

## Desky s plošnými spoji a jejich výroba :

Vývoj vzájemného spojování elektronických součástek jde v celé historii elektroniky souběžně s jejich modernizací. V začátcích radiotechniky byly vývody součástek řešeny jako přípojovací šroubky s maticemi, pod které se přitahoval propojovací drát. To si vyžadovala značnou rozměrnost součástek. Propojovací vodiče, ať izolované nebo vzhledově hezky do pravoúhlých obrazců. 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 upadá na několik let v zapomnění. Teprve vývoj nových materiálů a výrobních postupů umožnil koncem téhož desetiletí techniku odleptávání plošných spojů znovu oživit. V padesátých letech se začíná již úspěšně probíjovat 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 příměsí dále zvyšujícími jakost podložky. U nás se první pokusy s plošnými spoji objevují v roce 1957. Hromadnější výroba se však rozjíždí 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 um i více pro mikromodulové obvody i méně, do 105 um 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 vykryvací masky - obrazce spojů, předlohy, které mají být v měděné fólii vyleptány. Předlohou se rozumí přesný výkres všech spojů a pájecích bodů nejlépe na bílém papíře, který se vhodným způsobem přenese na měděnou fólii.

## KRESBA OBRAZCE

**Zhotovení transparentních matric** - Transparentní matrice, z nichž se vyrábějí desky s plošnými spoji, lze zhotovit různými způsoby. U nejjednoduššího způsobu se může vodivý obrazec 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 matric 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.

**Zmenšování** - Kamery používané pro zmenšování jsou vysoce specializované přístroje, které musí zmenšovat s přesností větší než 0,025 mm na 0,5 m a navíc bez kulové vady nebo odchylky rovnoběžek na celé pracovní ploše. Objektiv kamery musí být tak nastavitelný, aby bylo možné kompenzovat jakékoli smršťení 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 kolejnicemi 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.

**Ekonomie návrhu počítačem /CAD/** - 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 pravděpodobné, 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.

## KRESBA PŘEDLOHY PRO AMATÉRSKOU VÝROBU

Způsoby výroby předlohy v průmyslovém využití se zde zabývat nebudeme. Je to velmi obsáhlá a různě specializovaná záležitost, ve které hraje řada parametrů velkou roli, ale u amatérské kusové výroby jsou zcela nepodstatné. Jsou to např. úspory rozměrů desky a její profilování, odleptání co největšího množství mědi pro její zpětné využití aj. Tam kde se pouze pokusně zhotovují destičky s plošnými spoji nebo tam kde jde o zhotovení destiček amatérským způsobem lze doporučit jednoduchou metodu pro přípravu předlohy ke zhotovení negativu. V těchto případech obvykle nejde o přesné provedení spojů ani o hospodárné využití plochy destičky nebo o estetickou stránku zapojení. U funkčních vzorků je kromě toho obvykle třeba počítat s dodatečnými úpravami zapojení a uložení spojů. Vychází se od požadovaného elektrického zapojení. Na plochu, která je k dispozici, se rozloží nejprve co nejvhodněji všechny potřebné součástky. Potom se snažíme propojit součástky spoji, které mnohdy musí obcházet různé body a vzájemně se vyhýbat. U správně provedeného návrhu musí být nejmenší počet přechodů, a to opravdu jen v nevyhnutelných případech. Obzvláště při prvních návrzích se musí zapojení někdy i několikrát přepracovat. Protože upravené spoje vždy vyžadují výrobu nové desky s plošnými spoji, je výhodné v těchto případech si navržené zapojení nejprve pokusně odzkoušet drátovým propojením. Použijeme k tomu desku z tvrdšího papíru, kde spoje vedeme podle navržené předlohy dráty. Má to tu výhodu, že vodiče i součástky lze v případě potřeby /zakmitávání aj./ přemístit a nalézt optimální řešení propojení bez toho, abychom několikrát za sebou odleptávali novou desku s plošnými spoji. Teprve až je funkce drátového propojení bezchybná, vyrobíme podle něj konečný návrh předlohy. Při návrhu předlohy je vždy vhodné respektovat doporučené rozměry modulového rastru, průměrů pájecích bodů, šířky spojů a jejich vzájemné vzdálenosti. Tak např. při volbě vzdálenosti mezi sousedními vodiči je třeba přihlížet k výrobním možnostem, izolačnímu odporu, minimální přeskokové vzdálenosti při použití vyššího napětí a popř. i ke kapacitě spojů. Kromě toho je třeba rozhodnout, zda bude zapojení řešeno soustavou spojovacích vodičů, nebo soustavou dělicích čar. Soustava dělicích čar bývá náročnější neboť je v ní poněkud ztížena představa vlastních spojů. Dále je třeba přihlížet k vzniklým parazitním kapacitám, které jsou dány velkými plochami spojů. Vlastní předloha spojů se kreslí na bílý kladívkový papír ve zvětšeném měřítku. Volba měřítka závisí na velikosti destičky a bývá nejčastěji 1:2 až 1:10. Vychází se opět z rastru, pájecích bodů a teprve naposled se měkkou tužkou naznačí předpokládaný průběh spojů. Hned zpočátku je třeba přesně dodržovat vzdálenosti mezi pájecími body a spojovacími vodiči. Některá měřítka poněkud zkreslují představu o skutečné vzdálenosti a je nutné počítat s jejím zmenšením. Po dokončení návrhu v tužce se vytáhne celé zapojení dobrou krycí nelesklou tuší. Je výhodné nejprve obtáhnout obrysy pájecích bodů a spojů a teprve potom tuší vyplnit plochy. Přetáhneme-li někde kreslič, nemá opravovat škrábáním. Vadné místo lze totiž vykřýt bělobou. Kromě spojů se musí na předloze zakreslit přesné měřítko a ohraničení okrajů destičky. Často se také některé pájecí body označují písmeny nebo číslicemi. Zde je nutno dbát na to, aby tyto znaky byly dostatečně vzdáleny od budoucích spojů, čímž je zaručena minimální vzdálenost při zmenšení předlohy. Je žádoucí dávat typové označení výrobku na velké zemnicí plochy, popř. na nevyužitá místa na destičce, aby se zbytečně nezeslaboval

průřez spoje hlavně tam, kde jde o proudový vodič. Původně se používalo jen tenkých spojů, které vlastně měly nahradit drátové vodiče. Vše ostatní se z destičky odleptalo. Později se přešlo na soustavu s dělicími čarami, kde nelze mluvit o průřezu, neboť plocha spoje se značně mění. Plného zatížení plošných spojů se většinou téměř nikdy nevyužije. Zatížitelnost plochých spojů je neobyčejně velká, neboť v porovnání s drátovým vodičem má plošný spoj daleko větší ochlazovací plochu. Měděný drát průřezu 0,07 mm<sup>2</sup> se přetaví při proudu 15 A, kdežto měděná fólie plošného spoje průřezu 0,075 mm<sup>2</sup>, zhotovená elektrolyticky, se přetaví až při proudu 60 A. Plošný spoj šířky 1,5 mm<sup>2</sup> a tloušťky 50 um se proudem 2A při 20 C ohřeje na 30 C a proudem 5A na 120 C. Při návrhu musíme přihlížet i k hustotě spojů, k teplu sálajícímu ze zabudovaných součástek, jejichž teplota zpravidla značně převyšuje oteplení spojů procházejícím proudem. Pro běžnou amatérskou praxi lze za nejmenší vzdálenost považovat 0,6 mm. Doporučuje se však raději volit o něco více, aby při pájení nevzniklo nebezpečí překlenutí spojů cinem. Při vyšším napětí jsou tyto vzdálenosti předepsány obecně platnými bezpečnostními předpisy. Dále se musí pamatovat na praktickou proveditelnost těch spojů, které budou blízko sebe, a na bezpečnost po delším provozu, po zaprášení, znečištění apod. Jiným problémem je návrh rozložení součástek a jejich propojení u kmitočtově závislých obvodů. Jde-li o zařízení pro zpracování vyšších kmitočtů, jako jsou např. vstupní či mezifrekvenční zesilovače rozhlasových nebo televizních přijímačů a další vf obvody, pak si musíme ujasnit kde všude může vznikat kladná zpětná vazba. Ta, vznikne-li, zavádí do signálu zkreslení, příp. může způsobit i nakmitávání až i rozkmitání zesilovače. Takto nevhodně navržená deska s plošnými spoji je pak nepoužitelná a musí se zapojovat dodatečně útlumové členy, které však zhoršují účinnosti zesilovače. U návrhů desek s plošnými spoji pro vysoké kmitočty vzniká ještě další nebezpečí a to délka vf spoje, s kterou je nutno počítat ke spoji. Rovněž spoje vedoucí vf energii a ležící vedle sebe mohou vlivem vzájemné kapacity mezi spoji a zmíněnou indukčností vzájemně ovlivňovat přenášené signály a vyvolat tak nežádoucí intermodulační zkreslení nebo superpozici silnějšího signálu na slabší. Návrh desky s plošnými spoji pro vysokofrekvenční obvody je proto vždy záležitostí dobrých znalostí jejich chování, aby výsledek splnil očekávání. Velmi důležitá a často podceňovaná právě u vf zapojení je zemní plocha a vedení uzemňovacích spojů. Délka zemního spoje, která je srovnatelná se čtvrtinou nebo polovinou délky vlny přenášených kmitočtů, pak, je-li délka zemního spoje pro některý z nich rovna čtvrtině vlnové délky, vzniká stav, kdy je obvod sice galvanicky dokonale propojený, ale pro tento kmitočet působí spoj jako impedance s vysokým odporem což má za následek značný útlum nebo naopak kmitání, se všemi tomu odpovídajícími důsledky. Tento jev, kdy zapojení je opticky i stejnoměrně v pořádku a přenášené pásmo je přesto přenášeno značně nerovnoměrně, se obtížně lokalizuje. Závada se obvykle hledá v laděných obvodech, aktivních či pasivních prvcích, než se přijde na to, že je způsobena nevhodným zemněním. Lze odstranit buď dodatečným prozemněným drátem či páskem mědi, příp. novým vhodným upraveným návrhem a výrobou nové desky s plošnými spoji. V ní jsou pak spoje, ať již živé či zemní, kratší než desetina vlnové délky nejvyššího zpracovaného kmitočtu. U soustavy spojů se takto zemní na společný zemní bod - plošku s co nejkratšími přívody od součástek. Pro vícestupňové obvody se také častou používá systém hnízd s obklopující smyčkou plochy zemního vodiče. Útlum který tato smyčka vytváří, pokud není zrovna délka okraje měděné smyčky srovnatelná se čtvrtinou vlnové délky některého ze zpracovávaných kmitočtů, není příliš na závadu, polovina vlnové délky však může již způsobit nepříjemnosti zakmitávání a transformaci vf energie do dalšího stupně. V takovém případě se pak smyčka přeruší a vkládá se vhodná tlumící vinutá cívka /20 až 30 závitů drátu na feritové tyčce/. Proto se u profesionálních výrobků občas objevuje zdánlivě nesmyslně zapojené tyto malé vf tlumivky. Estetický vzhled a pravoúhlost rozložení součástek jsou až další v pořadí, při návrhu předlohy. Oku ladící design si u návrhu mohou dovolit jen ti, kteří dokonale znají vlastnosti, příčiny a důsledky funkce kmitočtově závislých obvodů. U

stejnoseměrných obvodů je naopak rozložení součástek na desce s plošnými spoji s estetického hlediska snahou i u méně zdatných amatérů. Pohled na desku, na které jsou součástky poházené bez ladu a skladu nevzbuzuje důvěru v návrháře i konstruktéra. Naopak, vytvářejí-li rezistory a další součástky svislé a vodorovné řady, lze předpokládat, že tvůrce návrhu problematiku plně ovládá. Při návrhu desky s plošnými spoji vycházíme vždy z nakresleného schématu a to i u zdánlivě velmi jednoduchých zapojení. To proto, abychom na některý spoj nezapomněli. Mějme tedy k dispozici schéma zapojení a našim úkolem je navrhnout v soustavě spojů předlohu pro výrobu desky s plošnými spoji. Při návrhu musíme především vycházet z předchozích informací o požadavcích na spoje a zemnění. Dále má mít deska určité rozměry, dané rozměry skříňky, do které hodláme celý přístroj vložit. Jednodušší však je, necháme-li výběr nebo zhotovení skříňky až po výrobě desky s plošnými spoji. Abychom mohli desku účelně navrhnout, je třeba si ji nakreslit, nejlépe na milimetrový papír. Musíme však počítat s tím, že některý milimetrový papír je nepřesný, a proto si jej nejprve zkontrolujeme např. posuvným měřítkem /i na milimetrovém papíře je vhodné a někdy i rychlejší používat pro větší rozteče přesné měřítko/. Při návrhu je výhodné dodržovat pro všechny otvory rozteč základní sítě 2,5 mm nebo její násobky, protože pro tuto síť jsou konstruovány součástky určené pro plošné spoje. U subminiaturních součástek bývá rozteč poloviční /1,25 mm/ příp. menší, jak si blíže řekneme v kapitole o povrchové montáži součástek. Bylo by tedy nejvýhodnější sehnat papír s touto roztečí, což se však vždy nepovede. Pro techniku plošných spojů budeme používat tzv. modulové otvory o prům. 1,3 plus minus 0,1 mm. Jsme-li dostatečně přesní, volíme raději zápornou toleranci. V amatérské praxi je možné použít i otvory o prům. 1,1 mm pro vodiče i když k upevnění součástek je vhodnější prům. 1,3 mm /za předpokladu, že otvory budeme vrtat, nikoli razit/. Nejprve zvolíme základní koncepci /rozmístění velkých součástek/ při respektování elektrických i mechanických požadavků na zařízení. Máme-li součástky pohromadě, je nejlepší rozmístit je přímo na papír, abychom viděli také prostorové uspořádání. U papíru necháme dostatečně velké okraje, abychom případně návrh mohli přiložit na uříznutou desku. Okraje zahrnout a použít náčrtek přímo při výrobě desky s plošnými spoji. Tím odpadne orýsování roztečí. Po rozestavení součástek na papír kreslíme tužkou jejich obrysy a dbáme, aby vývody byly umístěny v základní síti /2,5 mm/ Je třeba si uvědomit, že kreslíme obrazec plošných spojů tak, jak bude vypadat při pohledu ze strany fólie a že tedy součástky budou upevněny z druhé strany. Součástky /zejména rezistory a kondenzátory/ orientujeme pokud možno jen ve dvou vzájemně kolmých osách. Jednotlivé pájecí body propojujeme podle schématu co nejkratší cestou a současně dbáme, aby rozmístění vyhovovalo po elektrické stránce. Choulostivé spoje nebo spoje s větším napětím navrhujeme co nejkratší, zemnicí plochy rozšiřujeme, popř. jimi stíníme jiné spoje. Abychom měli alespoň nějakou směrnici, budeme při kreslení dodržovat některá doporučení Tesly Přelouč /pokud nám to konstrukce dovolí/. Plocha pro běžný pájecí bod je na obr. 1. Pro připojení konce drátového vývodu bez otvoru /na plochu fólie/ je průměr pájecího bodu 5 mm. Počítáme s tím, že vodič bude částečně také mechanicky namáhán. Rozteče otvorů s pájecími body pro součástky s drátovými vývody, popř. pro propojení se sousedním otvorem jsou na obr. 2. Dva pájecí body, které nemají být navzájem vodivě spojeny, mohou vedle sebe ležet na nejmenší rozteči 5 mm / obr. 3/. Sousedící izolované pájecí body s jedním spojem mezi nimi můžeme udělat podle obr. 4 přičemž se snažíme dodržet mezeru 1,25 mm mezi pájecími body, a to i když tam prochází více vodičů. Okrajové spoje vedeme minimálně 1,25 mm od obrysové hrany desky. Při vedení spoje až k hraně je nebezpečí mechanického poškození /odtržení fólie od základního materiálu/. Vodiče odbočujeme pod úhlem 90 stupňů. U rezistorů, kondenzátorů a zvláště polovodičů musíme dbát na dostatečnou délku vývodů vzhledem k nebezpečí poškození součástky teplem při pájení. Minimální vzdálenost ohybu vývodu od součástky je 2,5 mm /pokud je to z tepelných a mechanických důvodů možné/. Podle tohoto doporučení vytvoříme na milimetrovém papíře

obrazec plošných spojů s tence předkresleným rozmístěním součástek. Zakreslíme také všechny otvory pro připevnění součástek apod. U otvorů označujeme i jejich středy. Zhotovený návrh důkladně překontrolujeme. Je rozhodně jednodušší celý návrh třeba i překreslit než vyrábět novou desku s plošnými spoji.

