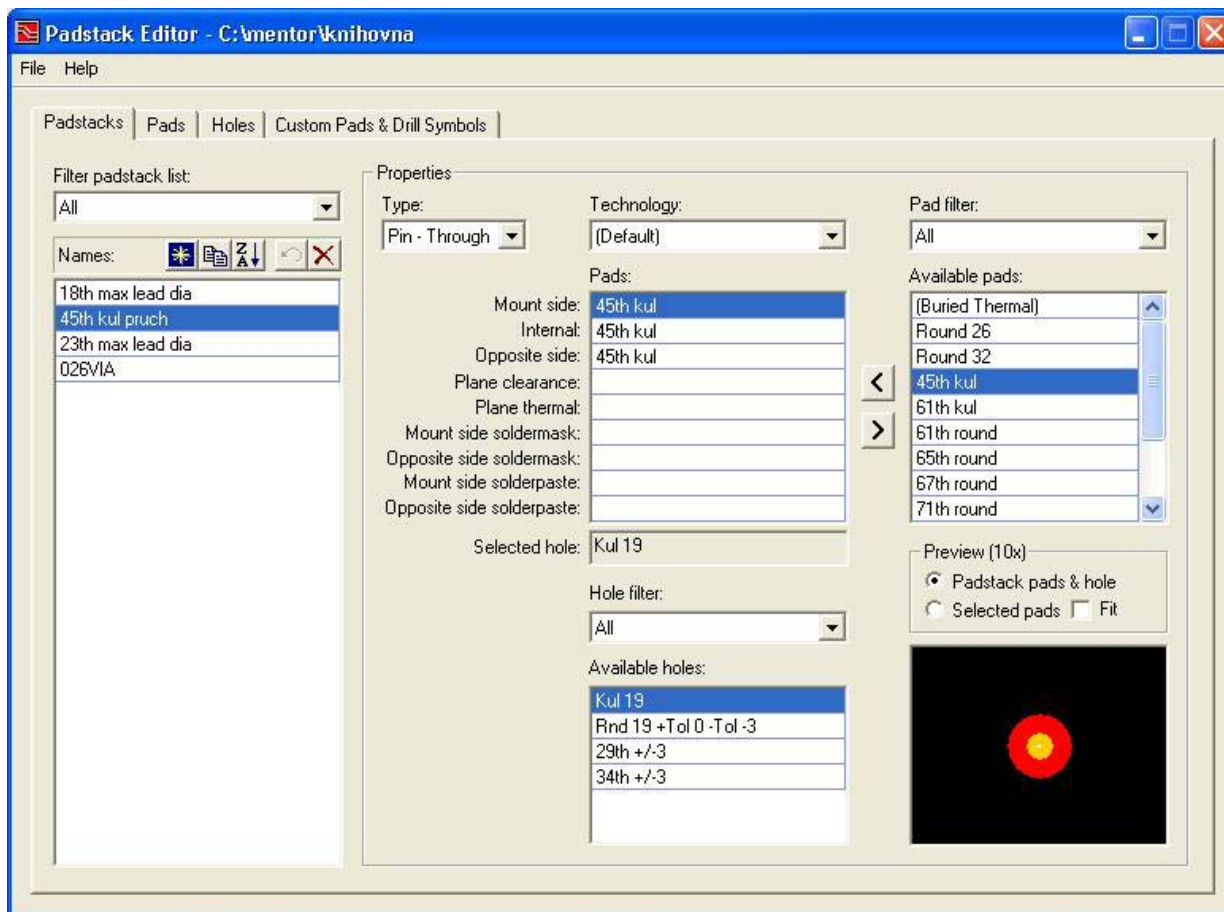
- Klikneme na **New Hole**, pojmenujeme např. **Kul 19**
- V properties nastavíme **Unit-Th**, **Type-Drilled**, **Hole size – finished-Round** a **Diameter** (průměr) **19**. Je možno dopsat toleranci vrtání.
- V Drill symbol assignment vybereme z nabídky **Use drill symbol from list** a vybereme libovolný symbol z nabídky.

Nyní vytvoříme pájecí plošku:

- Na záložce **Pads** duplikujeme tlačítkem **Copy Pad** plošku **61th round**, nastavíme průměr 45 v jednotkách th a pojmenujeme např. **45th kul**
- Je možné definovat i termální plošky nebo obdélníkové SMD plošky.


Pájecí plošky a díry zkompletujeme v záložce Padstacks

- Vytvoříme nový padstack a pojmenujeme např. **45th kul pruch**.
- V properties padstack sestavíme: V Type volíme zda se jedná o průchozí pin (**Pin-Through**) nebo povrchový (**Pin-SMD**), pro demonstraci zvolme např. Pin-Through.
- V okně Available Pads vyberme např. 45th kul. kterou jsme vytvořili. V okně Pads vybereme vrstvy do kterých chceme plošku zkopírovat. Je možno využít klávesy Ctrl a Shift pro více výběrů. Vybereme první tři vrstvy (Mount, Internal, Opposite)
- Stiskem  plošku zkopírujeme do vybraných vrstev
- Do padstacku vložíme vytvořenou díru volbou např. Kul 19 v okně Available holes.
- Během našeho vytváření padstacku se zobrazuje náhled jak je uvedeno na dalším obrázku.
- Uložíme knihovnu padstacků Ctrl+S.
- Tím máme pájecí plošky hotové a můžeme opustit Padstacks editor.