**Předloha pro povrchovou montáž součástek** - Nabídka našich prodejců součástek v současné době se již nevyhýbá ani prvkům pro povrchovou montáž součástek /SMD/ a to nejen integrovaných obvodů a dalších polovodičů, ale dostanou se již koupit i rezistory a kondenzátory. To umožňuje, aby se tato technologie, původně určená jen pro velkosériovou produkci, přesunula i do malosériové a dokonce i kusové a amatérské výroby. Odhaduje se, že klasické miniaturní prvky s drátovými vývody ztěžují výrobně dožítí druhé poloviny tohoto desetiletí. A protože práce s prvky SMD vyžaduje i určité specifické přístupy, především při návrhu desek s plošnými spoji, seznámíme se s nimi blíže. Nejprve však k technologii samotné. Součástky pro povrchovou montáž - SMD /česky označované SPM/ a jejich povrchová montáž /PM/ na desku ze strany plošných spojů, jsou dnes ve světě převládající obvodovou technologií. Elektronické prvky s drátovými výstupy, ač jsou sebevíce miniaturizovány, mají odtroubeno k ústupu. Zatím se jich však ještě používá a to převážně u tzv. smíšených montáží, kdy ze strany spojů jsou připájeny prvky SMD a z druhé strany pak součástky s drátovými vývody. Tato smíšená montáž bude zřejmě i v blízké době s těžšími především u amatérských výrobků. Nová technologie má přednost nejen ve své jednoduchosti. Další její výhodou je podstatně větší hustota součástek na desce plošných spojů. Je pochopitelné, že u plošné montáže, ve světě označované zkratkou SMA, bude záležet, jaké typy součástek se na desku plošného spoje budou osazovat. Při aplikaci pasivních součástek SMD, tranzistorů v pouzdru SOT /small outline tranzistor - tranzistor malých rozměrů/ a integrovaných obvodů v pouzdru SO je možné zmenšit modul zapojení z 2,5 mm /2,54 mm/ na 1,25 mm /1,27 mm/. V případě použití aktivních součástek větší integrace, jako jsou nosiče čipu /obvody flat pack a obvody quad pack/ je možné přejít ještě na menší moduly /0,635 mm, 0,625 mm, 0,406 mm a 0,254 mm/. Z uvedených aspektů je zřejmé, jaký vliv a dopad má použití nových typů součástek na vlastní nosnou desku plošných spojů. Při povrchové montáži pasivních součástek a obvodů malé integrace lze používat desky plošných spojů bez otvorů. Povrchová montáž součástek má před klasickými technologiemi, které nahrazuje, několik předností. Jsou to : - podstatná redukce potřebné plochy desky plošných spojů, zmenšení potřebné plochy je od 40% do 70% /prům.o 50%/ - větší hustota osazené desky - podstatné snížení nákladů na osazení desky - možnost zcela automatizovaného osazení součástek na desku plošného spoje - větší odolnost proti nárazům a vibracím /důsledek menší hmotnosti součástek a pevnější přichycení/ - větší spolehlivost osazených desek se součástkami SMD v důsledku menšího počtu pájených spojů - výhodnější vysokofrekvenční vlastnosti /odstranění parazitních kapacit a indukčnosti přívodů/ - nižší cena /menší spotřeba materiálů/ - unifikace typů jednotlivých desek - zvýšení uživatelských hodnot a kvality - menší spotřeba materiálů - menší prostor potřebný pro výrobu plošných spojů - menší hmotnost a menší rozměry hotových výrobků - levnější desky plošných spojů, není zapotřebí vrtání a pokovování otvorů /při aplikaci pasivních součástek a obvodů malé integrace/. Vzhledem k pokračující miniaturizaci je nutné přecházet k menším rastrům zapojení, a tím i ke zvětšení hustoty osazených součástek na desce plošných spojů. Výhodou povrchové montáže součástek je i to, že mohou být osazovány na obou stranách desky. V současné době, kdy je v elektronickém průmyslu hnací silou číslicová technika, jsou nejčastěji používanými součástkami polovodičové prvky - integrované obvody a tranzistory. Dá se říci, že dominantní polovodičovou součástkou pro povrchovou montáž jsou integrované obvody. Jsou vyráběny v různých malých provedeních : integrované obvody s malými rozměry /SO nebo SOIC/ nosiče čipu na plastovém nosiči /PLCC/ a s méně používaným pouzdrěním typu

flat pack nebo quad pack. Tranzistory pro povrchovou montáž se vyrábějí ve třech modifikacích v plastovém pouzdru s malými rozměry : SOT-23, SOT-89 a SOT-143. V tomto pouzdrění lze zhotovovat tranzistory, diody a FET. SOT-143 je čtyřvývodová verze SOT-23 se stejnými rozměry a teplotními charakteristikami, SOT-89 je poněkud většího provedení než SOT-23 o jmenovitém zatížení do 1 W. Diody a stabilizační diody mohou být pouzdrěny v provedení MELF /metal electrode face bonding/ a MINI MELF s malým válcovým tvarem o jmenovitém zatížení až do 0,5d příp. 1,0 W. Po polovodičích jsou u povrchové montáže nejvíce zastoupeny čipové rezistory a kondenzátory. Rozmezí dodávaných rezistorů v tomto provedení je od 10 do 2,2 M . Kondenzátory SND se dělí do 3 kategorií : keramické několikvrstvé /asi 18 %/ o kapacitě 1 pF až do 1uF, tantalové o kapacitě 0,1 až 100 uF a elektrolytické hliníkové o kapacitě 1,5 do 47 uF. Ve vývoji jsou ještě další typy konstrukčních součástek jako např. toroidní transformátory, magnetické součástky, pulsní transformátory, konektory, přepínače, jazýčkové spínače, křemenné krystaly apod. Vývoj v této technologické oblasti neustále rychle pokračuje. Při průmyslové povrchové montáži lze elektricky vodivý spoj mezi vývodem součástky a deskou plošných spojů vytvořit buď tradičním způsobem - pájením /přetavením nebo vlnou/, nebo použitím elektricky vodivého lepidla. Pájení přetavením se používá, jsou-li k dispozici všechny součástky v provedení pro povrchovou montáž. V tomto případě jde o tzv. čistou povrchovou montáž. Součástky se osazují do pájecí pasty, která má určitou lepící schopnost a dostatečně přichytí osazovanou součástku na desku plošných spojů. Pasta se na desku plošných spojů nanáší většinou sítotiskem nebo pomocí šablony. Po osazení se pájka ohřeje a přetaví /pájení infraohřevem, kondenzační pájení atd./ . Při metodě pájení vlnou příp. běžném pájení pájkou je nejprve třeba přilepit /přichytit/ součástky na desku plošných spojů. Proto se nejdříve nanese /dávkováním nebo sítotiskem/ na desku plošného spoje příslušné množství lepidla potřebné pro přilepení součástky. Pak následuje osazení bezvývodových /čipových/ součástek, lepidlo se vytvrdí a pevně přichytí osazené součástky. Deska se pak obrátí a osazené přilepené součástky se pájejí vlnou Pájecí vlna může být jednoduchá s turbulentním účinkem, dvojitá, popř. i trojitá. Tento způsob pájení lze výhodně použít i v případě, kdy nejsou k dispozici všechny potřebné součástky v provedení pro povrchovou montáž /SMD/ a je nutné přistoupit ke smíšené montáži, tj. osazením klasickými součástkami s vývody a součástkami bez vývodů /SMD/ na jednu desku. Bezvývodové součástky jsou pak osazeny mezi vývody klasických součástek na straně pájení desky plošného spoje a všechny součástky se pájejí najednou. U povrchové montáže součástek se pro výrobu desek plošných spojů nevyžadují spec. materiály. Je tedy možné používat desky běžného provedení, jako např. z tvrzeného papíru, skloepoxidového laminátu apod. V zahraničí se pro tuto technologii nejvíce používá materiál FR4. Pro jednostranné aplikace lze používat i materiál FR3 a pro vysokofrekvenční aplikace pak spec. materiály. Přejedem na technologii povrchové montáže lze podstatně omezit potřebné rozměry desky plošných spojů. V určitém případě je možno velikost desky zachovat a lze zmenšit hustotu osazení součástek, což přispívá k lepším teplotním poměrům desky a ke zvýšení její spolehlivosti. Materiál desky plošných spojů pro povrchovou montáž by měl mít součinitel délkové roztažnosti přibližně stejný jako materiály používaných součástek. Jinak by v důsledku rozdílných teplotních dilatací desky plošných spojů a součástky mohlo vzniknout nadměrné mechanické namáhání pájecího spoje. Velikost mechanického napětí je přitom dána rozdílem teplot, velikostí součástky a rozdílem součinitelů délkové roztažnosti. Bezpečné osazování součástek nezávisí tedy jen na jejich velikosti, ale např. i na režimu prac. nasazení zapájeného zařízení, tj. zejména na mezních teplotách při provozu a na změnách teploty okolí. Odolnost zapájeného spoje proti prasknutí závisí také na jeho tvaru. V některých případech je tedy nutné použít spec. upravené desky plošných spojů. Při běžné aplikaci povrchové montáže na skloepoxidové desce plošných spojů /FR4/ mohou být dle zkušeností bez nebezpečí, následujícího praskání zapájených spojů osazovány miniaturní pasivní součástky /rezistory,

keramické kondenzátory/ až do velikosti 10 mm, integrované obvody v provedení SO, plastové nosiče čipů, obvody flat pack, quad pack, TAB /Mikropack/ atd. Nedoporučuje se osazovat keramické nosiče čipu, jejichž součinitel délkové roztažnosti neodpovídá roztažnosti desky. Tloušťky desky plošných spojů se neliší od běžných provedení. V současné době jsou u evropských výrobců k dispozici desky o tloušťkách 0,8 až 3,2 mm, přednostní rozměr je 1,6 mm. Měděná fólie se vyrábí v tloušťkách 35 um, 70 um a 105 um popř. i více. Materiál FR4 je dodáván s měděnou fólií 18 um, 9 um i 5 um. Tyto nejtenčí fólie se používají pro nejjemnější spoje, což je právě případ některých spec. aplikací povrch. montáže. Použitím miniaturních součástek SMD podstatně vzrostla hustota spojů a součástek na desce. S tím souvisí i rostoucí požadavky na zhotovení nejjemnějších vodičů a mezer pro některé aplikace. Již po celé desetiletí prognózy směřovaly k požadavkům rozměru šířky vodičů pod 0,12 mm /120 um/. Skutečnost však vypadá zcela jinak, přes 90% dnes vyráběných desek má šířku vodiče - 0,25 mm. Hlavním důvodem tohoto zpoždění bylo selhání aplikace vhodných technologií výroby plošných spojů. S dnešními technologiemi výroby desek je možné s poměrně malými náklady zhotovovat spoje o šířce od 0,15 mm. Požadavky na příliš velkou hustotu vodivého obrazce u spec. aplikací mohou způsobit velkou zmetkovost výroby a vést k nadměrným cenám desek. A přitom již existují metody, jimiž lze ekonomicky vyrábět desky s velkou hustou vodivých obrazců. Před nasazením technologie povrchové montáže se na deskách plošných spojů vrtaly pro vývodové součástky otvory v rastru 2,54 mm. Součástky pro povrchovou montáž jsou však vyráběny v rastru 1,27 mm a menším. A tak nyní výrobci plošných spojů musí čelit požadavkům na jemnější obrazce spojů. Některé firmy, specializované na výrobu desek plošných spojů s velkou hustotou provedení, používají pro obvody SO a PLCC v rastru 1,27 mm šířky spojů a mezer vodivého obrazce 0,2 mm. Propojovací otvory mají průměr 0,5 mm. Odborníci tvrdí, že u příští generace pouzdření integrovaných obvodů v rastru 0,635 mm budou zapotřebí šířky spojů a mezer menší než 0,127 mm. Z elektrického hlediska bez problémů jsou vodiče a mezery s šířkou 0,16 a 0,2 mm. V tomto případě je možné v rastru 2,54 mm vést až dva spoje mezi vývody osazeného integrovaného obvodu. Tím lze hustotu propojení zvýšit o 20 až 40%. Tuto technologii využívají přední výrobci desek plošných spojů. Určité problémy však nastávají při dalším zkracování desek. Vzhledem k malým mezerám mezi spoji mohou při pájení snadno vznikat můstky. Jejich následné odstranění je však zdoluhavé a nákladné. Kromě toho jsou spoje s takovou hustotou zapojení náchylné na poškození při transportu i při osazování součástek. Výroba desek plošných spojů s velkou hustotou zapojení tedy není zcela bez problémů. Při povrchové montáži se má postupně přecházet k ještě menším rastrům. Lze bez nadsázky tvrdit, že ve velmi krátké době budou šířky spojů a mezer okolo 0,076 mm. Bude to ale prozatím u spec. aplikací. Ve spotřební elektronice se tento trend z ekonomických důvodů neprojevuje. S vyšší pracovní frekvencí nově vyvíjejících obvodů se zvyšují požadavky na kratší propojení nejen uvnitř integrovaných obvodů, ale také v jejich nejbližším okolí. Návrh desky plošných spojů, tvary pájecích plošek a potřebné vzdálenosti mezi součástkami a vodiči musí být přizpůsobeny jednak součástkám SMD, jednak tvarovým a zpracovatelským požadavkům na zhotovený výrobek /desku/. Při návrhu plošných spojů je nutno brát v úvahu tato hlediska : - typ osazované součástky, používaný typ součástky má vliv na postup pájení, a tím také na tvar pájecích plošek. Některé součástky SMD /flat pack, nosiče čipů, PGA atd./ vyžadují pájení přetavením, smíšená montáž naopak zase běžné pájení. - tolerance desky plošných spojů a součástek ovlivňují potřebné velikosti pájecích plošek. - technologie pájení : při pájení ponorem /vlnou/ nebo pájkou je cín na příslušná pájecí místa /pájecí plošky/ nanesen až při vlastním procesu pájení. Přitom je nutno zajistit, aby mezi sousedními součástkami byl dostatek prostoru. Také vzdálenost mezi sousedními vodiči a součástkami nesmí být menší než minimální přípustné hodnoty, aby se zabránilo vzniku můstku nebo zkratu. Ze stejných důvodů nemohou být také součástky pro povrchovou montáž s malými



roztečemi vývodů pájeny vlnou nebo ručně. - vysokofrekvenční použití : speciálním případem jsou vysokofrekvenční zapojení, při kterých vedení spojů a jejich vzdálenosti mají důležitý význam, a při pravidlech návrhu spojů je na to nutné brát zřetel, jak již jsme si řekli. Ze všech uvedených hledisek je zřejmé, že jedním z nejdůležitějších je technologie pájení. Podle způsobu pájení se tedy podstatně navzájem odlišují i tvary pájecích plošek. Např. na obr. 8 jsou typické pájecí plošky pro kondenzátor /a/ rezistor /b/ a tranzistor /c/., určené pro ruční pájení, kdežto na obr. 9 jsou pájecí plošky určené pro pájení přetavením. Pro pájení vlnou nebo ruční jsou plošky užší a delší, aby umožnily meniskusu pájky správný kontakt, kdežto pro pájení přetavením jsou pájecí plošky širší a kratší. V současné době existuje mnoho různých doporučení pro návrh umístění spojů a pájecích plošek, které se v některých případech dosti podstatně liší. Jelikož se řada potřebných součástek neustále doplňuje a mění / stejně jako osazovací zařízení/ , budou diskuse a pokládání potřebných spojů a o velikosti a tvaru pájecích plošek ještě nějakou dobu pokračovat. V současné době neexistuje žádné závazné doporučení, které by bylo shodné pro všechny potřebné aplikace. Je tedy nutné zaměřit se v první řadě na způsob pájení součástek, a tomu pájecí plošky přizpůsobit. Kromě toho musí být pamatováno i na vyvrtání otvorů pro smíšenou montáž. Dodržena musí být i minimální vzdálenost mezi sousedními součástkami a vedenými spoji, které nesmí překročit min. hodnoty, jinak se mohou z pájky vytvářet propojovací můstky. Návrh desky s plošnými spoji pro smíšenou montáž tedy není jednoduchou záležitostí a lze jej proto doporučit jen těm nejzručnějším a vyspělým amatérům.