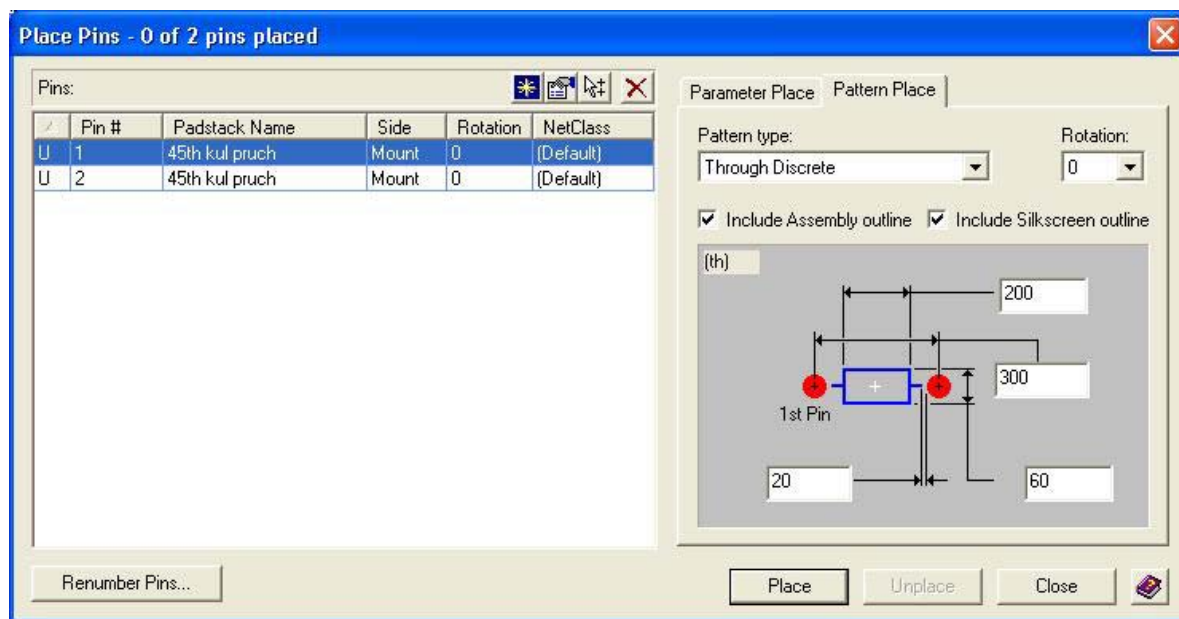
Obr. 18: Editor padstacků.

8.2.4 Cells

Spouští Cell Editor. Zde je možné editovat stávající a vytvářet nová pouzdra součástek, kopírovat pouzdra nebo zrušit záznam o pouzdrech. Pokusíme se vytvořit nové pouzdro pro rezistor. Nastavíme naši partition astabko. Na záložce Package stiskneme ikonu New cell .

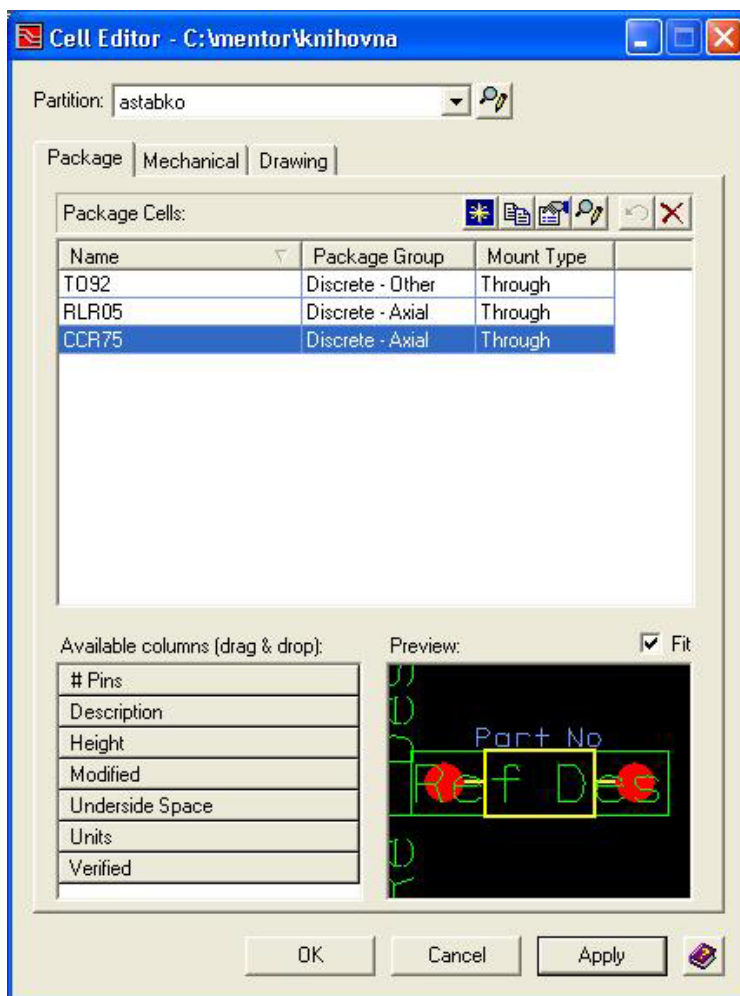
V novém dlg. okně zatrhneme volbu Create new cell a pojmenujeme pouzdro např. RCell. V editačních oknech v dolní části zadáme toto:

- V total number... 2 (počet pinů součástky)
- V Layers... 2
- V package group... vybereme z nabídky Discrete-axial
- Stiskneme Next >>
- V dalším okně v sekci Pins přiřadíme pinům námi vytvořený padstack 45th kul pruch (Ve sloupci Padstack name).
- Dále vybereme vpravo umístěnou záložku Pattern place – definujeme pouzdro. V Pattern type vybereme vzor Through discrete. Pokud chceme definovat pouzdro pro jinou rotaci než 0°, vybereme si úhel v **Rotation**.
- Definujeme rozměry pouzdra a pokračujeme Place.



Obr. 19: Editor padstacků.