## KLÍŠÉ

nebo-li přesný obraz požadovaných spojů v poměru 1:1 z předlohy nakreslené v takovém měřítku, které je pro kreslení výhodné. Před jeho vyroběním 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. 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. Pro amatérskou potřebu je lépe volit menší destičky. Jednak je návrh obrazce plošných spojů mnohem snazší, což pomůže hlavně začátečníkům nebo těm, kteří se navrhováním nezabývají příliš často, jednak oceníme výhodu menších destiček i při vlastní výrobě, kdy stačí menší misky, menší množství roztoku a chemikálií a konečně v případě, že se destička nepovede, zkazili jsme menší kus materiálu. A ještě několik rad, než začneme kreslit předlohu. 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, konečně 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. Každopádně si nepomáháme při křížení vodičů tím, že dvě místa, která nejdou propojit na straně spojů, budeme propojovat drátem na straně součástek. Je to sice funkčně nezávadné, avšak z technického hlediska nedokonalé a při trošce přemýšlení se vždycky najde cesta, jak spojení uskutečnit v obrazech plošných spojů. U vf a živých spojů, nejde-li to jinak, je však toto propojení vhodnější, než vést dlouhý spoj. 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. Podle předběžného návrhu si pak nakreslíme přesnou předlohu na bílý kladívkový nebo čtverečkový papír. Při kreslení se snažíme, aby všechny spoje nebo dělicí čáry byly stejně široké, používáme pravítko, křívítko i kružítko a snažíme se o rovnoměrné pokrytí celé plochy desky spoji. Nápisů píšeme buď šablonou nebo na výkres nalepíme vystřižená písmena. Větší opravy děláme bílou krycí tuší a pokud možno, nikdy neškrábeme. Všechny černé plochy musí být dokonale vykryté, aby nikde nepronikal bílý papír. U soustavy dělicích čar je výhodnější kreslit obrazec spojů negativně, tj. kreslit černě pouze dělicí čáry. U soustavy spojových čar kreslíme naopak obrazec spojů černě a místa bez fólie ponecháváme bílá. Předlohu tedy můžeme kreslit buď negativně nebo pozitivně, podle toho, jaká bude použita metoda při výrobě vykrývací masky. Bezpodmínečně je však nutné si uvědomit, zda budeme předlohu kreslit ze strany spojů, což je téměř vždy, nebo ve speciálních případech ze strany součástek. Pro většinu případů se proto musíme dívat na skicu propojených součástek zespodu. Je to nutné proto, abychom správně situovali vývody tranzistorů a integrovaných obvodů. Jinak by se mohlo stát, že vývody těchto součástek budou zapojeny obráceně /např. vzájemně prohozené řady vývodů u IO/, což nelze odstranit. Pokud se to stane a desku nechceme vyhodit, pak takové součástky musíme připájet ze strany spojů, čímž se dostáváme k plošné montáži. U ní naopak, použijeme-li příslušné součástky, musíme spoje kreslit tak, jako by tyto součástky na spojích ležely. Rozhodnutí, zda kreslit ze strany spojů či součástek, je tedy základem pro bezchybnou výrobu desky s plošnými spoji, zvláště u začínajících návrhářů. Chybná kresba předlohy se obvykle zjistí až při montáži součástek. Nemáme-li možnost přefotografování nebo na kopírovacím stroji /Minolta, Xerox aj./ vytvořit klišé ve správném poměru, kreslíme spoje již tak, aby mohla být kresba použita přímo jako předloha pro vytvoření vykrývací masky na měděnou fólii. Vykrývací maska zabraňuje odleptávání mědi v místech, která mají být zachována a její vytvoření podle klišé se řídí způsobem výroby plošných spojů z měděné fólie. Dále se v krátkosti seznámíme s nejběžnější průmyslovou produkcí desek s plošnými spoji a velmi podrobně s různými způsoby jejich amatérské výroby.

## RUČNÍ ZPŮSOBY PŘENOSU KRESBY

Potřebujeme-li pouze jednu, méně složitou desku s plošnými spoji, můžeme k její výrobě použít některý z níže uvedených návodů. Při pečlivé práci lze i těmito jednoduchými způsoby vytvořit uspokojivý obrazec spojů a to jak z funkčního, tak i z estetického hlediska. Nemáme-li ani leptací lázeň a zapojení obvodu, které hodláme přenést na desku s plošnými spoji, není příliš složité, můžeme zvolit metodu rytí nebo frézování /gravírování/ oddělovacích čar v měděné fólii. Předlohu si nakreslíme v soustavě dělicích čar, při pohledu ze strany spojů, v poměru 1:1. Přes uhlový /kopírovací/ papír přeneseme obrazec dělicích čar na fólii. Podle pravítka všechny čáry obtáhneme rýsovací jehlou /např. hrotem pravítka/, aby se kresba při rytí nesetřela. Dále potřebujeme ocelové pravítko a čtyřhranný nebo tříhranný, případně kulatý jehlový pilník. Ocelové pravítko přikládáme na narýsované čáry a špičkou pilníku opatrně propilováváme /proškrabáváme/ měděnou fólii. Výhodné je hrot pilníku odlomit, aby vznikla asi jeden milimetr široká ploška, kterou pak fólii odkrýváme. Jde to poměrně snadno a rychle. U lomu a ohybů čar musíme dát pozor, abychom nepřetáhli, nebo abychom nezanechali zbytky mědi, které by vytvářely spojovací můstky. Dokonalost odstranění mědi kontrolujeme pohledem skrz destičku proti silnějšímu světlu. Místo rytí můžeme čáry vybrousit, máme-li malou brusku s ostrým brusným kotoučem /gumovkou/ nebo vhodným nástavcem zubolékařských kotoučů. Máme-li stojanovou vrtačku, lze čáry profrézovat /gravírovat/. Použijeme buď opět vhodnou malou frézu ze sortimentu zubolékařských brusných nástrojů, příp. postačí i zalomený vrták do průměru 1,5 mm, zbrúšený do plochy kolmé k jeho ose. Čelo frézovacího nástroje upevněného ve sklíčidle stojanové vrtačky nastavíme asi na 0,2 až 0,3 mm pod úroveň fólie destičky ležící na stole vrtačky. Rukou uvedeme destičku jen malou silou do řezu po vyznačených čarách na destičce. U přímek si můžeme pomáhat vedením destičky podél přiloženého úhelníku apod. V místech změny směru gravírování je nejlépe zastavit a vše natočit tak, aby frézování mohlo probíhat v dalším směru. Hotovou destičku přebrousíme jemným smirkem. Proškrabávání či frézování drážek, neuvažujeme-li lepení spojovacích vodičů na izolační podložku, nevyžaduje žádné chemikálie. Není však vhodné pro složitější plošné spoje. U nich je možná jediná metoda, a to chemické odleptávání části měděné fólie tak, aby se na desce vytvořily žádané plošné spoje. Spojový obrazec vzniklý odleptáním části fólie lze udělat buď tak, že se odleptají úzké proužky mědi, čímž vzniknou dělicí čáry izolující vzájemně od sebe vodivé měděné plošky, nebo že se naopak ponechají úzké vodivé spoje a ostatní měď se odleptá. U soustavy dělicích čar lze vytvořit buď pravoúhlé plošky, nebo libovolné, od ruky kreslené oddělovací čáry. K odleptání nežádoucí mědi slouží vykrývací maska spojového obrazce. Odleptávající proces sestává ze dvou částí : jsou to vytvoření vykrývací masky a vlastní leptací lázeň.

## VYKRÝVACÍ MASKA

Krycí masku pro chemické leptání lze vyrobit řadou způsobů. Ty se řídí jednak používanou leptací lázní a jednak provedením. Jednou z nejjednodušších z hlediska pracnosti je vykrývací maska z izolepy. Je vhodná pro leptání v roztoku chloridu železitého. Postup práce je velmi jednoduchý a výrobu desky s plošnými spoji zvládne i úplný začátečník. Pomocí kopírovacího /uhlového/ papíru si překreslíme předlohu na fólii. Celou desku /fólii/ přelepíme průhlednou izolepou. Jednotlivé pruhy pásky lepíme asi 1 mm přes sebe a dobře přitlačíme, aby pod ně nevnikla leptací lázeň. Pomocí pravítka a ostrého nože opatrně odřezáváme a sloupáváme úzké pásky izolepy podle dělicích čar nakreslených na fólii. Po odleptání mědi sloupneme izolepu ze zakrytých částí fólie. Jiný způsob použití izolepy ať již průhledné nebo barevné /či samolepicích tapet a jiných samolepek/ je v přenesení předlohy přímo na ni, když jsme ji před

tím nebo až po nakreslení nalepili na fólii. Obrázek spojů nebo dělicích čar nakreslíme na samolepku, perem Centropen 1911 nebo popisovacím Centrofixem v barvě, která bude dobře viditelná na použitém samolepícím materiálu. Protože přenos předlohy je obtížnější /kopie přes uhlový papír je na samolepce nejasná/, lze si pomoci tak, že předlohu kreslíme buď přímo na samolepku, nebo papír, na kterém je nakreslena, na samolepku přilepíme. Podle kresby pak ostrým nožičkem vyřízneme oddělovací čáry a místa, která mají být na fólii odleptána. Tato metoda je dostatečně rychlá, přesná, a při pečlivějším odřezání i vzhledná. Při použití izolepy a jiných samolepících materiálů se mějte na pozoru při jejich nalepování na fólii. Nesmíme je ani sebemeně napínat, aby se po ustřížení a vyříznutí dělicích čar nezačaly pozvolna srážet /stahovat/, což by vedlo ke zkreslení obrazce plošných spojů. Protože ořezání stejně širokých proužků je nesnadné, je vhodné vyrobit si pro tento účel dvojbřitý nožič z žiletky, děláme-li občas touto metodou desky s plošnými spoji.

**Nožič na řezání mezer** - Z překližky, hliníkového plechu, pertinaxu nebo jiné pevné hmoty si vyřízneme dvě bočnice držáků /obr. 10a/ a několik distančních podložek /obr.10b/. V bočnicích i podložkách vyvrtáme souběžně díry pro šroubky M4. Ty vložíme do děr z jedné strany, nasuneme žiletku /raději tlustší/ na ni distanční podložku a druhou žiletku. Sestavu ukončíme druhou bočnicí a utáhneme maticemi. Tloušťku distanční podložky volíme podle požadované šířky proužku, který chceme vyříznout. Vyříznuté proužky izolepy zachytíme jehlou a odlepíme. Odříznuté okraje izolepy přitlačíme k fólii, aby se pod ně nedostala leptací lázeň. Je-li nůž správně seřízený a okraje žiletek nevyčnívají více než 0,5 až 0,7 mm, bude řez ostrý a mezery mezi rozpojenými políčky všude stejně široké. Deska se spojí bude mít pěkný vzhled s ostře ohraničenými okraji mezer. Obdobně jako izolepu lze ke krytí fólie použít i latexové barvy. Předlohu - klišé nakreslenou na papíru přilepíme v několika bodech na fólii a v místech děr prorazíme důlčičkem důlky Fólii omyjeme mýdlem a suchou vyleštěnou sádrou nebo křídou. Po vyčištění se jí nedotýkáme. Fólii natřeme latexovou barvou a po zaschnutí na ni přeneseme přes kopírovací papír předlohu. Dále postupujeme stejně jako u izolepy. Latexovou barvu můžeme použít i u soustavy spojů. Jednotlivé důlky spojujeme volně od ruky podle předlohy kresbou spojeného obrazce. Spoje kreslíme nálevkovým - trubičkovým perem č.8 nebo č.10, které plníme latexovou barvou, mírně ředěnou vodou. Obrazec spojů na fólii však nepřenášíme kopírováním přes kopírovací papír, protože jeho stopy jsou mastné a latexová barva je nesnáší V místech důlku uděláme kapky podle požadované velikosti pájecí plošky. Latexová barva zaschne zhruba za 10 až 15 min. Po odleptání mědi smyjeme barvu v teplé vodě.

**Parafínová /vosková/ krycí maska** - Je vhodná pro soustavu dělicích čar a pro kteroukoliv leptací lázeň. Desku s fólii odřízneme zhruba o 5 mm větší na obě strany než je krycí maska. Omyjeme ji mýdlem a dokonale osušíme. Přes kopírovací papír na ni přeneseme předlohu a kresbu obtáhneme tužkou příp. ostrým hrotem. Výhodné je kreslit rovnou dvě čáry vedle sebe ve vzdálenosti 0,5 až 1 mm /jak si zvolíme šířku mezer/. Ve vhodné plechové misce rozehřejeme parafin a přimícháme do něj malé množství strojního oleje nebo glycerínu, aby se stal vláčným a nepopraskal. Destičku ponoříme do parafinu asi na 2 min aby se dokonale smočila, vytáhneme a necháme okapat. Vznikne na ní průhledná celistvá vrstva se zvýšenou tužkovou kresbou pod ní. Parafin odrýváme nejprve jedním směrem, pak druhým a čistíme štětečkem. Vyryté drážky musí být čisté, žádný parafin nesmí na fólii ulpívat, aby bylo její vyleptání dokonalé. K rytí použijeme ostrý hrot. Vhodný je nástroj z plexiskla tloušťky asi 0,7 až 1 mm, který zbrousíme do tvaru dláta. Tloušťka plexiskla určuje šířku drážky v parafinu. Po odleptání mědi smyjeme zbylý parafin benzínem, benzenem nebo nitroředidlem, případně mírným zahřátím destičky a pečlivým setřením hadříkem. Obdobný způsob výroby krycí masky je popsán v AR2/82. Pro zajímavost a výhodnost použití je dále uveden: K výrobě

parafínové směsi je třeba 2 ml čerstvého černého krému na obuv /luxus/, 2 cm voskové pastelky světle zelené barvy /má schopnost čistit měď/ a 2,8 ml parafínu nebo vánoční svíčky žluté barvy / 3,6 cm. Krém na obuv odměříme odměrkou např. láhovou zátkou z vinidurové fólie, jejíž vnitřní objem je právě 2 ml, pomocí nože ji naplníme krémem až po okraj a zarovnáme. Odměřené množství krému nejprve zahříváme /odpařujeme těkavé složky/ v plechové misce o průměru asi 3 cm při regulované teplotě. K tomu použijeme žehličku vybavenou termostatem, kterou nastavíme na teplotu mezi hedvábí a vlna. V misce, postavené na obrácené žehličce odpařujeme krém za občasného míchání 15 až 20 min. Krém se zpočátku vaří / po obvodu misky drobně perlí/ a slabě vyvíjí světlý dým, v závěru odpařovací doby se tavenina uklidní a dým je téměř nezatelný. Místnost větráme a páry nevdechujeme. Po této době přidáme odměřené množství parafínu ze svíčky a po jeho roztavení odměřenou délkou voskové pastelky /bez papírku/. Když se pastelka rozpustí, promícháme směs kouskem dřívka, pečlivě ode dna a směs vylijeme na očištěné dno obráceného tlustostěnného hliníkového hrnce, vychlazeného studenou vodou a to na několik míst v menších dávkách, které mají po zatuhnutí tloušťku asi 3mm a samy se od podložky oddělí. Tímto způsobem dosáhneme rovnoměrného složení. Hotová parafínová směs je za pokojové teploty průměrně tvrdá, pevná /při rozlomení zřetelně chrupne/, matně černé barvy s nazelenalým odstínem a nešpiní předměty ani ruce. Před znečištěním ji chráníme zabalením do polyetylenové fólie. Desku, obrácenou folii nahoru, ohřejeme opět na žehličce vybavené termostatem, nastavenou na teplotu něco vyšší než pro žehlení silonu. Na ohřátou folii nanese přiměřené množství parafínové směsi, kterou rozetřeme vlasovým školním štětečkem po celé ploše desky. Ihned po rozetření stíráme přebytečný parafín přes okraj desky. Po ochlazení parafínová vrstva zmatní a můžeme zkontrolovat její celistvost. Je-li na desce vidět lesklé místo, musíme nanést vrstvu znovu. Po práci žehličku očistíme za horka papírem. K rytí dělicích čar je nejvhodnější kousek bambusu zasazený do krajonu na místo tuhy a zahrocený na smirkovém papíře. Hrot bambusu do měděné fólie neryje /jako ocelový hrot/, po povrchu fólie příliš neklouže /jako obyčejná tužka/, ani se rychle neotupí a neotřepí /jako obyčejné dřevo/. Při rytí dobře sleduje povrch měděné fólie a zanechává za sebou v parafínové vrstvě celistvou a čistou stopu. Dělicí čáry ryjeme od ruky dle předlohy, kterou máme před sebou, přičemž se orientujeme dle označených vrtacích důlků. Sklon rydla vůči desce není kritický, nejlepších výsledků dosáhneme při kolmé poloze. Vyrytá /nakreslená/ dělicí čára je v matně parafínové vrstvě nejlépe vidět, pracujeme-li při osvětlení zepředu. Bambusový hrot přibrušuje dle potřeby. Při této práci se nedoporučuje spěchat a při jakékoliv nejistotě je lépe čáru přerušit a znovu porovnat vytvářený obrazec s předlohou. Chybu lze nejrychleji napravit nanesením celé nové parafínové vrstvy a novým nakreslením, menší chybu lze však také opravit po místním ohřátí /pistolovou páječkou/ parafínové vrstvy, která se rozteče a znovu spojí. Po vychlazení pokračujeme v práci. Pro soustavu dělicích čar je také vhodný nástřík nitrobarvy sprejem. Povrch fólie čistíme buď již zmíněnými způsoby, nebo jej jen vymažeme gumou /tvrdou pryží/, a hned folii otřeme hadříkem namočeným v nitroředidle. Na desku již nesaháme. Položíme ji na staré noviny a folii přestříkáme barvou ze spreje, nejlépe autoemailovkou. Po mírném zaschnutí ještě jednou přestříkáme. Na zaschlou, ale ne zatvrdlou barvu překopírujeme předlohu plošných spojů. Aby byl obrazec dobře viditelný, volíme pro nástřík světlou barvu. Předlohu lze překopírovat i přes kopírovací papír. Nástřík pak v místě oddělovacích čar odstraníme rytím nebo řezáním na proužky a jejich odtržením od fólie. Jde to obstojně, pokud barva není dokonale zaschlá. Zbytky odstraněné barvy zatřeme a celou desku otřeme hadříkem namočeným v benzínu. Po odleptání mědi setřeme barvu nitroředidlem. Soustava dělicích čar nemusí být přirozeně vždy pravoúhlá, ale může vytvářet i nepravidelné obrazce /brambory/ kolem série otvorů a může mít i různé protáhlé, rozšířené či zúžené tvary /obr. 12/. Tento typ předlohy má pak již blízko k soustavě spojovacích čar. Pro kresbu krycí masky na folii v soustavě spojovacích čar se často používá různých krycích laků

nanášených na folii pomocí trubičkových /nálevkových/ per č. 8 nebo 10. Předloha se přenesla na folii, v desce se udělají důlky v místech děr pro příklady k součástkám a trubičkovým perem bez vnitřního drátku, naplněným řidším lakem, se kreslí spojovací čáry. Vhodný je ředěný nitrolak může to být však i benzínem ředěný asfalt či v lihu rozpuštěná kalafuna. Místo trubičkového pera lze použít i vypsanou náplň do kuličkových per s odštípnutou kuličkou a zabroušenou vývodní trubičkou. Protože otvor trubičky je větší než u per, je i kresba širší a také stékavost laků větší. Proto musí být náplň hustší, aby vytékání z trubičky bylo nepatrné. Po odleptání fólie lak omyjeme vhodným ředidlem. Díry pro vývody součástek vrtáme na podložce z tvrdého dřeva, aby se okraje netřepily.