- Otevře se Cell editor, zde se dá opět součástka editovat. Upravíme jen popisky Ref Des a to tak že se budou překrývat. Uložíme Ctrl+S a ukončíme Cell editor.
- Pokud chceme vidět skutečný rozměr pouzdra zrušíme zatržení tlačítka **Fit** u okna s náhledem součástky.
- Je možné dodatečně editovat vybranou partition, přejmenovat jméno pouzdra **package** nebo editovat pouzdro stiskem **Edit Graphics** tlačítka.
- Uložíme změny **Apply** a ukončíme.



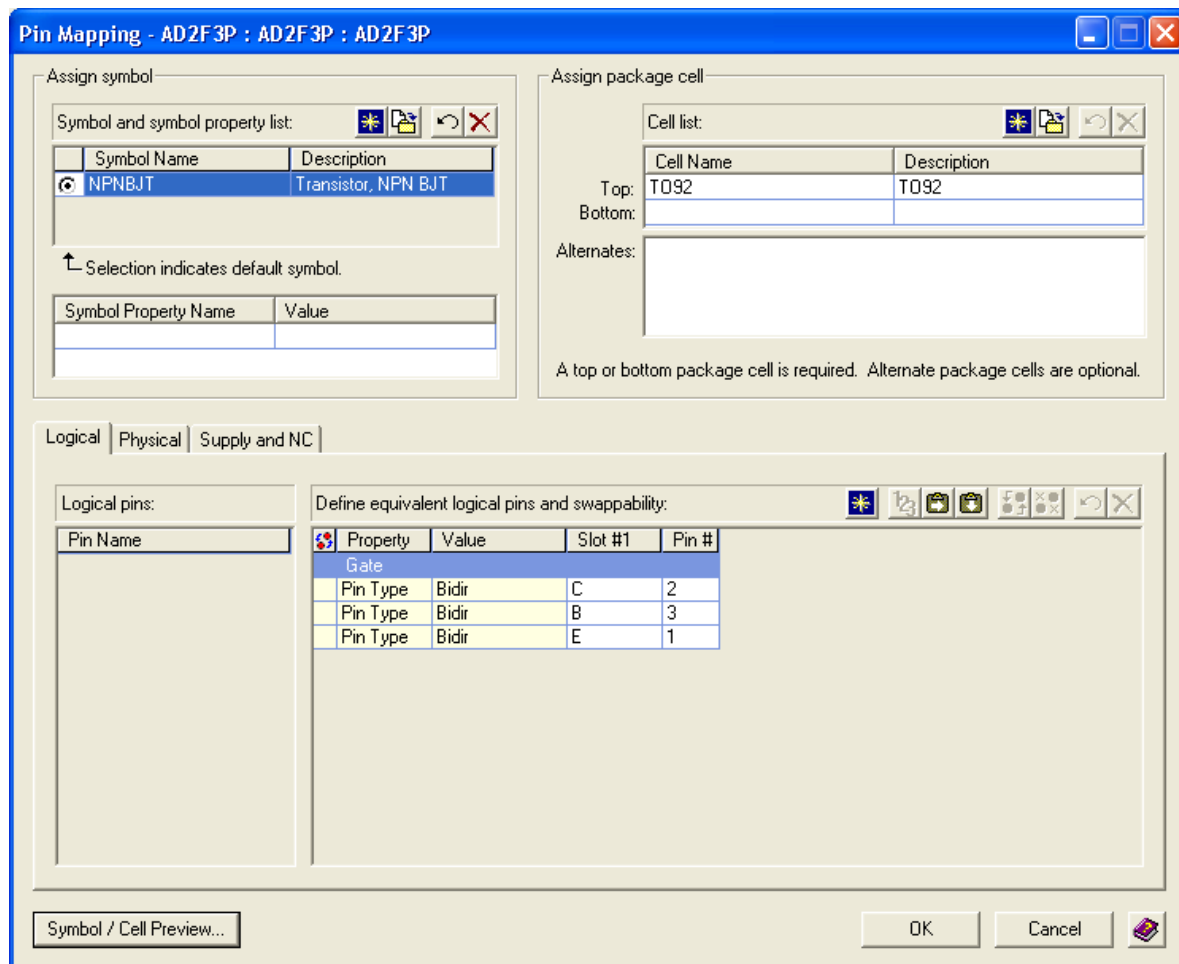
Obr. 20: Editor pouzder součástek.

Nyní máme definováno nové pouzdro i novou schematickou značku pro rezistor. Zbývá je spojit dohromady a přiřadit logické piny pinům schematické značky. Toto se provádí v Parts databázi.


8.2.5 Parts database

- Nastavíme partition astabko.
- Změníme názvy jednotlivých parts aby nám název něco říkal. Poklepeme na název a napíšeme co potřebujeme.
- Můžeme změnit označení součástky, u tranzistoru je nevhodně použita zkratka Q, změnu provedeme v okně Reference des prefix na **T**
- Provedeme namapování pinů pro náš nový rezistor, označíme part s rezistorem, stiskneme **Pin mapping**
- V assign symbol je defaultně nastavena schematická značka jiná než ta, co jsme vytvořili. Stiskneme ikonu import  a vybereme z nabídky námi vytvořený symbol **RES2** a **OK**. Zatrhneme rádiové tlačítko u Res2 – nastavíme jako defaultní tuto značku.

- V dolní části je záložka **Logical**, kde provedeme propojení pinů značky s pouzdem. V okně Pin name jsou nepřirazené piny, které zapíšeme do sloupce Slot#1, ten představuje piny na fyzické součástce.
- Na přiřazení se můžeme podívat, když stiskneme **Symbol/Cell preview**.
- Je možné přiřadit alternativní symbol, a to importem. Takový symbol se objeví v okně assign symbol, ale nebude na něm radiové tlačítko.



Obr. 21: Mapování pinů.

Tímto máme databázi součástek hotovou. Ještě zmínka o vložení databáze do projektu: Při vytváření schematu v Design Capture nejprve zakládáme nový projekt a nové schema. Knihovnu vložíme do projektu v menu Project-Settings v záložce Central Library. Do schematu pak vkládáme součástky pomocí ikony Device . Tímto způsobem máme zajištěnu kompatibilitu s Expedition PCB, který naše dílo převede na součástky na desce.


8.3 Design Capture – editor schémat

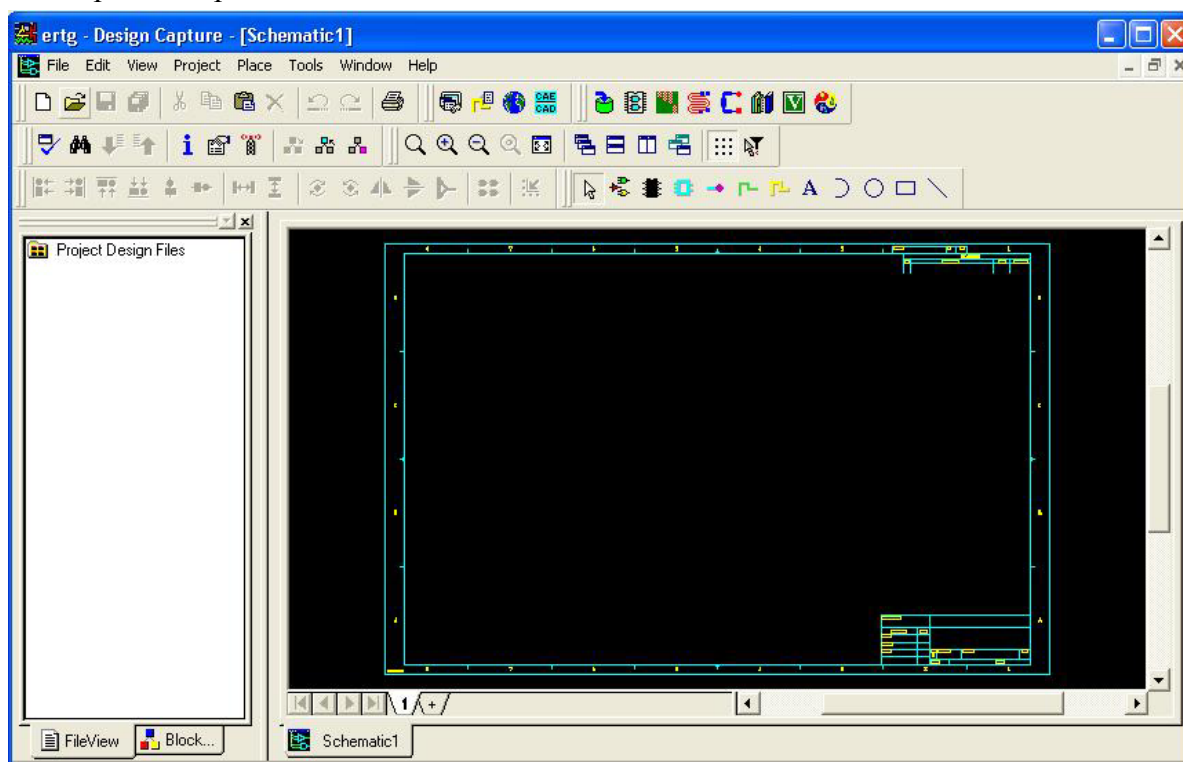
Design Capture je součástí balíku programů firmy Mentor a slouží k návrhu a úpravám el.schemat. Takto vytvořená schemata mají příponu *.sbk a jsou podkladem pro návrh tištěných spojů v Expedition PCB.

Pozn. Výběry z menu a stisknutí tlačítek jsou v dalším textu označena kurzívou.

8.3.1 Jak začít?


Program pracuje s projekty, proto si jeden nejprve vytvoříme.

- V menu vybrat *Project-New* a zadat název projektu, ten bude obsahovat později i soubory které si uložíme v dalších programech Mentoru (v Design Capture mají soubory příponu *.sbk a jsou to schemata).
- Dále klikneme *Další, Další, Dokončit*.
- Na plovoucí liště stiskneme *New*  a z nabídky vybereme *Schematic*. Otevře se pracovní plocha s rámečkem:



Obr. 22: Program Design capture

Velikost výkresu si můžeme zvolit takto:

- V menu *view-select filter* zatrhneme *unselectable symbols*, označíme rámeček a smažeme.
- Na paletě *Place* vybereme *Symbol*  -border a vybereme požadovanou velikost poklepáním

- Umístíme rámeček na pracovní plochu.
- Zrušíme další činnost dvojklikem pravého tlačítka.

Definice centrální knihovny projektu

- V menu Project – Settings na záložce Central Library vybereme naši uživatelskou knihovnu kterou jsme vytvořili v Library manageru.
- Stiskneme OK, nyní lze používat ikonu Device pro rozmísťování symbolů.



Nyní můžeme začít umísťovat komponenty a propojit je.