## KLISÉ FOTOCESTOU

Potřebujeme-li vyrobit několik kusů desek se stejnými plošnými spoji, nebo máme předlohu v jiném poměru než 1:1 /u některých návodu v časopisu/, pak vlastníme-li potřebné fotopříslušenství můžeme použít tohoto způsobu výroby krycí masky. 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 osvitem přes zvětšovací přístroj. Protože jde o zdoluhavější proceduru, používá se při kusové výrobě jen u složitějších zapojení, či značné hustotě jemných spojových čar. Předloha musí být kontrastní, nejlépe černobílá. V současné době se vyrábějí velmi kvalitní světlocitlivé materiály, bohužel nejsou běžně k dostání. Existují však již v prodeji polotovary - desky s nanesenou světlocitlivou vrstvou. Lze si je zakoupit u soukromých výrobců, jak se lze dočíst v inzertní části AR. Jsou stabilní, lze je dlouhodobě skladovat a lze s jejich pomocí vytvářet na folii i velmi jemné a husté spojové obrazce. Pro kusovou výrobu takovýchto desek s plošnými spoji je to kromě počítačového /viz dále/ zřejmě jediný možný způsob jak dosáhnout kvalitního výsledku své práce. Pro méně náročné předlohy je možné, uvažujeme-li o využití tohoto způsobu výroby krycí masky, vyrobit si světlocitlivý materiál sami. Jde sice o emulzi méně jakostní než předchozí, ale zato je složená ze snadno dostupných komponentů. Sestává z lepidla organické, ve vodě rozpustné látky zcitlivělé na tenkou vrstvu této emulze působí intenzivní osvětlení, dochází k jejímu vytvrzení a tím i zvýšení odolnosti proti rozpuštění ve studené vodě. Aby bylo vytvrzení světlem dokonalé nesmí být vrstva emulze tlustá. Zatvrdlá místa pevněji drží na folii, neosvětlená jsou snadno omyvatelná pod proudem studené vody. Aby bylo přilnutí emulze k mědi dokonalé, musí být fólie dokonale mechanicky i chemicky čistá. Toho lze dosáhnout přebroušením jemným smirkem nebo práškem na nádobí či vany, omytím vodou a přetřením hadříkem namočeným v čistém benzínu nebo nitroředidle. Dokonalé očištění poznáme, polijeme-li folii ve vodorovné poloze vodou. Ta musí vytvářet souvislý povlak bez suchých ostrůvků. Použijeme-li k přenosu předlohy na vrstvu světlocitlivé emulze kontaktní způsob /předloha položená na emulzi/ musí být tato nakreslená negativně, tj. čiré /světlo propouštějící/ plochy odpovídají plochám mědi /vytvrzená emulze/, černá kresba reprezentuje to co má být odleptáno /omytá emulze/. Předloha musí být kreslená na průhledném nebo alespoň dokonale průsvitném podkladu /nejlépe film nebo fólie pro kresbu používanou při projekci/. Předlohu položenou na emulzi překryjeme skleněnou deskou, aby se obrazec překopíroval ostře po celé ploše na emulzi. Smítka a kazy na předloze, emulzi či skleněné desce musí být odstraněna. Vlas, chloupek z látky nebo jiná nečistota mohou způsobit i téměř neviditelné přerušování spoje, které se pak velmi obtížně hledá. Během nanášení emulze si musíme dát také pozor, aby se nevytvořily bublinky a hlavně, aby byla vrstva rovnoměrně a tence rozetřená. Emulzi sušíme buď fénem po dobu 5 až 8 minut, příp. ji necháme jednu až dvě hodiny proschnout v bezprašném tmavém prostředí / pod krabicí/. Pozor, příprava emulze, nanášení i sušení musí probíhat jen ve spoře

osvětlené místnosti, aby nedocházelo již v této přípravné etapě k pozvolnému vytvrzovacímu procesu. Desku s emulzí neskladujeme déle než přes noc, neboť citlivost vrstvy se s probíhajícím časem rychle zhoršuje. Světlocitlivou emulzi získáme smícháním dvou roztoků. Prvním, lepivým, je rozšlehaný vaječný bílek, druhým, zcitlivujícím roztokem je ve vodě rozpuštěný dvojchroman amonný nebo draselný, které lze zakoupit ve specializovaných prodejnách s fotopotřebami či některých drogeriích. Na jeden rozšlehaný bílek připadá 20 g dvojchromanu rozpuštěného v decilitru destilované nebo převařené a vychladlé vody. Po dokonalém promíchání obou roztoků emulzi nejprve odzkoušíme. Větší kapku rozetřeme na tvrdší podložce, část ji přikryjeme a zbytek osvětlíme na přímém slunci nebo pod výbojkou / viz dále / po dobu asi 25 až 30 min. Osvětlená část by pak měla být podstatně tvrdší než neosvětlená. Desku vložíme pod tekoucí studenou vodu a jemně přetřeme houbou. Pokud se smyjí snadno obě vrstvy, je nutno zvýšit koncentraci přidáním dvojchromanové soli, pokud se smýt nedají, snížíme dobu osvětlení, příp. emulzi mírně zředíme vodou. Se zaschlou emulzí rovnoměrně nanesenou na folii již postupujeme stejně jako při práci ve fotokomoře, buď kontaktně, což je nejvýhodnější, nebo přes zvětšovací přístroj, ve kterém však musíme mít žárovku s velmi vysokou intenzitou světla a i tak trvá expozice mnoho desítek minut než je emulze vytvrzená. Ke kontaktní expozici používáme zdroje intenzivního světla s obsahem ultrafialových paprsků. Nejvhodnější jsou slunce a výbojky používané v horských sluníčkách nebo v pouličním osvětlení ap. Vyhovují i žárovky používané ve fotografické praxi nebo obloukové lampy. Pro amatérskou potřebu je nejvhodnější malé horské sluníčko. Dobu expozice a vzdálenost světelného zdroje od desky musíme vyzkoušet experimentálně. Vzdálenost se pohybuje mezi 30 až 80 cm,. Doporučuje se vhodně zastínit pracoviště, protože silné světelné paprsky škodí lidskému zraku. Při použití fotografických infražárovek musíme dbát, aby nedocházelo k nadměrnému ohřívání klišé a základní desky se světlocitlivou emulzí. Emulze potom prská, odlupuje se a vytváří nežádoucí kazy. Ani při použití výbojkového osvětlení není ohřátí zanedbatelné, i když je podstatně menší než u teplého světla žárovek. Volíme proto raději delší dobu osvětlení z větší vzdálenosti. Po exponování omyjeme nevytvrzenou část emulze pod studenou tekoucí vodou. Můžeme jemně pomáhat molitanovou houbou nebo stěrkou, ne prsty, abychom nesetřeli i vytvrzenou emulzi. Po omytí necháme desku oschnout, aby se vytvrzená emulze opět zpevnila: Desku leptáme v roztoku chloridu železitého a po odleptání smyjeme vytvrzenou emulzi v teplé vodě za pomoci tvrdšího kartáče.

## KLISÉ Z POČÍTAČE

V současné době se již nejen v průmyslové výrobě, ale i v amatérské praxi stále častěji objevují návrhy předloh sestrojené počítačem podle zadaných parametrů elektronického obvodu a jejich přenesení pomocí plotteru /elektronický kreslicí přístroj/ s vhodným unašečem krycí barvy na měděnou folii. Tak např. amatérský používaný systém F. Mravenec umožňuje na počítačích kompatibilních s IBP-PC navrhovat i dvoustranné /oboustranné/ plošné spoje. Základem tohoto systému 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. Ke kresbě masky tímto způsobem se již téměř výhradně používá fixů, z nichž některé západní, na bázi xylynu, dovolují kreslit vykrývací čáry o šířce jen 0,1 mm bez nebezpečí vzájemného spojení či následného podleptání. Hustota čar takového obrazce spojů je pak již velmi vysoká. Poznámka : Výrobu těchto fixů údajně připravuje i náš výrobce. Dosavadní fixy na bázi

lihového rozpouštědla, např. Centrofix, kryjí nedostatečně a leptací lázeň čáry podleptává a narušuje, což má za následek nekvalitní spoje i plochy fólie. Kresbu je nutno dva až třikrát překreslit, aby byly čáry celistvé. To ovšem způsobuje jejich rozšíření. Proto lze i jen na ruční kresbu vykrývací masky doporučit fixy, které dobře kryjí. Měděnou folii pro kresbu vykrývací masky fixem nutno dokonale chemicky očistit. Leptáme ji v chloridu železitém.

## Výroba desek plošných spojů

Plošné spoje představují dobře vyzkoušenou a ověřenou část výrobků elektronického průmyslu, avšak současný rozvoj mikroelektronických součástek se čtrnácti, šestnácti i více vývody přiměl inženýry zabývat se důkladněji návrhem desek s plošnými spoji, na něž tyto součástky mají být montovány. Vzdálenosti vývodů součástek a nutnost vést mnoho plošných vodičů na omezeném prostoru nutí znovu uvážit minimální rozměry děr, pájecích bodů a plošných vodičů až na hranici dnešní úrovně technologie. Spolehlivá funkce moderních integrovaných obvodů s vysokými operačními kmitočty zároveň vyžaduje minimální délku plošných vodičů, a proto je nezbytné soustředit zvýšenou pozornost návrhu plošných spojů a tak docílit optimální délky plošných vodičů. S rostoucím počtem součástek montovaných na jednotlivé desky a se vzrůstajícím počtem vývodů těchto součástek se stává návrh plošných spojů stále složitějším. Lineární integrované obvody zpravidla nepotřebují mnoho plošných vodičů k jednotlivým pouzdrům v jednotlivých obvodech a jsou zřídka použity ve velkých počtech, kdežto počet vývodů číslicových součástek se zdá být omezován pouze dostupností vhodných pouzder. V takových aplikacích, jako jsou počítače, systémy zpracovávající radarová data, přepínací zařízení ve spojích, technologické řídicí systémy, se používají číslicové součástky ve velkém počtu /stovky až tisíce/ na jedno zařízení nebo přístroj. Proto zde klademe důraz zejména na montáž číslicových logických obvodů. Stejně základní principy lze aplikovat ovšem také na návrh desek s plošnými spoji pro všechny součástky s více vývody za předpokladu, že jsou respektovány některé další zvláštní požadavky, jako např. přiměřené stínění u vysokofrekvenčních lineární zesilovačů apod. Již počáteční rozhodnutí o návrhu elektrických nebo logických obvodů mají význam pro návrh plošných spojů, a mají-li být postavena skutečně výkonná zařízení, je nutné, aby systémoví inženýři měli plně na zřeteli principy a omezení, ukládaná návrhem plošných spojů. V době, kdy se zařízení rozkládá na obvody pro plošné spoje a tyto obvody jsou předány projektantu plošných spojů, bývá již učiněno mnoho rozhodnutí, jež mohla usnadnit návrh plošných spojů. Mnozí systémoví inženýři, projektanti elektrických a logických obvodů nemají praktické zkušenosti s návrhem a výrobou plošných spojů a rozmístěním součástek prostě proto, že tyto práce bývají přenechávány kresličům nebo speciálním týmům, které naopak zase postrádají odbornost z návrhu elektronických nebo logických obvodů. V minulosti to nevadilo, protože návrh plošných spojů nebyl kritickou částí projektu stroje nebo zařízení, dnes však tomu tak není. Vzhledem k vysokým rychlostem moderních integrovaných obvodů používaných v současných číslicových zařízeních podtrhuje rostoucí význam max. využití plochy desek, jestliže má být minimalizována délka plošných vodičů. S rozvojem využívání automatizace návrhů programátoři a matematici zaujímají rostoucí úlohu v ekonomii návrhu plošných spojů. Zatímco detailní znalost Algolu, Cobolu, Fortranu a ostatních počítačových jazyků zůstane jejich hlavními nástroji, mohou vypracovat programy, jejichž výsledkem bude návrh dobrých plošných spojů jedině tehdy, jestliže budou dobře znát všechna omezení ukládaná rozmístěním součástek a vedením plošných vodičů. Ve většině případů byly metrické rozměry odvozeny od původních rozměrů v palcích. Tam, kde se hovoří o tolerancích, by čistě metrický návrh pravděpodobně vycházel z poněkud odlišných čísel. Rozměry v metrických jednotkách jsou přiměřeně zaokrouhleny.



Před započítáním prací na návrhu plošných spojů pro mikroelektronické součástky je třeba uvážit hlavní rysy běžně používaných součástek. Mikroelektronické součástky vyžadují pozdrav jak pro ochranu před prostředím, tak ke zprostředkování vhodného způsobu spojení s jinými součástkami. U nejjednodušších součástek stačí zpravidla jen několik vývodů, avšak i integrovaných obvodů je obvykle zapotřebí 12 i více vývodů, až přes 50 u největších úrovní integrace. Rozšíření existujících montážních technik tranzistorů stačilo pro starší typy integrovaných obvodů, netrvalo však dlouho a bylo třeba vyvinout zvláštní pouzdra se 14-ti vývody, jež se stala běžně používaným standardem. Nyní se začínají běžně používat obdobná pouzdra se 16-ti vývody a pokrok v integraci u mikroelektronických součástek vedl k rozvoji stále složitějších pouzder, jež jsou podobná původním součástkám se 14-ti vývody. Tato speciální pouzdra jsou ponejvíce používána pro různé číslicové logické soubory, které jsou ve stovkách a tisících montovány v počítačích a podobných zařízeních. Jejich užití se rozšiřuje i do oblasti spotřební elektroniky v integrovaných nízkofrekvenčních zesilovačích, obrazových zesilovačích a podobných obvodech. Zdá se, že integrované obvody lze nyní nalézt ve všech odvětvích rozsáhlého elektronického průmyslu a takřka denně se objevující jejich další aplikace. Pouzdra, do nichž jsou montovány integrované obvody, se používají také k montáži jiných součástek, nikoli nezbytně polovodičových např. skupin shodných tranzistorů nebo diod, ale i skupin odporů, kondenzátorů nebo jiných malých diskretních součástek, dokonce i impulsních transformátorů a malých zpožďovacích obvodů. Stejná pouzdra lze používat i pro montáž složitějších součástek, obvykle označovaných jako střední integrace /MSI/ nebo velká integrace /LSI/, která mohou být na jediné křemíkové destičce nebo hybridními obvody obsahujícími několik polovodičových čipů. Součástky střední a velké integrace obvykle vyžadují více vývodů, než se obvykle uvažuje u integrovaného obvodu, avšak ve většině případů pouzdra používaná pro součástky střední a velké integrace lze označit za velké bratry obvyklých integrovaných obvodů a lze na ně aplikovat odborné montážní techniky.

**Montáž** - Větší rozteč vývodů neusnadňuje montáž, obzvláště u typů s deseti a dvanácti vývody. Taková pouzdra nemusí být montována na desky s plošnými spoji, avšak je to jejich nejrozšířenější aplikace. Není lehké vyrobit desky s plošnými spoji pro pouzdra typu TO 70 a jsou-li vyrobeny, je docela možné, že tyto součástky budou nesprávně montovány. Praporečky označující vývody s nejvyšším číslem jsou malé a ne vždy se kryjí s tímto vývodem tak, jak by měly. V takovém případě, je-li navíc i nepatrná chyba v umístění značky na desce, podle níž má být praporeček při montáži orientován, velmi pravděpodobně dojde k chybám, i když montáž součástek budou provádět velmi pečliví pracovníci a je zavedena dobrá kontrola sestavených desek. Riziko špatné montáže může být mnohem větší, jestliže si pracovník navrhující plošné spoje není vědom toho, že pouzdra typu TO 73 a TO 74 nemají orientační praporečky na stejném místě jako ostatní pouzdra typu TO 70. Neopatrní nebo špatně zaškolení prac. mohou vkládat pouzdra typu TO 70 špatně tolika způsoby, kolik má pouzdro vývodů, neboť orientační praporeček je pouze optickým vodičkem a nikoli mechanickým klíčem. Všechny takové chyby by neměly uniknout kontrole sestavené desky, avšak u rozsáhlých zařízení jedna nebo dvě chyby mohou lehce uniknout a způsobit řadu obtíží při zkoušení nebo předávání zařízení, než se chyba objeví. Jinou nevýhodou tohoto typu pouzder je, že je prakticky nemožné snímat signál přímo na pouzdru, jakmile je pouzdro namontováno na desku. Není-li pouzdro montováno s odstupem od povrchu desky, lze signál snímat pouze na povrchu pájeného spoje vývodu. Obzvláště u kovových vývodů přítomnost signálu na povrchu pájeného spoje nemusí být zárukou, že signál skutečně projde k polovodičové součástce, tzv. studené spoje jsou až příliš častým jevem.