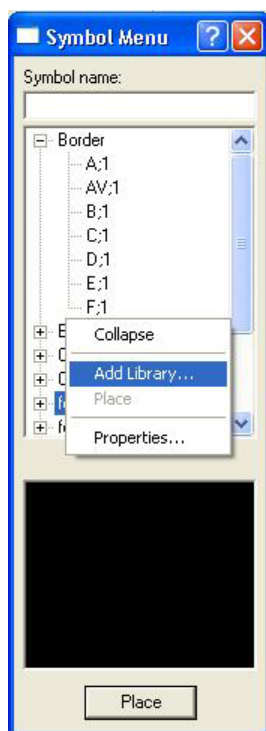
8.3.2 Umísťování komponent a kreslení spojů

Nástroje jsou na paletě *Place*



Umísťování požadovaných symbolů:

- Pokud nám stačí vytvořit pouze separátní schéma bez možnosti tvorby plošného spoje, tak na liště place vybereme tlačítko *Symbol* , rozbalíme požadovanou knihovnu a vybereme součástku. Stiskem *Place* nebo poklepáním na součástku umístíme na pracovní plochu. Přes ikonu symbol není vhodné schéma kreslit, protože pak nefunguje kompilace schématu pro návrh desky v Expedition PCB.
- Ukončení výběru součástky - pravý *dbl click* nebo. *Esc*
- Pokud jsme definovali v projektu centrální knihovnu, můžeme vybírat komponenty přes ikonu *Device*. Ta je vhodnější právě pro návaznost na vytváření plošného spoje. Kompilace je pak bez problémů.
- Rotace a zrcadlení součástek paleta *Modify* 
- Defaultní knihovny nemají velký výběr součástek, přidání vlastní knihovny stiskem pravého tlačítka myši (knihovna součástek design.slb, pouze v režimu symbol):.

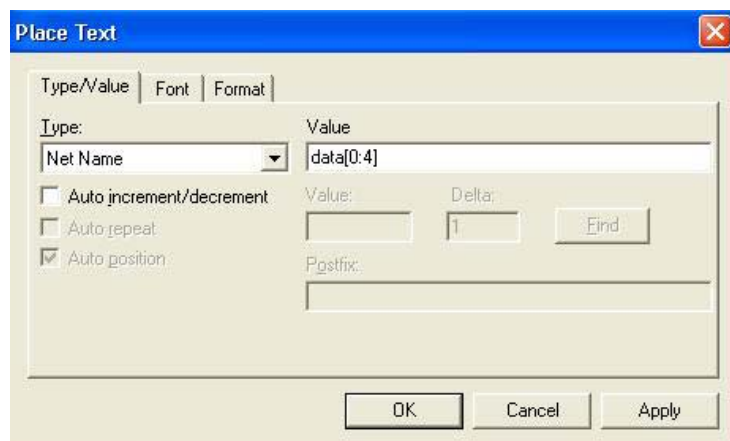


Obr. 23: Výběr knihovny v režimu symbol

- Vytváření funkčních bloků – používá se při vytváření vícevrstvých schémat. V hlavním schématu je součástí blok symbolická a zastupuje dílčí schéma uložené v jiném souboru. Je to 4 ikona Block zleva na paletě Place. V dialog. okně zadáme název bloku, Enter a umístíme blok. Na obvod bloku je třeba umístit V/V piny – 5 ikona Pin.

8.3.3 Kreslení spojů a sběrnic

- Propojovací čára 6. ikona zl. Wire
- Pokud správně nepřipojíme vodič k pinu schematické značky, je konec vodiče zakončen červeným křížkem. Je možné uchopit konec vodiče a dodatečně jej natáhnout k pinu.
- Sběrnice 7. ikona zl. Bus, klikáním sběrnici nakreslíme tam kam potřebujeme, dvojklikem kreslení ukončíme. Nyní definujeme vodiče ve sběrnici: V menu place stiskneme 8. ikonu zleva Text, a definujeme vodiče dle následujícího obrázku (pro 5 vodičů):
- Potvrdíme stiskem **OK**



Obr. 24: Výběr knihovny v režimu symbol

- Propojovací čáry které vstupují do sběrnice táhneme na sběrnici, *dbl click* a vybereme ze seznamu požadovaný vodič sběrnice.
- U propojovacích čar ze sběrnice musíme opět vybrat vodič sběrnice ze seznamu.

Náhledy a „zoomovací“ nástroje

Nástroje jsou na paletě Window:



- Náhled označené součástky nebo skupiny – 4. ikona *zl. Fit selected*
- Náhled vybrané oblasti - 1. ikona *zl. Zoom area* a tažením přes oblast, shortcut *Shift+scroll lock myši+tažení...*
- Zobrazení celé prac. plochy 5. ikona *zl. Fit all*
- Rychlý zoom *Scroll lock*.

8.3.4 Kreslení „hierarchických“ schémat

Design capture dovoluje kreslení „vícevrstvých“ schémat, což zvyšuje přehlednost a použití již nakreslených částí obvodů uložených v jiných schématech. Pro vícevrstvé kreslení musí být ve schématu obsaženy bloky. Používají se nástroje palety *miscellaneous*




Postup pro vytváření schémat z bloku (Top-Down hierarchy):

- V hlavním schématu máme součástku typu block, kterou označíme.
- Klikneme na ikonu *Push*, vytvoří se nový soubor se jménem bloku, ve kterém jsou už vloženy V/V konektory do hlavního schématu. Ke konektorům připojujeme součástky a vytváříme funkční obvod bloku.
- Pokud se při ukládání dotazuje, jestli vložit nové schéma do projektu, tak *yes*.

Postup pro vytváření bloku ze schématu (Bottom-Up hierarchy):

- Vytvoříme schema které obsahuje V/V konektory hierarchie. Tj, vedeme propojovací čáru klikneme pravým tlačítkem myši a z menu vybereme *Add input (output) hierarchical connector*. Takto vytvořený konektor pojmenujeme. Stejným postupem vytvoříme ostatní konektory.
- Uložíme schéma a vrátíme se do hlavního schématu.
- Definujeme nový funkční blok *File-New-Block symbol*, vybereme generování ze souboru:

**Obr. 25:** Výběr knihovny v režimu symbol

- Stiskneme *Další* a vybereme ze seznamu schéma které bude tvořit blok
- Stiskneme *Enter*, vytvoří se blok s názvem schématu obsahující V/V konektory. Tento blok je možno editovat.
- Blok uložíme do projektu, dále je s ním možno pracovat v hlavním schématu.
- Blok je z hlavního schématu přístupný přes ikonu *Block*. 

8.3.5 Ověření správnosti navrženého schématu:

Máme-li schema navrženo a uloženo, je vhodné provést kontrolu propojení součástek a funkčnosti bloků. Použijeme paletu *Miscellaneous*, ikonu *Verify*. Výsledek testu se zobrazuje v dolním okně *Output*, záložka *Verify*.


8.4 Expedition PCB – editor desky

Expedition PCB je součástí produktu Mentor Graphics WG 2000.5 a slouží k návrhu a úpravám plošných spojů včetně osazení součástek. Takto vytvořené tištěné spoje mají příponu *.pcb. Abychom mohli vytvářet nové plošné spoje, je potřeba mít vytvořené schéma v Design capture a mít nadefinovaná pouzdra používaných symbolů součástek.

Pozn. Výběry z menu a stisknutí tlačítek jsou v dalším textu označeny kurzívou.

8.4.1 Jak začít?

Chceme vytvořit soubor *.pcb který bude součástí našeho projektu a bude tištěným spojením našeho navrženého schématu. Tedy musíme:

- Z menu *File-New* spustit *Job management wizard* a načíst  náš projekt s hotovým schématem
- Pokračujeme *Další*, můžeme vybrat počet vrstev Tištěného spoje v *PCB layout template*
- Pokračujeme *Další* a dostaneme se do kompilačního dialogu:



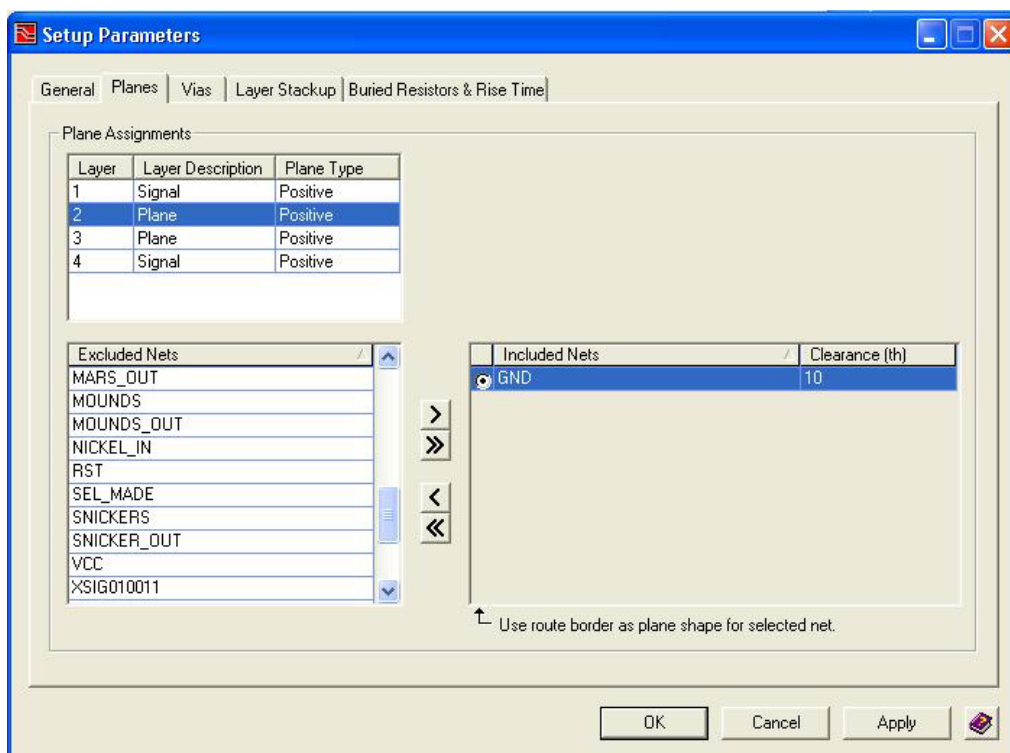
Obr. 26: Kompilace schématu do Expedition PCB

- Pro naši práci je vhodná volba kompilace *Forward annotation*
- Spustíme *Start or continue process*, výsledek se zobrazí v okně *Process status*, je možné zobrazit zprávu o průběhu kompilace stiskem *View process report files*.
- Stiskneme *Dokončit-Close*, v adresáři našeho projektu se vytvoří soubor *.pcb
- Nyní můžeme tento soubor otevřít *File-open*

8.4.2 Úprava vodivých vrstev a tvaru desky

Pokud potřebujeme změnit vlastnosti vodivých vrstev desky, musíme změnit nastavení v setupu:

- Z menu spustíme *Setup-Setup parameters* a vybereme záložku *Planes*.
- Změna parametrů vrstev v okně *Plane assignments*, vrstva může být typu *signal* (pro tažení spojů) nebo *plane* (typ se vybere z okna *Excluded nets*, např. typ GND je zemní vrstva) chceme-li zemní vrstvu, nastavíme ji poklepáním na *plane*, poklepáním na GND a zatržením radiového tlačítka u položky GND v okně *Included nets*.