**Rozměry a rozteč vývodů** - Pro všechny typy pouzder jsou rozměry vývodů specifikovány v tloušťce od 0,0762 mm /0,003"/ do 0,152 mm /0,006"/, šířce od 0,254 mm /0,010"/ do 0,482

mm /0,019"/ s roztečí středu vývodu 1,27 mm /0,050"/. Vývody vystupují z pouzdra ve vzdálenosti 0,127 mm /0,005"/ až 0,889 mm /0,035"/ od jejího dna. U menšího čtrnáctivývodových pouzder oba poslední vývody na obou stranách pouzdra vystupují na jeho koncích a vývod s číslem jedna u těchto součástek má malý praporek. Pouzdra mají zářez nebo značku buď na rohu sousedícím s vývodem 1, nebo uprostřed mezi vývody 1 a 14 / nebo 1 a 10 u pouzder typu TO 89 až TO 91/. U všech typů těchto pouzder jsou vývody číslovány stejně jako u pouzder typu TO 70, tj. ve směru hodinových ručiček od vývodu s číslem 1 při pohledu zespodu. Je však zcela obvyklé kreslit tato pouzdra při pohledu shora s číslováním vývodů proti směru hodinových ručiček.

### Montáž

Bývalo zvykem přivařovat vývody plochých pouzder přímo k plošným vodičům na deskách s plošnými spoji. Tato technika však nebyla nikdy příliš oblíbená, neboť přivařování k měděným plošným vodičům zdaleka není jednoduché. Používání desek s plošnými vodiči ze železa, niklu nebo kovu, které by umožňovalo lepší vary, je spojeno s obtížemi. Byla postavena řada důmyslných svářecích strojů pro plochá pouzdra, avšak mnozí inženýři zůstali skeptičtí a teprve s uvedením techniky pájení přetavením začali považovat plochá pouzdra za dobře použitelná. Někteří inženýři byli nespokojeni s přivařováním plochých pouzder do té míry, že ohýbali jejich vývody a usazovali je do otvorů v deskách s plošnými spoji, aby mohly být pájeny stejným způsobem jako u pouzder typu TO 70. Praktické obtíže při zhotovování desek s řadami otvorů o rozteči 1,27 mm /0,050"/ vedly k střídavému ohýbání vývodů, a tím získání řady 4 otvorů a řady 3 otvorů na obou stranách pouzdra, všechny otvory o rozteči středů 2,54 mm /0,100"/.

**Funkce** - Deska s plošnými spoji plní 3 funkce : poskytuje mechanickou podporu obvodovým součástkám, zprostředkuje potřebné elektrické vodivé spoje a obvykle je opatřena v nějaké formě popisem nebo označením namontovaných součástek, umožňujícím jejich rozšíření. Tato mnohostrannost obvykle elektronikovi projektantovi plně postačí k rozhodnutí použít desky s plošnými spoji. Avšak i v případě, kdy uvedené tři funkce lze docílit jinými a levnějšími způsoby, existují rozhodující důvody pro použití desek s plošnými spoji. Prvním důvodem je opakovatelnost. Jakmile byl náčrt vodivého obrazce jednou přezkoušen, není nutné kontrolovat správnost vedení plošných spojů u každé vyrobené desky - všechny budou stejné jako prototyp. U velkých zařízení, např. u počítačů, to může představovat podstatné úspory na kontrole provedení. Druhým důvodem pro použití desek s plošnými spoji je, že při použití vysokofrekvenčních součástek lze předpovědět odezvu na hrany impulsů, záněje, poměr stojatého vlnění a přeslechy ze sousedních plochých vodičů a v mnoha případech lze zaručit funkci zařízení ještě před zhotovením prototypu. Je možné navrhnout vodivý obrazec tak, že všechny signálové plošné vodiče tvoří přenosová vedení a projektant má přiměřenou kontrolu jejich charakteristické impedance. Přesné výpočty jsou v praxi zřídka prováděny při návrhu obrazce, odpovědný projektant se řídí pouze jednoduchými pravidly nejhoršího případu co do délky, šířky a izolačních mezer plošných vodičů a základního materiálu desky tak, aby konečný výrobek vyhověl zkušebním podmínkám. Dodržováním takových pravidel nejhoršího případu může sice způsobit, že v konečném výrobku nejsou plně využity možnosti desek s plošnými spoji a použitých součástek, zvláště když všechna tato pravidla jsou aplikována současně, avšak zaručuje velmi nízké procento nevyhovujících výrobků při ověřování. Představuje také podstatné zjednodušení návrhu desek do té míry, že projektant zodpovědný za návrh vodivého obrazce si ani neuvědomuje, že plošné vodiče, s nimiž pracuje, tvoří přenosová vedení se všemi diskontinuitami a spojkami pod kontrolou. U složitějších zařízení je použití těchto pravidel jedinou možnou cestou, úplný výpočet každého vodiče nebo skupiny plošných vodičů a stanovení tolerancí by bylo příliš zdlouhavé. Třetím

důvodem pro použití jednoduché desky s plošnými spoji je přístupnost všech signálů na kterémkoli místě plošného vodiče bez rizika zkratu způsobeného dotykem drátu. U číslicových logických obvodů, kde přítomnost nebo nepřítomnost signálů je důležitější než jeho přesná amplituda, lze kontrolovat celé úseky desek s plošnými spoji poměrně rychle, obzvláště jestliže byly desky navrhovány systematicky. To může podstatně usnadnit vyhledávání závad. Další důležitou výhodou desek s plošnými spoji je možnost hromadného pájení spojů, tak totiž dosáhneme stejné kvality spojů jako vodivého obrazce. Moderní pájecí techniky využívající zařízení buď na pájení smáčením nebo vlnou mohou zaručit tisíce spolehlivých spojů za minutu, zatímco /jak staří elektronici vědí velmi dobře/ kvalita ručně pájených spojů bývá velmi rozdílná a závisí na zručnosti a pečlivosti pracovníka.

**Původní plošné spoje** - Vývoj typické dnešní desky s plošnými spoji musel čekat na vývoj moderních umělých pryskyřic, především fenolických a epoxidových a vyztužovacích tkanin ze skleněných vláken. Jeden z prvních pokusů o výrobu plošných spojů se skládal z obvodů kreslených metalizovanými a jinými vodivými inkousty na jemné hedvábí a z kondenzátorů vytvářených z tenkých lístků slídy mezi dvěma pokovenými ploškami na hedvábném podkladě. Mezi křížující se vodiče byly nalepovány kousky hedvábí. Připájením mikrominiaturních elektronek a diod byla dokončována výroba těchto vpravdě tištěných obvodů, které byly údajně používány ve vysílacích a přijímacích stanicích tajných agentů za války.

**Ohebné plošné spoje** - Dvěma zdokonalenými potomky těchto obvodů jsou dnes běžné ohebné spoje hojně používané v automobilovém průmyslu a tlustovrstvé obvody používané v hybridní střední a velké integraci. Moderní ohebné spoje se skládají z tenké měděné fólie spojené s tenkou fólií z plastické hmoty nebo někdy umístěné mezi dvě plastické fólie. Velmi často používaným základním materiálem je polyesterový film, jehož velkou nevýhodou je však nízký bod tání a pájení k měděné fólii je potom velmi obtížné. U ručně pájených ohebných plošných spojů se používají základní materiály s vyšším bodem tání jako PTFE, FEP, polypropylén nebo i u méně ohýbaných plošných spojů epoxidové fólie ztužené skleněnými vlákny.

**Tlustovrstvé obvody** - Tlustovrstvé obvody jsou ve své koncepci velmi podobné původním obvodům na hedvábném podkladu. Přesně vzato, jsou jedinými běžně používanými obvody, které by bylo možno nazývat tištěnými obvody. Skládají se z kovových plošných vodičů a složitých odporů vytvářených z materiálů ve formě past, které jsou přenášeny sítotiskem na keramickou podložku a potom tvrzeny vypálením. Kondenzátory a křížení spojů se provádí tiskem a tavením izolační oxidační vrstvy na první metalizační vrstvu. Aktivní polovodičové součástky jsou připojovány buď montáží líního čipu, kdy připojené plošky na jeho horní straně jsou spojeny s malými kovovými sloupky propojovacího panelu, nebo připojeny drátky obdobně jako u plochých a dvouřadých pouzder. Jiným typem plošného spoje, který v současné době není příliš rozšířený, je vodivý obrazec vyrobený ražením z tenké kovové fólie a přilepený k izolačnímu podkladu. Podobné techniky se však používá někdy při výrobě speciálních vodičů pro rozvod napájecího napětí u velkých přístrojů a zařízení.

**Běžně používané typy desek** - Pojem, deska s plošnými spoji může v současné době vyvolat odlišné představy v různých odvětvích elektronického průmyslu. V podstatě se však vždy skládá z vyztužené plastické základny s měděnými plošnými vodiči ve formě tenké fólie. Ojedinele se celý měděný vodivý obrazec vytváří pokovením podkladu, nejčastěji se však vytváří odleptáním z původní celistvé vrstvy na podkladovém materiálu. Vodivý obrazec může být na jedné straně desky nebo na dvou stranách desky a bývá propojen nejrůznějšími

způsoby. U vícevrstevných desek může být uvnitř desky několik vodivých obrazců z mědi. Desky jsou opatřeny otvory pro vývody součástek a u dvou - a vícevrstevných desek pro spojení jednotlivých vodivých vrstev mezi sebou. Otvory jsou uvnitř pájecích plošek, které mohou mít tvar kruhový, hruškový, oválný, čtvercový nebo jiný dle úvahy projektanta. Pájecí plošky mají mít minimální šířku rovnou dvojnásobku průměru otvoru, který obklopují /pokud nejde o zvlášť velké otvory/, přičemž šířka plošných vodičů je srovnatelná s průměrem otvorů.

**Základní materiály** - Nejčastěji používanými materiály pro výrobu desek s plošnými spoji jsou fenolická pryskyřice ztužená papírem nebo epoxidová pryskyřice vyztužená tkaninou ze skleněných vláken. Obě tyto skupiny základních materiálů zahrnují další druhy : materiály zvlášť upravené pro vyrážení nebo vrtání, materiály vyhovující zvláštním požadavkům na pevnost nebo elektrické vlastnosti při pokojové nebo zvýšené teplotě, materiály zvlášť odolné proti vznícení. Existuje množství druhů základních materiálů, používá se většina moderních syntetických materiálů zesílených papírem, tkaninou ze skleněných vláken nebo jinými vlákninovými materiály. Většina těchto materiálů je k dispozici ve značně rozměrných deskách, avšak omezujícím činitelem pro projektanta desek s plošnými spoji bývají max. rozměry, které lze vkládat do lisu nebo vrtačky nebo velikost pokovovacích, leptacích nebo čistících nadržů. Mají-li být vyrobeny obzvlášť velké desky, je nutné přezkontrolovat výrobní možnosti před zahájením práce na návrhu. V oblasti, kterou uvažujeme, nám jde o desky o rozměrech od 150 mm /6"/krát 75 mm /3"/ až do 300 mm x 300 mm. Základní materiál nejvíce používaný u uvažovaného typu desek, skelný laminát, se vyrábí impregnační tkaniny ze skleněných vláken pryskyřicí a lisování potřebného počtu vrstev impregnované tkaniny vložené mezi měděné fólie ve velkém hydraulickém lisu. Mezi jednotlivé vrstvy se vkládají plechy z nerezavějící oceli a lisování se provádí obvykle ve víceetážovém lisu. Měděné fólie se tvoří elektrolyticky na povrchu ocelových nebo pochromovaných bubnů. Při elektrolytické výrobě je vnější povrch měděné fólie drsnější v závislosti na délce procesu. Tento povrch je ještě více zdrsňován, aby se docílilo ještě lepšího spojení s pryskyřicí základního materiálu. Přílnavost takovéto měděné fólie k povrchu desky je podstatně větší, než by tomu bylo při použití měděné fólie válcované. Podobných postupů lze použít při výrobě niklem plátovaného materiálu, z něhož je možno získávat odporové obrazce leptáním, nebo při výrobě desek, na něž mohou být přivařována plochá pouzdra apod. Skelná tkanina musí vyhovovat pro výrobu základního nebo plátovaného materiálu. Skleněná vlákna jsou opatřena apreturou umožňující jejich tkaní. Tato apretura musí být slučitelná s použitou pryskyřicí. Projektant desek s plošnými spoji se zpravidla takovými detaily nezabývá a specifikuje základní materiál podle některých standardních specifikací. Nejčastěji používanými specifikacemi jsou normy NEMA /American National Electrical Manufacturers Association/. Tyto normy jsou založeny na levných, běžně dostupných pryskyřicích a plně vyhovujících pro normální použití.

**Normy NEMÁ** - Základními materiály nejvíce používanými ve spotřební elektronice /rozhlasové přijímače, televizory, atd./ jsou v normě NEMA označeny XXXP a XXXPC. Jde o materiály na bázi fenolytických pryskyřic a papíru s přiměřenou navlhavostí, střední pevností a přiměřenými elektrickými vlastnostmi. P označuje materiál vhodný pro děrování a PC pro děrování za studena. V oblasti počítačové techniky a v průmyslové elektronice se převážně používají základní materiály na bázi skleněných tkanin. Norma NEMA je popisuje jako G2, G3 /fenolická pryskyřice/, G5 /melaminová pryskyřice/, G10 /epoxidová pryskyřice/, G11 /teplotně odolná epoxidová pryskyřice/, FR4, FR5, které jsou nehořlavé verze G10 a G11 a dále GP01, GP02 a GP03 /polyesterová pryskyřice vyztužená netkanými vlákny/. K výrobě desek pro montáž integrovaných obvodů obvykle nejlépe vyhovují základní materiály FR4 nebo G10, které poskytují nejlepší souhrn elektrických a mechanických vlastností s nejlepší soudržností mezi pryskyřicí a skleněnými vlákny a mezi pryskyřicí a plátovanou mědí. Použití

materiálu G11 nebo FR5 nemá zvláštní význam, neboť pevnost desek je zpravidla větší, než je potřebné, a je také zbytečné používat materiál, který si uchovává nepotřebnou pevnost při teplotách mnohem vyšších, než při kterých pracují integrované obvody. Kromě toho materiály typu G11 nevykazují takovou soudržnost pryskyřice s plátovanou mědí jako u typu G10.

**Další základní materiály** - U aplikací, jako jsou přenosové linky, filtry, speciální oscilační obvody apod., kde se používají nízké zkratové charakteristiky při vysokých kmitočtech až do 10GHz, se používají základní materiály desek na bázi silikonových pryskyřic. Přílnavost měděného plátování i mechanická pevnost jsou nižší než u desek ze základního materiálu na bázi epoxidových pryskyřic. U aplikací, kde vlastnosti základních materiálů na bázi fenolických pryskyřic ztužených papírem nevyhovují při kmitočtech okolo 10MHz a více, začínají se používat desky na bázi polyesterových pryskyřic ztužených skleněnou stříží. Jsou levné a mají nízký kapacitní drift. Lze předpokládat, že se jejich použití rozšíří i na méně kritické aplikace integrovaných obvodů na místo dražších materiálů typu G10 a nebo FR4. Desky ze základních materiálů na bázi nelaminových a akrylikových pryskyřic se pravděpodobně neuplatní pro montáž integrovaných obvodů. Desky na bázi melaminových pryskyřic se uplatňují v aplikacích, kde se požaduje odolnost proti chemikáliím, a desky na bázi akrylikových pryskyřic se nejvíce používají u motorů s plošnými spoji a u olejových topidel.

**Pevnost v loupání** - Vedle mechanické pevnosti a elektrických vlastností základního materiálu se může ukázat jako rozhodující pevnost v loupání měděné fólie od laminátu. Pevnost v loupání plně vyhovuje u pájecích plošek kolem otvorů ke vsazování vývodů součástek nebo pájecích plošek, k nimž mají být součástky pájeny přetavením obvykle jen u čerstvě vyleptaných desek. Avšak po opakovaném pájení se může pevnost v loupání výrazně snížit a může dojít k oddělení pájecích plošek od povrchu desky. Při použití pokovených propojovacích otvorů ve všech pájecích ploškách se stává problém odlepené pájecí plošky daleko méně závažným. Pokovené propojovací otvory se však mohou poškodit a někdy se dává přednost usazení dutých nýtků do otvorů, u nichž se očekává několikerá montáž součástek.

## Jednoduché desky

**Jednovrstvé desky** - Chce-li projektant co nejlépe využít výhod desek s plošnými spoji, musí vědět, jak se desky s plošnými spoji vyrábějí, jaká jsou omezení jednotlivých výrobních postupů a s jakými tolerancemi je nutno počítat. Výrobní postupy jsou srozumitelné. U různých výrobců se však podstatně liší limity celkových rozměrů desek, velikosti otvorů, min. šířek plošných vodičů, možnosti výrobních zařízení a tolerancí. Především je třeba určit výrobce a přezkoumat všechna omezení. Někdy projektant nebude spokojen s deskami navrženými na mezní hodnoty. V tom případě mu znalost výrobních postupů, které přicházejí v úvahu, může usnadnit návrh možných zlepšení. Výrazné zvýšení dohodnutých cen nebo prodloužení dodacích lhůt může být signálem, že jeho požadavky jsou příliš vysoké. Většina speciálních výrobců desek s plošnými spoji ochotně projedná všechny aspekty návrhu desek ještě před započítáním jejich výroby a zdá se že mezi výrobcí panuje shoda o tom co je možné a co není možné vyrobit.

**Nanášení krycí masky** - Pro velkosériovou výrobu nanášení vykrývací masky na měděnou fólii se používá některých způsobů známých z tiskárenské praxe. Jedním z nich je i ofset a sítotisk. U ofsetového tisku se nanáší vykrývací barva na měděnou fólii do míst, kde nemá být odleptána, pomocí upraveného ofsetového tiskového stroje. Zinková maska s odleptanou

předlohou je upevněna na válci a při otáčení se do odleptaných míst vnáší krycí barva, která se dalším pootáčením válce přenesne na pohybující se desku s měděnou fólií. Na válec lze upevnit několikanásobný obraz odleptané předlohy, takže při jedné otočce válce se současně nanese vykrývací barva na větší počet desek s budoucími plošnými spoji. Pro menší série a ne příliš jemnou kresbu spojů je vhodná sítotisková metoda nanášení krycí barvy na měděnou fólii. Jde vlastně o šablonu vytvořenou podle předlohy na jemné silonové či drátěné síťce. Očka síťky, která nemají propustit vykrývací barvu se zaplní nepropustnou látkou. Zbývajícími očky, která vytvářejí věrný obraz předlohy, se buď strojně nebo ručně tužkou protlačuje barva na podloženou měděnou fólii desky. Síťka v rámečku musí být dokonale napnutá a po celé ploše ležet na měděné fólii, aby byla vzniklá vykrývací maska dostatečně ostrá. Výplet síťky musí být jemný, aby se po jejím odstranění barva slila v jeden celek. U velmi jemných sítěk lze dosáhnout přesnosti tisku až k desetíně milimetru. Pro malé série a kusovou výrobu je velmi výhodná fotografická metoda.

**Sítotisk** - Výroba desek s plošnými spoji začíná u výchozí matrice v nějaké formě. Od této matrice se odvozuje kresba vodivého obrazce na desce. Pro účely této kapitoly předpokládáme, že byla získána uspokojivá výchozí matrice vodivého obrazce v měřítku 1:1 /jak by to bylo hezké, kdyby to ve skutečnosti bylo tak jednoduché/. Vodivý obrazec se přenáší na měděný povlak laminátové desky buď ve formě husté, chemicky odolné tiskové barvy /zpravidla černé/ sítotiskem, nebo fotomechanickým způsobem. Sítotisk je přímý postup, při němž se tisková barva protlačuje sítím z jemného hedvábí nebo častěji kovovým sítím. Barva prochází těmi otvory síťové tkaniny, které jsou průchodné na povrch desky. Zbytek sítě je opatřen voskovým nebo jiným povlakem, který zabraňuje pronikání tiskové barvy. Při tomto postupu se docílí překvapivé přesnosti omezené pouze rozměry síťové tkáně a viskozitou použité tiskové barvy. Řada výrobců desek s plošnými spoji má k dispozici speciálně vyrobená síta, s nimiž zachází jako s velmi cennou součástí vysoce přesného zařízení, jímž také skutečně jsou.

**Fotomechanická emulze /fotorezist/** - Fotomechanický postup spočívá v potažení plátovaného materiálu tenkou rovnoměrnou vrstvou emulze, obvykle pečlivě kontrolovaným natáčením. Přebytečná emulze se odstraňuje pomocí vysokoobrátkové odstředivky. Po vysušení se k desce přiloží pracovní matrice a emulze se exponuje v kontaktním reprodukčním přístroji vybaveném podtlakovým zařízením, které zaručuje, že pracovní matrice zůstane v kontaktu s emulzí. Potom se deska vyvolá a na vodivém obrazci zůstane vrstva emulze, zatímco z ostatních ploch desky se odstraní omytím. Dodávají-li se pro výrobu desek pracovní matrice v měřítku 1:1, je nutné zjistit, kterého postupu se bude používat a zda bude zapotřebí pozitivních nebo negativních matrice. Je také třeba dbát, aby pracovní matrice byly opatřeny emulzí a na té straně, která při expozici bude skutečně v kontaktu s vrstvou fotografické emulze na desce. Při zhotovování pracovních matic je třeba označit správnou stranu. Pro matrice v měřítku 1:1 se obvykle používá vysoce stabilní film na bázi Estaru o tloušťce 0,178 mm /0,007"/. Má-li matrice emulzi na nesprávné straně, vzdálenost 0,178 mm mezi obrazcem a emulzí desky může být zdrojem chyb způsobených paralaxou i u nejlepších reprodukčních zařízení. Pro běžnou produkci používá většina výrobců sítotisku. Fotomechanický postup se používá u kusové výroby nebo u přesnějších prací.

**Mezioperační kontrola** - Po přenesení vodivého obrazce na povrch laminátu následuje pečlivá prohlídka a kontrola. Přes mimořádnou péči ve všech fázích postupu mohou zůstat miniaturní díry v tiskové barvě nebo v emulzi pokrývající desku vodivého obrazce a na nežádoucích místech povrchu desky mohou zůstat zbytky tiskové barvy nebo emulze. Po zjištění a odstranění všech takových závad pokračuje výrobní proces leptáním.

**Pokovení plošných kontaktů** - Má-li být deska zasouvána do přímého konektoru, všechny plošné vodiče pro propojení vstupu a výstupu jsou zakončeny plošnými kontakty /tzv. prsty/ vedenými až k hraně desky. Tyto plošné kontakty se pokovují zlatem, aby se docílilo nejmenšího možného přechodového odporu v kontaktech. Po skončení leptání a vytvoření vodivého obrazce, a tím oddělení plošných kontaktů by jejich elektrochemickém pokovení nebylo možné. Proto vodivý obrazec na pracovní matici pokračuje vně plochy výsledné desky, spojuje se v jeden plošný vodič, který dovoluje propojení s katodou při elektrochemickém pokovování. Plocha desky mimo plošné kontakty se opatří krycí maskou, zpravidla lepicí páskou a plošné kontakty se pokovují. Obvyklá tloušťka nanesené vrstvy zlata je 0,005 mm /0,0002"/, někdy se nanáší slabší vrstva zlata o tloušťce 0,001 27 mm /0,000 05"/ na tvrdě poniklovaný podklad.

**Povrchové úpravy desky a pocínování** - Bez povrchové úpravy lze ponechat jednoduché desky obvykle jen tehdy, jestliže se použijí bezprostředně po jejich vyrobení. Jinak koroze a znečištění podstatně ztěžují pájení. Desky, jež je třeba skladovat, byť jen krátkou dobu, se někdy opatřují ochranným nebo pájecím povlakem. U jednoduchých desek se však obvykle dává přednost povrchové úpravě pocínováním. Při tomto postupu se výsledná deska dotýká povrchu válce, který je smáčen v roztavené pájce a přenáší na povrch desky tenký povlak pájky. Tento povlak chrání povrch měděných plošných vodičů a zaručuje pájitelnost /nebo se předpokládá, že zaručuje pájitelnost/. V praxi se zjistilo při pájení některých typů odporů a kondenzátorů a dokonce některých cívek z pocínovaného měděného drátu, že není vždy tak jednoduché zaručit pájitelnost.

**Vrtání a ražení otvorů** - Po pocínování desky následuje vrtání nebo ražení otvorů. Při výrobě velkého počtu stejných desek je výhodné zhotovit speciální razicí přípravek k současnému ražení všech otvorů nebo vyřezat otvory jednotlivě na speciálním stroji řízeném děrnou páskou. Mají-li být otvory vyraženy, obvykle se předepisují základní materiály vhodné pro ražení za studena, neboť jinak je třeba desky před ražením otvoru zahřívát. Jednoduché desky mohou být vrtány na vrtačce řízené děrnou páskou nebo vrtány s použitím šablony. Desky vyráběné v menších sériích se obvykle vrtají bez zvláštního přípravku na běžné stolní vrtačce. Použití pájecích plošek se středovým otvorem velmi usnadňuje tuto operaci tím, že lze lehce vyhledat střed pájecí plošky a umístit do středu vrták. V současné době se může zdát tento postup hrubým, docíluje se však při něm vysokého stupně přesnosti i velmi dobré produktivity.

**Řezání desek** - Poslední operací při výrobě desek je řezání buď rychloběžníkovými pilami, nebo vysekávání pomocí speciálních raznic ve vhodném lisu jedinou operací. Výrobní matrice v měřítku 1:1 je obvykle opatřena rohovými značkami, které označují kraje výsledné desky. Ke zvýšení přesnosti při výrobě většího počtu desek se zhotoví přípravek s vodítky a zarážkami.

**Lícování** - Vyvrtávání otvorů s ručním vyhledáváním postačí při výrobě nejjednodušších jednovrstvých desek. Při použití nástroje pro vyrážení otvorů, vrtačky nebo vyrážecího lisu řízeného děrnou páskou nebo při vyvrtávání otvorů podle šablony je nutné zajistit přesné umístění desky ve stroji a obrazce na povrchu desky. Soukryt se docíluje některým ze způsobů lícování. Laminátové desky se opatří vyraženými otvory, které se shodují s použitým lícovacím systémem. K přesnému nastavení soukrytu kresby vodivého obrazce s přípravky používanými při výrobě desek se pracovní matrice v měřítku 1:1 opatří otvory a drážkami. Vrtačky nebo vyrážecí lisy a reprodukční zařízení jsou vybavena přípravky s vhodnými čepy.

Lícovací systémy se liší od výrobce k výrobcí. Někteří dávají přednost dvěma kruhovým čepům, z nichž jeden se vsazuje do kruhového otvoru a druhý do drážky /minimum diktované kinematickými principy/. Jiní volí řadu čepů, a to všechny lícující s kruhovými otvory při jednom kraji desky, nebo sadu čepů na všech čtyřech stranách vyráběné desky, které zapadají do drážek, takže dojde-li v kteroukoliv fázi výrobního procesu ke změně rozměrové stability, rozloží se všechny pohyby rovnoměrně směrem do středu nebo od středu desky. S ohledem na to, že rozměrovou nestabilitu nelze nikdy zcela opomenout, měla by být dáována přednost poslednímu systému. Může však být dosti náročný na spotřebu materiálu, vyrábějí-li se desky ve velkém množství různých rozměrů. Na obr. 14 je znázorněno pět nejpoužívanějších lícovacích systémů. Je-li znám výrobce desek, mohou se výrobní matrice opatřit speciálními značkami pro přesné umístění potřebných lícovacích otvorů. U nejpřesnějších prací však ruční soukrytování matrice vlisu nebude dostatečně přesné. Způsoby docílení větší přesnosti jsou uvedeny v V . kapitole.

**Dvouvrstvé desky** - Při použití lícovacího systému je možné získat leptaný vodivý obrazec na obou stranách desky s přiměřenou jistotou, že otvory vrtané pájecími ploškami z jedné strany desky projdou odpovídajícími pájecími ploškami na druhé straně desky. Zřejmě se tak může stát jen tehdy, jsou-li plošky u obou matic správně umístěny - což se v praxi vždy nestává.

**Děrování lícovacích otvorů v maticích** - Při výrobě dvouvrstvých desek musí být obě matrice před vyražením lícovacích otvorů v přesném soukrytu. Jsou-li obě matrice opatřeny značkami pro přesné umístění lícovacích otvorů, dá se těchto značek použít k více nebo méně přesnému soukrytování. Vždy je však nutno matrice ještě srovnat, aby se docílilo co nejlepšího soukrytu mezi vodivými obrazci. K umístění lícovacích otvorů lze potom použít značek pouze na jedné matici nebo lépe, středu mezi oběma sadami značek v případě, že vzájemně nesouhlasí. Pokud nejde o velmi špatně zhotovené matrice, budou chyby malé. Perfektního děrování lícovacích otvorů podle značek na maticích lze těžko dosáhnout. Proto vyražení lícovacích otvorů u každé z obou matic zvlášť pravděpodobně zdvojnásobí lícovací chyby. Při poškození jedné z matic pro dvouvrstvé desky ne její nutné záměně pro nějakou menší změnu se proto musí nahradit obě matrice a lícovací otvory děrovat najednou. Při přípravě pracovních matic pro dvouvrstvé desky je třeba věnovat pozornost tomu, aby měly emulzi na správné straně.

**Označování matic** - Matrice v měřítku 1:1 pro výrobu dvouvrstvých desek je nutné označovat tak, aby bylo jasné, o kterou desku jde a které její strany se týkají. To je možné provést mnoha způsoby, avšak pravděpodobně nejjednodušší a nejlogičtější je způsob odvozený od označení strany pájení neboli rubové strany jako S1, T1 nebo W1 a strany součástek, čili lícové strany jako S2, T2 nebo W2. Označení číslem 2 se vypouští u jednovrstvých desek. Pájení plochých pouzder přetavením může poněkud znejasnit tento systém, zejména tehdy, když se pouzdra montují na obě strany desky, avšak v takových případech může projektant zvolit libovolný jiný systém. V této knize budeme používat systému označování W1-W2.

**Označování desek** - V souvislosti s označováním desek stojí za zmínku také umístění značek. Je překvapující, jak mnoho výrobců označuje svoje matrice mimo plochu výsledné desky a spoléhá na popis tištěný na stranu W2 desky nebo dokonce na identifikační štítek mechanicky připevněný k desce. Takové systémy označování desek někde mohou vyhovovat po dlouhou dobu. Jindy se však může označení setřít a štítek ztratit. Protože se na to obvykle přijde, až když vznikne nějaká panika, stává se často, že se vyřadí jinak plně schopná výroba a možná dosti nákladná deska jen proto, že ji není možné identifikovat a usouzení výrobní inženýři nemají času nazbyt pro potřebnou amatérskou detektivní práci. V praxi se zpravidla



označení desky nepovažuje za součást leptaného obrazce, přestože jediným nákladem je obětování kousku místa na ploše desky. Vyhradíme-li pro označování desky jeden standardní roh desky, lze potřebnou desku rychle vyhledat mezi zásobními deskami. Označování desek by mělo obsahovat typové značení desek a jejich stran, tj. W1 nebo W2 a výrobní sérii. Potom je vyhledání žádané desky i zjištění její výrobní série rychlé a spolehlivé.

**Popis** - Většina desek s plošnými spoji je na straně součástek /W2/ opatřena popisem, který zahrnuje polohu všech součástek i jejich referenční očíslování, a to R, pro odpory, Cx pro kondenzátory, Tx pro tranzistory atd. Tento popis se zpravidla provádí v bílé barvě sítotiskem. U desek poměrně jednoduchých nebo desek s omezeným počtem součástek stojí za úvahu zahrnout všechny významné údaje popisu do leptaného měděného obrazce W2. Tím se uspoří náklady na pořízení matrice a síta a náklady na zhotovení popisu u každé vyrobené desky. Pokud se zvolí tento způsob popisu, měl by být proveden v takové velikosti, aby nemohlo dojít k vyrazení jinak přípustné desky jen proto, že popis nebude čitelný. Takový popis v mědi může poskytnout rychlou orientaci o kvalitě vyrobené desky i o kvalitě leptání - je-li popis nečitelný, potom deska nestojí za další inspekci.

**Nepájivá maska** - Někdy se desky s plošnými spoji opatřují nepájivou maskou. Je to barva odolná teplu a nanášená na stranu pájení /W1/ s výjimkou pájecích plošek, které budou skutečně pájeny. Jejím účelem je zabránit, aby při pájení nedošlo k nežádoucímu můstkovému spojení se sousedním plošným vodičem. Podobně jako popis desky nepájivá maska se vytváří na povrchu desky sítotiskem. Některé druhy materiálů pro vytváření nepájivé masky vyžadují vytvrzení při vysokých teplotách, což může později způsobit zkroucení hotových desek. pečlivé zkoušky u desek s dobře navrženým obrazcem a pájených vlnou ukázaly, že za normálních montážních podmínek potřebná šířka mezery vylučující nežádoucí můstkové propojení okolo 0,25 mm /0,01"/ není o nic větší než tolerance, s nimiž se setkáme při aplikaci nepájivé masky. Za těchto okolností je ekonomičtější odstraňovat po pájení náhodný propojovací můstek, než se trápit s nepájivou maskou, která obdobně jako popis desky vyžaduje svoji vlastní matrici a síto pro tisk. Nepájivá maska by se neměla zaměňovat s ochranným povlakem, obvykle nanášeným štětcem nebo stříkaným na montované desky jako ochrana proti vlivům prostředí.