Obr. 27: Definice vrstev desky

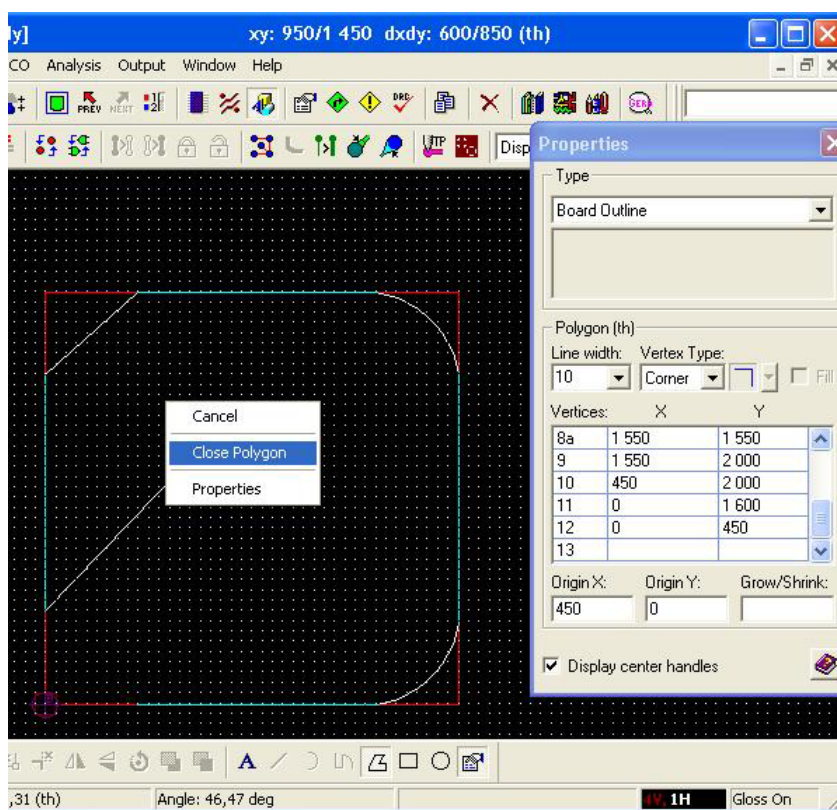
- V záložce *General* lze definovat počet vrstev desky
- Stiskem *OK* se načte aktualizovaná databáze *Layout*
- Vrstvy 2,3 nastavíme na typ *plane*, a upřesníme 2 – VCC a 3 – GND, tím jsme definovali vodiče pro napájení a zemní vodič, více viz str. 4

8.4.3 Draw mód

Pokud chceme upravit rozměry nebo tvar desky:


- Musíme být v kreslicím modu (*draw mode*), ikona  na liště
- Je vhodné zapnout rastr, pokud není defaultně zobrazený. V menu *View-Display* kontrol zatrhneme v oddílu *Grids* položku *Drawing*
- Změna tvaru/velikosti desky se provádí v *Edit-Properties*, nebo na liště stiskem 

- Vybereme *Board outline*, na dolní liště *Draw* se zpřístupní kreslení polygonu, obdélníka a elipsy.
- Vybereme polygon (obd, elipsu) a klikáním vytváříme nový okraj desky. Polygon ukončíme stiskem pravého tlačítka a *Close polygon* nebo klikem na první bod polygonu.
- Okraje lze definovat i ručně, na paletě *properties* se zadají souřadnice X,Y a Enter
- Lze definovat kulaté okraje desky(*round*)nebo zkosení(*chamfer*) ve *Vertex type* okně (*Properties*)
- Návrh může vypadat takto:




Obr. 28: Definice tvaru a velikosti desky

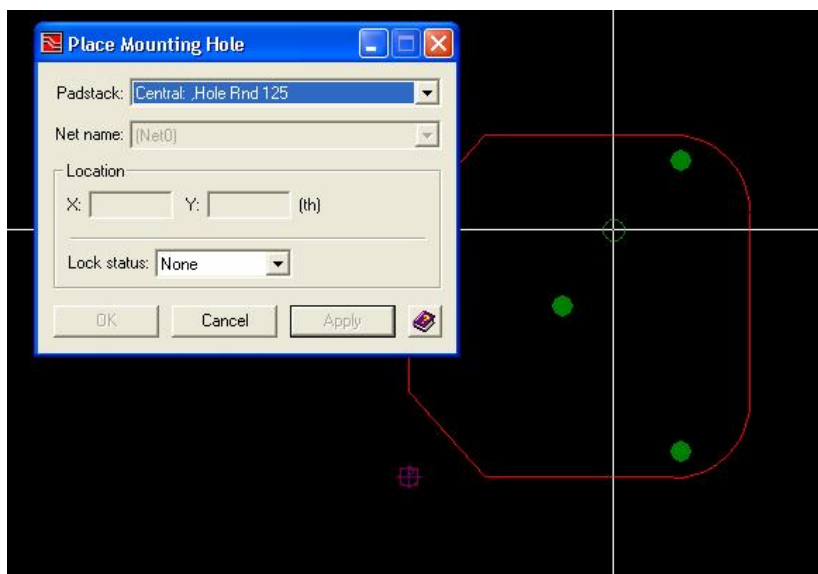
Vymezení vodivé plochy pro tažení spojů

- Musíme být v kreslicím modu (*draw mode*) ikona  na liště
- Obdobný postup jako při definici tvaru desky, jenom v *Properties* vybrat typ vrstvy *Route Border*.
- Rychlejší je vyjít z tvaru desky a pořídit kopii tvaru. Označíme obrys desky, podržíme Ctrl a dvakrát klikneme. Vytvoří se duplicitní vrstva *Draw Object*, v *Properties* vybereme typ vrstvy *Route Border*, té se přiřadí kopie. Je k dispozici okno *Grow/Shrink*, kde se v bodech zadá zvětšení/zmenšení obrazce(pro zmenšení např. použijte -25).

8.4.4 Route mód


Umožňuje rozmístění pájecích plošek (je potřeba je mít definovány v centrální knihovně projektu) a spojů.. Rozmísťování pájecích plošek:

- Musíme být v *route módu*, ikona na liště , z menu *Edit-Place-Mounting Hole...* vybereme typ plošky (*padstack* – zdrojem je opět definovaná knihovna) zadáme buď souřadnice X,Y manuálně a potvrdíme *Apply* nebo nezadáme X,Y stiskneme *Apply*, objeví se kříž, kliknutím na desce umístíme jednotlivé *padstacky*. Umístíme libovolný počet plošek. Konec *Cancel*.



Obr. 29: Ukázka rozmístění pájecích plošek nebo děr na desce

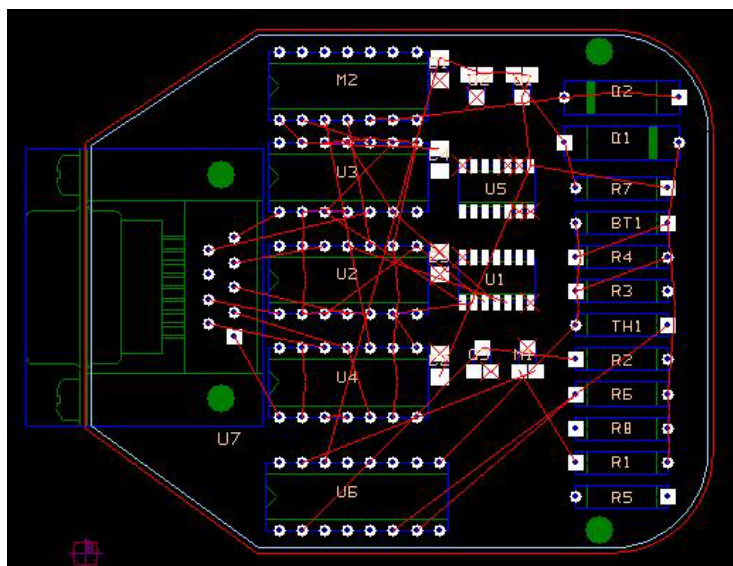
8.4.5 Place mód

V tomto módu rozmísťujeme součástky. Aktivuje se stiskem . Nejprve je potřeba nastavit pracovní prostředí. Na pracovní ploše stiskneme pravé tlačítko myši a vybereme *Editor Control...*, nastavíme parametry rastru na záložce *Grids* na hodnotu 50 v oknech *Primary Part Grid* a *Secondary Part Grid*. Nyní již nic nebrání rozmísťování součástek.

Stiskneme , objeví se dialog *Place Parts And Cells*. Umístění součástek



- Zvolíme zobrazovací kritérium v *Criterion* na *Ref Des*. Zobrazí se součástky, které jsme definovali do knihovny projektu.
- Kliknutím na šipku/dvojitou šipku umístíme vybranou součástku/všechny součástky do boxu *Active*
- Součástky umístíme na ploše po stisku *Apply*.
- Pokud potřebujeme součástku otočit, otočení o 90° klávesa F3, otočení o 180° F4 a umístění na opačnou stranu desky F5.
- Souřadnice právě umístěvané součástky se ukazují na horní liště aplikace.
- Chceme li mít očíslovány piny součástek, Klikneme pravým tlačítkem myši na ploše, v menu vybereme *Display control* – záložka *Part pole Pin Numbers*.

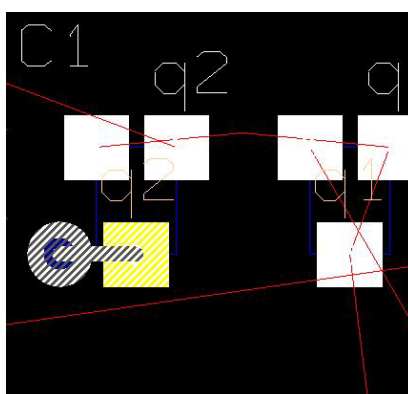
Výsledek může vypadat například takto:



Obr. 30: Rozmístování součástek na desce


Nyní můžeme začít propojovat rozmístěné součástky:

- Nastavíme routovací parametry – stiskem  *Edit Control*, vybereme záložku *General*, v sekci *Layers* vybereme vrstvy pro tažení spojů. (1 – top, 4 – bottom pro dvouvrstvý plošný spoj)
- V záložce *Routes* je možno definovat parametry tažení spojů.
- Budeme potřebovat lištu *Route*, pokud není zobrazena zvolte *View-Toolbars-Route*.
- Definovali jsme dvě vrstvy pro tažení spojů, router automaticky vybírá vrstvu podle potřeby. Je možné manuálně nastavit tažení do druhé vrstvy. Označíme pin součástky nebo skupinu pinů a stiskneme ikonu *Fanout* . Pozn: výsledek je viditelný jen u smd součástek, u klasických součástek je přímo pod pájecí ploškou:



Obr. 31: Vytváření „fanoutů“

- Manuální tažení spojů: táhneme spoj z jednoho pinu k druhému zvolenou trasou, tzv. režim *Plow*, je implicitní

- Skupinové tažení spojů: označíme skupinu pinů, z nichž chceme táhnout spoje a stiskneme ikonu *Route* 
- Tažení zvoleného spoje: klikneme na spoj a stiskneme *Route*.

Výsledek našeho snažení může vypadat takto:

Seznam použité literatury

- [1] Záhlava V.: Metodika návrhu plošných spojů, skriptu ČVUT, Praha 2000.
- [2] Abel M: SMT Technologie povrchové montáže, nakladatelství PLATAN, Pardubice 2000.
- [3] FILKA, M.: Telekomunikační projekty. Skriptum. VUT Brno, VN MON, Praha 1989.
- [4] CadSoft: Eagle 4 User Manual, CadSoft 2001.
- [5] Mentor Graphics: Expedition - User Manual, Mentor Graphics Corporation 2001.
- [6] <http://www.smtplus.cz/>
- [7] <http://web.quick.cz/plhal/>
- [8] <http://www.semach.cz/>
- [9] <http://smt.pennnet.com>