## Desky s pokovenými propojovacími otvory

**Úvod** - Desky s pokovenými propojovacími otvory vyžadují zcela odlišný výrobní postup. Jak již bylo uvedeno, 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 zclacení 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 zvláště 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 turbinky 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 soukrytování s deskou, v níž se mají vyvrtávat otvory, a s maticemi. 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 zápusťky 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 vodiček 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, představuje složitý problém. Byla již navržena mnohá řešení. První, které bylo všeobecně přijato, tvoří zapuštěný dutý nýtek připájený na obou stranách desky. Tímto způsobem lze docílit spolehlivé provedení a vývody součástek mohou být vkládány do stejných otvorů. Jeho nevýhoda však spočívá v nutnosti používat velké otvory a pájecí plošky, zejména u desek pro montáž integrovaných obvodů. Podle autorových zkušeností to byly otvory o průměru 0,4 mm /0,055"/ uvnitř pájecích plošek o průměru 3,05 mm /0,120"/. Kvalita elektronických spojů u prvních pokusu s dutými nýtky nebyla vždy dobrá, dokud se nezjistilo, že konce nýtků po zapuštění a roznýtování by měly svírat úhel alespoň 60 stupňů s rovinou desky. Tento úhel dovoluje vytvoření kroužku z pájky mezi povrchem desky a okrajem nýtku /obr. 6/. K odstranění nevýhod dutých nýtků byla navržena řada jiných způsobů propojování, např. speciální pružinové spojky, které je možné vkládat do mnohem menších otvorů. Ty se rozvírají po zasunutí a vytvářejí kontakt s pájecími ploškami na obou stranách desky vysokým tlakem. Ani zvláštní drátové spojky a kolíčky konstruované tak, aby byly použitelné u desek s nestejnou tloušťkou, malé nýtky s trubičkovými hlavičkami se nedostaly přes první pokusná stádia. Výrobcům se však podařilo zdokonalit technologii pokovení otvorů mědí. Tento proces spočívající v pokovení izolačních materiálů byl známý. Trvalo však jistou dobu, než byl zdokonalen natolik, aby bylo možné zaručit kvalitní spojení u stovek i tisíců otvorů na desce. Trvalo mnohem déle, než byly desky s pokovenými propojovacími otvory přijaty jako spolehlivé výrobky. Dnes jsou desky s pokovenými propojovacími otvory všeobecně přijímány. Dokonce i u desek, kde s ohledem na hustotu součástek by bylo možné použít dutých nýtků, se dává přednost pokoveným propojovacím otvorům. Přijetí pokoveného otvoru jako spolehlivé části systému zároveň vytvořilo předpoklady pro použití všech možností vícevrstevných desek, u nichž potíže se spolehlivým propojením všech vodivých vrstev byly až do té doby překážkou jejich rozvoje.

**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 vahou 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. Jeden výrobce používá důmyslné výrobní linky, v níž jsou uspořádány za sebou všechny aktivní lázně a lázně s chemickými roztoky a s velkou omývací lázní umístěnou na zvláštním rámu. Spolu s deskami postupujícími výrobní linkou postupuje i omývací lázeň. Úplná automatizace linky na pokovování propojovacích otvorů je obtížná, neboť desky setrvávají různou dobu v jednotlivých lázních. Používá se mechanického míchání lázní, aby se zabezpečil pohyb roztoků i uvnitř otvorů a rovnoměrné ukládání kovu. Po skončení chemického procesu pokovování a dalším očištění jsou desky elektrolyticky pokoveny mědí. Používá se jeden ze dvou pokovovacích postupů : kyselou mědí vyloučenou z kyselého roztoku síranu měďnatého nebo pyrofosfátovou mědí vyloučenou z roztoku pyrofosfátu měďnatého. První postup se snadno kontroluje a vcelku nepůsobí obtíže, avšak nedává dobrý výtěžek. Druhý postup dává sice dobrý výtěžek, je však nepříznivě ovlivňován změnami teploty nebo kyselosti - vskutku další náročný proces. Měď se ukládá tak dlouho, až se docílí požadované tloušťky vrstvy na stěnách uvnitř propojovacích otvorů. Potom se deska očistí a rezist se nanese na plochy, které mají být zbaveny mědi leptáním. Následuje pokovení cínem nebo zlatem u těch ploch na desce, které zůstanou jako plošné vodiče, na pájecí plošky a také na stěny uvnitř propojovacích otvorů. Pokovování zlatem je poměrně jednoduchý proces, avšak cínování způsobuje některé další obtíže.

**Pokovování cínem** - Pokovování slitinou cínu s olovem nedává tak dobré výsledky jako pokovování zlatem nebo mědí. Vzhledem k tomu, že se mají pokovovat pouze vybrané plochy na desce, je nutné velmi pečlivě řídit proud, má-li se docílit co nejlepších výsledků. Zjistilo se, že při dosažení požadované minimální tloušťky vrstvy cínu uvnitř propojovacích otvorů ve středu desky dochází při okrajích desky k překrytí. Např. u několika experimentálních čtvercových desek /vyrobených několika různými výrobci/ o délce strany okolo 150 mm s pájecími ploškami o jmenovitém průměru 1,27 mm /0,050/ a otvory o průměru 0,762 mm /0,030/ měly pájecí plošky uprostřed desky výsledný průměr od 1,245 mm /0,049/ do 1,27 mm /0,050/ zatímco pájecí plošky v rozích desky měly výsledný průměr od 1,397 mm /0,055/ do 1,422 mm /0,056/. Obdobně šířka plošných vodičů byla rozdílná na různých místech povrchu desky. Podobný výsledek se zjistil u jedné série desek pokovených zlatem, avšak zdá se, že šlo o výjimečný případ, který byl pravděpodobně způsoben špatnou kontrolou pokovovacího procesu nebo vadou fotorezistu. Další nesnázi při pokovování cínem je tendence ke vzniku nárůstu nebo hrbolek na stranách plošných vodičů nebo pájecích plošek. Tyto plošky mají svůj zárodek v malých nepravidelnostech okrajů, k nimž se nanášený kov zdá být jakoby přitahován a tak hrbolek narůstá mnohem rychleji než vrstva pokovení ostatních ploch na desce. V extrémních případech mohou tyto hrboleky přerůst přes mezeru se sousedními plošnými vodiči nebo pájecími ploškami a způsobit zkrat. Tak jako většina závad vznikajících při výrobě desek s pokovenými propojovacími otvory tyto hrboleky jsou pravděpodobně důsledkem nedostatečné kontroly v jedné nebo více fázích výrobního procesu. Mají-li být trvale vyráběny kvalitní desky, jsou nároky na výrobní proces skutečně velmi vysoké.

**Pokovování obrazce** - Popsaný proces pokovování se obvykle používá u desek s pájecími ploškami a plošnými vodiči přiměřených rozměrů, např. s pájecími ploškami o průměru 1,905 mm /0,075"/ a plošnými vodiči o šířce 0,615 mm /0,025"/. Tento proces je pokovováním hrubého přířezu, neboť jde o pokovování celého povrchu desky. Jinou variantou, která se používá u desek s jemnějšími plošnými vodiči, je pokovování obrazce. Při tomto postupu se nanáší rezist před pokovováním mědi, takže místo toho, aby celý povrch desky byl opatřen dvojnásobnou vrstvou mědi, zesílí se vrstva mědi pouze u požadovaného vodivého obrazce a pájecích plošek. Při pokovování obrazce má měď tendenci k překrytí rezistu a při následném pokovování cínem, se může cín ukládat jak na povrchu měděných plošných vodičů a pájecích plošek, tak na jejich stranách, což způsobuje další růst rozměrů pájecích plošek a plošných vodičů. Je pravděpodobné, že zmíněný nárůst průměru pájecí plošky o 0,152 mm /0,006"/ byl zčásti způsoben použitím procesu pokovování obrazce. Pokovování obrazce mědi je obtížnějším postupem než pokovování hrubého přířezu, neboť se musí rozložit plochy určené k pokovování a správně seřadit hodnoty proudu. Všechna nezbytná přizpůsobení a regulace u pokovování obrazce činí tento postup nevhodným pro současné pokovování desek různých typů a rozměrů. Proto se pečlivě připravují vhodné výrobní série a dává se přednost použití několika lázní před jedinou velkou lázní u velkých výrobních sérií.

**Leptání** - Máme-li vykryvací masku na folii hotovou, přichází další, velmi důležitá fáze výroby desky s plošnými spoji a to odleptání nevykryté mědi. Po jejím odleptání a odstranění vykryvací masky máme již z měděné fólie vytvořený hotový obrazec plošných spojů. K leptání se používá roztoků, které měď rozpouštějí, ale nepůsobí přitom na materiál vykryvací masky. Vlastní leptání navíc musí probíhat přiměřenou rychlostí a musí být průběžně sledováno, aby nedocházelo k podleptání mědi pod vykryvací maskou. Pro odstranění mědi je nejvýhodnější její chemické odleptání ve vhodném roztoku. Aby se postup urychlil, používá se ohřáté lázně a pohybu desky v lázni, nebo naopak postřik fólie roztokem. Nejrozšířenějším používaným leptacím roztokem je ve vodě rozpustný chlorid železitý, někdy i s malým přídavkem kyseliny chlorovodíkové /solné/ či dusičné /2 až 5 %/. Přídavek kyseliny urychluje leptání hlavně v první fázi a pomáhá odleptat i znečištěná místa. Působením chloridu železitého na měď se redukuje kysličník železitý na železnatý, při čemž vzniká chlorid měďnatý. Postupným vyčerpáním lázně klesá koncentrace chloridu železitého a roste obsah mědi. Klesá při tom i rychlost leptání. Lázeň s obsahem mědi 50 g/l l se považuje za vyčerpanou. Ohřátí leptací lázně z běžné teploty 20 C na 80 C urychlí leptací pochod přibližně čtyřikrát. Význačný vliv na rychlost leptání má také koncentrace roztoku chloridu železitého. Rychlost leptání je důležitá nejen z hlediska efektivnosti, ale i z ryze praktických důvodů. Při pomalém leptání dochází totiž k podleptání. Leptání měděné fólie probíhá nejen ve směru kolmém na destičku, ale i ve směru s ní rovnoběžném. Dochází tím k podleptání a tedy zužování vlastních spojů. Naopak při velmi účinném a agresivním roztoku dochází někdy k vytvoření síta, tj. některá méně zakrytá místa nebo malé kazy /zvláště při fotochemickém způsobu/ neodolají agresivnosti leptadla a v těchto místech se potom fólie rovněž odleptá, na hotové destičce jsou potom při pohledu proti světlu patrné malé tečky. Protože ne vždy je chlorid železitý k sehnání, lze si jej vyrobit i doma z běžně dostupných látek. Je jí kyselina chlorovodíková /HCl/, kterou lze zakoupit téměř v každé drogerii a železný rez, nebo alespoň menší hřebíky. Rez musí být čistá. Bez příměsí a nečistot. Je nutná rez červenohnědá. Černé části kysličníku železitého nejsou vhodné. Na 1 litr kyseliny je potřeba 300 g rzi. Rozdrcenou rez nasypeme do skleněné láhve a přes odlivku z PVC naléváme kyselinu. Reakce je okamžitá při mírném zahřátí. Roztok necháme několik dní stát při občasném protřepání láhvi. Pak odfiltrujeme černý kal a zbytky rzi. Zůstane čistý, asi 35 % roztok chloridu železitého. Nemáme-li rez, pomohou staré, poničené /či nové/ hřebíky. Nejprve hřebíky zbavíme mastnoty a jiných nečistot v roztoku vody se sodou nebo saponátem a pak je dobře

opláchneme teplou vodou. Hřebíky vsypeme do jedenapůllitrové skleněné kádinky z varného skla a zalijeme je 0,7 l zakoupenou kyselinou solnou. Kádinku přiklopíme skleněnou deskou a necháme asi hodinu stát. Pak ji postavíme na vařič, ne na přímý plamen, ale přes zelenou nebo hustou drátěnou plotýnku a roztok mírně zahříváme dokud se všechny hřebíky nerozpustí. Čím jsou hřebíky menší, tím dříve jsou rozpuštěné. Pokud máme obavy z prasknutí kádinky, nebo nemáme láhev z varného skla, nemusíme roztok zahřívát, rozpouštění však trvá mnohem déle a je nutné lahvi /kádinkou/ občas zatřepat. Jakmile jsou hřebíky rozpuštěné, a roztok vychladlý, vzniklou železnatou sůl zoxidujeme půl litrem 10 % roztoku peroxidu vodíku, který pozvolna vléváme do láhve s rozpuštěnými hřebíky. Důkazem oxidace je změna téměř zeleného zbarvení původního obsahu láhve na hnědočervené. Reakce je velmi prudká, proto pozor na oči, pokožku i šaty. Případné kapky roztoku raději okamžitě omyjeme vodou a mýdlem. Peroxid přiléváme velmi opatrně za stálého míchání. Upozornění: Před prací s kyselinou solnou si přečtěte poučení na etiketě láhve. U láhve uzavřené plastickou uzávěrkou může vzniknout tlak par, které při vytahování uzávěru mohou vystřelit i s kapičkami kyseliny. S kyselinou nepracujeme v dílně či místnosti, kde jsou kovové předměty. Výpary se srážejí, předměty oxidují a rezivějí. Nejlépe je pracovat na volném prostranství a mít v blízkosti dostatek vody. Kromě chloridu železitého lze měděnou folii odleptat i jen roztokem kyseliny solné a peroxidu vodíku. Rychlost leptání i v tomto případě závisí na koncentraci složek směsi, na její teplotě a intenzitě promíchávání. Pro leptání musí být roztoku dostatečné množství, aby se peroxid ve směsi v průběhu leptání nevyčerpal a nezastavil se tak leptací proces. Leptací roztok lze připravit buď z tekutého peroxidu vodíku nebo jeho tabletkové varianty. Tablety peroxidu jsou k dostání v drogeriích nebo i lékárnách. Jsou výhodnější, protože tekutý peroxid časem ztrácí svoji koncentraci. Leptací roztok si lze připravit pro rychlejší, střední či pomalejší leptací proces. Čím je roztok peroxidu vodíku koncentrovanější, tím je proces leptání rychlejší, to znamená, při použití tablet - s počtem tablet rozpuštěných v kyselině vzrůstá rychlost leptání. Mírněji pracující roztok je výhodnější k leptání tenkých vodivých spojů či jejich husté sítě, u soustavy dělicích čar může být leptací proces rychlejší. Pomaleji pracující lázeň připravíme z 1 dílu kyseliny solné /30 až 35 %/ pozvolna vlévané do 2 dílů 10 % tekutého peroxidu vodíku /ne naopak, neboť by docházelo ke značnému rozprskávání/ nebo 1 dílu kyseliny pozvolna vlévané do stejného množství vody s právě rozpuštěnými třemi až pěti tabletami peroxidu. Jedno balení /20 tablet/ vystačí asi na 15 dm<sup>2</sup> jednostranného cuprexitu. Tablety také můžeme vložit až do misky, ve které je již položená deska politá zředěnou kyselinou solnou. Pokládáme je vedle desky. Při rozměrnější desce, nebo když se leptací proces značně zpomaluje, přidáme tabletu. Peroxidů však dáváme raději méně, aby vyvíjející se teplo nenarušilo vykrývací masku. Leptáme ve větrané místnosti nebo na volném prostranství, aby vyvíjející se plyny mohly volně unikat do prostoru. V průběhu leptání lze desku z roztoku opatrně vyjmout /pinzetou z organické hmoty/, opláchnout ve studené vodě a zkontrolovat proti světlu. Leptací směs mírně podleptává okraje krycí vrstvy, což dělicí čáry s výhodou přiměřeně rozšíří. Dobu leptání můžeme prodloužit až na dvojnásobek doby, za kterou se odleptala fólie, spojové čáry a také okraje označených vrtacích dílků se přitom postupně dále leptají do větší šířky. Po leptání desku vyjmeme pinzetou a opláchneme ve studené vodě. Protože leptací směs má omezenou skladovatelnost /časem se rozkládá, vyvíjejí se plyny a ztrácí účinnost/, použitou leptací směs likvidujeme rozředěním větším množstvím vody a vylitím. Z desky odstraníme vykrývací masku a vzniklý měděný obrazec spojů přešetíme ocelovým kartáčem nebo jemným smirkem. Pokud s deskou hned dále nepracujeme, je vhodné přetřít spoje pájecím lakem : Hodí se k tomu kalafuna rozpuštěná buď v lihu, nitroředidle, či trichloretylenu a podle vlastního vkusu obarvená malým množstvím náplně z popisovače Centrofix. Deska ze strany plošných spojů si tak zachová pěkný vzhled, fólie je dlouhodobě konzervovaná a i po delší době se dobře pájí.) Profesionální postupy jsou poněkud odlišné : po ukončení procesu

pokovování cínem nebo zlatem následuje leptání obdobně jako u jednoduchých desek. Z povrchu se odstraní fotorezist a všechny hrubky na cínovém povlaku nalezené při prohlídce. U desek pokovených v hrubém přířezu se musí odstranit dvojnásobná tloušťka mědi, a proto podleptání nebo odleptání okrajů pájecích plošek nebo plošných vodičů není zanedbatelné. Obvykle jde řádově o 0,025 mm až 0,050 mm /0,001" až 0,002"/. desky s pokoveným obrazcem trpí podleptáním podstatně méně, neboť se leptáním odstraňuje pouze jednoduchá tloušťka mědi a nárůst ochranného pokovení na stranách pokovených měděných vodičů vzájemně více nebo méně vyrovnává. Podleptání nemusí být vždy rovnoměrné. V jednom případě se zdálo, že došlo k zvětšení rozměrů u všech prvků obrazce o 0,050 mm až 0,075 mm /0,002" až 0,003"/, avšak po pájení a roztavení cínového povlaku se zjistilo, že ve skutečnosti šířka všech plošných vodičů je poněkud menší než jmenovitá. Všechny plošné vodiče byly zúženy o zhruba 0,050 mm /0,002"/ do vzdálenosti okolo 2 mm /0,075"/ od pájecích plošek. Nepodařilo se zjistit příčinu tohoto zúžení. Obecně se tedy při výrobě desek s plošnými spoji se nejčastěji používají tři leptací tekutiny, a to chlorid železitý, persíran amonný a kyselina chromová. Leptání lze provádět jednoduchým ponořením a třepáním /dnes už zřídka používaný způsob/ nebo v leptacím zařízení s rozprašovačem. Buď jsou desky umístěny v uzavřeném tanku ve svislé poloze a leptací roztok je na rozstříkovan rotorem ze středu tanku, nebo jsou desky umístěny ve vodorovné poloze na pomalu se pohybujícím dopravníku s řetězem z plastické hmoty, který prochází pod nebo nad jemně rozstříkovanou leptací tekutinou. Délku leptání je třeba velmi pečlivě kontrolovat, má-li být úplně odstraněn měděný povlak ze všech požadovaných ploch na povrchu desek a mají-li být napadeny plošné vodiče co nejméně. Při leptání desek je leptací roztok postupně znečišťován mědí /lze jí později v roztoku vyloučit/, a proto je nutné pečlivě a průběžně kontrolovat stav leptacího roztoku. Po ukončení leptání, omytí a vysušení je deska znovu pečlivě kontrolována a z povrchu plošných vodičů se odstraní tisková barva nebo emulze.

**Prizpůsobení šířky plošných vodičů** - desky s přesnou požadovanou šířkou plošných vodičů se dají vyrobit, jestliže jsou známy všechny fáze výrobního postupu a výchozí matrice se zhotoví s šířkami plošných vodičů a rozměry pájecích plošek vhodně upravenými k vyrovnání všech rozměrových změn, k nimž dochází při výrobě. Jeden výrobce uveřejnil tabulku s potřebnými úpravami rozměrů ve výchozích maticích pro desky s měděným povlakem o tloušťce 0,017 mm, 0,035 mm a 0,070 mm /půluncová, jednouncová a dvouuncová měď/, zahrnující všechny tři obvyklé leptací roztoky, maskování sítotiskem a fotorezistem, pokovování zlatem a cínem a proces leptání hrubého přířezu i obrazce. Požaduje-li projektant přesnou šířku u hotových plošných vodičů, bývají tyto varianty problémem. Tento problém se dá řešit jednoduše tím, že projektant navrhne u matrice plošné vodiče standardní šířky, stanoví rozumné tolerance a ponechá výrobcí volbu výrobního postupu tak, aby dosáhl nejlepších výsledků. V případě, že zvýšená přesnost šířky plošných vodičů je rozhodující, je nutné zhotovit matrice ve spolupráci s výrobcem desek. Výrobní postupy se liší u jednotlivých výrobců a matrice pečlivě upravené podle požadavků jednoho výrobce mohou dávat nesprávné šířky plošných vodičů u jiného výrobce používajícího stejného výrobního postupu.

**Kontrola výrobního postupu** - Někteří výrobci používají ke kontrole všech fází výrobního postupu speciálního kontrolního obrazce vně plochy výsledné desky. Tento obrazec slouží k pořízení mikrořezů. Jiní výrobci přisuzují těmto kontrolním obrazcům velmi malou hodnotu a dávají přednost kontrole vodivého obrazce přímo na desce a zhotovení jedné desky u každé výrobní série navíc k pořízení mikrořezů. Oba způsoby mají své přednosti a nevýhody. Autor ponechává volbu zásadně výrobcí. Obvyklé kontrolní postupy zahrnují pečlivou kontrolu zrakem v každé fázi výrobního postupu s potřebnými úpravami a opravami. Soustavná analýza všech z pokovovacích a leptacích lázní je významnou součástí kontroly. Tloušťka

vrstvy pokovení a podleptání se kontroluje u každé výrobní série pomocí mikrorežů. Většina výrobců používá ke kontrole tloušťky vrstvy zlata metod s beta-zářiči spolu s elektrografickými metodami ke zjišťování přítomnosti děr v obrazci. Správnost pokovení propojovacích otvorů se dá ověřovat pouze u výrobních sérií. všechny desky jsou prohlíženy pomocí zvětšovací skel při šikmém osvětlení, aby se vyloučily odrazy od stěn otvorů. Na první pohled se taková kontrola může jevit povrchní při rychlosti, s jakou kontrolor prohlédne svazek desek, je však pozoruhodné, jak zřetelně vystupují vadné otvory při správném způsobu prohlídky. U vybraného počtu otvorů na každé desce se kontrolují průměry otvorů a pájecích plošek, šířky plošných vodičů a izolačních mezer optickým mikroskopem. Podle požadavku se poloha otvorů kontroluje pomocí souřadnicového měřicího přístroje s číslíkovým výstupem. Při jakýchkoli pochybnostech o kvalitě pokovení propojovacích otvorů se deska vyřadí a vyrobí znovu. Lze také zkoušet elektrickou vodivost všech pokovených propojovacích otvorů, avšak tato zkouška sama o sobě nemůže nahradit prohlídku zrakem a mikrorežy, neboť může poskytnout pouze údaj o přerušení obvodu v pokoveném propojovacím otvoru. Nemůže odhalit špatnou jakost pokovení, hrubý povrch, atd., které by stačily k vyřazení při optické kontrole, přesto, že elektrická vodivost bude bez závad. Podrobnosti o metodách kontroly a limitech jsou v příručce "Acceptability of Printed Circuit Boards" vydané Ústavem při plošné spoje /Institute of Printed Circuits/.

## Vícevrstvé desky

Zavedení metod pokovení propojovacích otvorů jako běžného a životaschopného způsobu elektrického propojování přes základní izolační materiál desky s plošnými spoji prakticky umožnilo rozvoj vícevrstevných desek. Před rozšířením techniky pokovených propojovacích otvorů se používal postup, při němž se vyvrtal velký přístupový otvor z té strany desky, odkud se mělo provádět pájení, a to všemi vrstvami desky až k pájecí plošce na příslušné vnitřní vrstvě. Obr. 18 ukazuje řez malou částí takové desky. Je z něho patrné, že velké přístupové otvory spotřebovávaly nadměrně velkou část plochy desky. Tyto desky vyžadovaly při výrobě mimořádnou pečlivost, aby se zamezilo výronu pryskyřice používané k slepování jednotlivých základních desek do prostoru přístupových otvorů, a tím k překrytí pájecích plošek na vnitřní základní desce. Třetí nevýhodou je, že v každém otvoru mohla být připojena pouze jedna vrstva základní desky.

**Výroba vícevrstevných desek** - Při použití pokovených propojovacích otvorů lze zhotovit vícevrstvé desky s podstatně menšími otvory /a tedy mnohem těsněji u sebe/, než je možné u zmíněných přístupových otvorů. Je také možné propojit libovolný počet základních desek a jejich obrazců u kteréhokoliv propojovacího otvoru. Takové vícevrstvé desky se vyrábějí kombinací výrobních postupů používaných u jednoduchých desek a u desek s pokovenými propojovacími otvory. Jednotlivé základní desky, jednovrstvé nebo dvouvrstvé se leptají stejným způsobem jako jednoduché desky /po vyseknutí nebo vyvrtání lícovacích otvorů/ a potom se slepí pomocí lepicích listů. Jsou to obvykle fólie skelné tkaniny impregnované podobnou pryskyřicí, která se používá u normálních desek, ale která není plně vytvrzena. Tyto lepicí listy se vloží mezi základní desky s leptanými obrazci srovnané pomocí lícovacích čepů a celá sestava se vloží do velkého a výkonného lisu. Lisovací desky musí být rovné s velmi malými tolerancemi a bývají vyhřívány. K docílení přiměřené produktivity se používají víceetážové lisy. Na počátku cyklu se nastaví mírný tlak, kterým se docílí těsný styk základních desek a etáže se zahřejí. Tím se zmenší viskozita pryskyřice v prostoru mezi základními deskami do té míry, že se stane tekutou. Potom, když pryskyřice vtlačí všechny vzduchové bubliny z prostoru mezi základními deskami, nastaví se plný tlak nutný pro slepení základních desek a pryskyřice se zvýšenou teplotou vytvrdí. Po ukončení procesu vytvrzování



se ochladí etáže vodou a lis se otevře. Další výrobní postup je stejný jako u dvouvrstvé desky s pokovenými propojovacími otvory s tím rozdílem, že po vyvrtání otvorů se vícevrstvá deska ponoří do koncentrované kyseliny sírové nenapadající měď a odstraní se vyvřeliny pryskyřice z okrajů měděných vrstev, které vzniknou při vrtání otvorů. Směsi koncentrované kyseliny sírové a fluorovodíkové se může použít k odleptání základního izolačního materiálu v otvorech mezi měděnými vrstvami, a tím se zvětší kontaktní plocha mezi pokovením propojovacího otvoru a jednotlivými vrstvami. Po tomto odleptání postupuje pokovování propojovacích otvorů a leptání mědi obvyklým způsobem.

**Orientační značky** - U vícevrstvých desek je třeba věnovat zvýšenou pozornost tomu, aby základní desky byly sestaveny ve správné orientaci a aby matrice byly opatřeny emulzí na správných stranách. Při přípravě výrobních matic je vhodné umístit orientační značku vždy do jednoho rohu každé základní desky.

**Desky s dvouvrstvámi základními deskami s pokovenými propojovacími otvory** - Někdy je nezbytné, aby plošný vodič byl propojen s druhou vrstvou, a tím se umožnilo jeho křížení s jinými plošnými vodiči na původní vrstvě. U vícevrstvých desek vyrobených popsáním způsobem takový přechod z jedné vrstvy na druhou by vyžadoval otvor procházející všemi základními deskami. To znamená, že žádný jiný plošný vodič v kterékoli jiné vrstvě by nemohl procházet v prostoru propojovacího otvoru, neboť by došlo ke spojení s plošným vodičem přecházejícím z jedné vrstvy na druhou. U desek s velmi těsným rozmístěním součástek a obrazců by to způsobilo značné ztráty užité plochy. Vícevrstvé desky lze také vyrobit z dvouvrstvých základních desek s propojovacími otvory pro přechod z jedné vrstvy na druhou, vyvrtanými a pokovenými. Vzhledem k tomu, že jednotlivé základní desky u vícevrstvých desek jsou mnohem tenčí než dvouvrstvé desky srovnatelných rozměrů, mohou být rozměry propojovacích plošek a otvorů sloužících k propojování jednotlivých vrstev menší než pájecí plošky a propojovací nebo součástkové otvory vrtané po slepení základních vrstev. To představuje další úsporu užité plochy desky. Dvouvrstvé základní desky jsou odděleny izolačními vrstvami, což dovoluje vytvořit na libovolném místě desky propojovacích bodů, kolik je ve vícevrstvé desce dvouvrstvých základních desek.

**Výrobní vady** - Výrobci pracují u vícevrstvých desek raději s většími tolerancemi než u dvouvrstvých desek srovnatelné velikosti jak s ohledem na nutné další výrobní postupy, tak také s ohledem na riziko specifických výrobních vad vícevrstvých desek. Otvor přesahující okraj pájecí plošky na povrchu desky nemusí mít katastrofální následky, avšak u vnitřních vrstev je tomu jinak. Přesahující otvor může vytvořit nepatrnou mezeru, do níž mohou vniknout pokovovací roztoky a způsobit vnitřní zkraty. U vícevrstvých desek existuje také mnohem větší riziko pohybu materiálových vrstev a z toho důvodu je nutné používat větších pájecích plošek, aby otvory zůstaly uvnitř plochy pájecích plošek. Aby se předešlo deformacím, měla by být skladba vícevrstvé desky symetrická. Obě vnější základní desky by měly mít stejnou tloušťku a vodivé obrazce na jednotlivých vrstvách by měly být rozloženy co nejrovnoměrněji. Okraje desek by měly mít všechny buď měděnou vrstvu, nebo u všech by měla být měděná vrstva odleptána.

**Metrické jednotky** - Plošné spoje vznikly v zemích, kde se donedávna používaly výhradně anglické měrové jednotky, a je proto pochopitelné, že první normy nejsou v metrické soustavě. Při převodu coullových měř na metrické vznikly určité rozdíly, které z technologického hlediska nejsou sice podstatné, avšak používání čísel se dvěma nebo i třemi desetinnými místy pro základní rozměry není příjemné. Proto ČSN 35 9011 "Plošné spoje - základní rozměry", která platí od 1.7.1965, je sice důsledně v metrické soustavě, avšak základní

rozměry /rozteč základní sítě, tloušťka materiálů, šířky plošných vodičů/ jsou odvozeny od coulových měř přepočtem a rozumným zaokrouhlením. Tato norma je ostatně velmi stručná a zdaleka nevyhovuje současným požadavkům, novelizace bude zřejmě vycházet z podnikových norem našich největších specializovaných výrobců desek s plošnými spoji. V překladu jsou uváděny přepočtené hodnoty v metrické soustavě, ale ve většině případů jsou zachovány i hodnoty v coulových mírách. Je tomu tak proto, aby bylo možné porovnání údajů v publikaci s údaji prospektů a katalogů západních forem.

**Výroba plošných spojů** - Nejsme zvyklí na příliš úzké tolerance a většina našich výrobců finálních výrobků ani tak přesné desky nevyžaduje. Existuje však reálný předpoklad, že během dvou-tří let budou přesně vyráběné desky nevyhnutelné. To souvisí s prudkým rozvojem aplikací mikroelektronických součástek a stále se zvyšujícími požadavky na hustotu součástek na deskách. Jednoduché desky s plošnými spoji /tzn.jednovrstvé a dvouvrstvé bez pokovených propojovacích otvorů/ se u nás ve velké míře používají již celou řadu let, a to jak ve výrobcích spotřební, tak i investiční elektroniky. Specializovanými výrobci těchto desek jsou nejrůznější družstva a podniky služeb, avšak větší elektrotechnické podniky a výzkumné ústavy jsou většinou na tuto výrobu rovněž zařízeny. Pokud je nám známo, není u nás podnik nebo jiná instituce, která by se speciálně zabývala službami v oblasti návrhu desek s plošnými spoji na zakázku. Dvouvrstvé a vícevrstvé desky s pokovenými propojovacími otvory jsou u nás používány v omezené míře, a to zatím téměř výhradně v zařízeních pro počítače a automatizační techniku. Podniky, které mají v provozu technologická zařízení pro výrobu těchto desek, je obvykle produkují pouze pro svou potřebu a zajištění kooperace nebývá snadné. Situace se však velmi rychle zlepšuje instalováním nových technologických linek v dalších závodech.

**Plátovaný materiál pro výrobu desek** - V ČR jsou k dispozici tři druhy základních materiálů tuzemské výroby. Lze získat s jednostranným nebo oboustranným plátováním měděnou fólií tlustou 35  $\mu\text{m}$  /+10  $\mu\text{m}$  - 5  $\mu\text{m}$ /.

a/ Cuprexpak /ER/ je materiál na bázi papír - fenolická pryskyřice. Lze špatně děrovat za studena a nahřátím mění své rozměry o 0,2 % až 0,3 %. Vyrábí se v tloušťkách : 0,5 mm plus, minus 0,10 mm 0,8 mm " 0,10 mm 1,0 mm " 0,10 mm 1,5 mm " 0,14 mm 2,0 mm " 0,18 mm 2,5 mm " 0,20 mm 3,0 mm " 0,25 mm. Používá se pro méně náročné aplikace zejména ve výrobcích spotřební elektroniky /rozhlasové a televizní přijímače, zesilovače/. Výrobcem je n.p. KABLO Bratislava, závod GUMON, parametry jsou uvedeny v technických podmínkách GUN 64 4812.

b/ Cuprextit /AV/ je materiál na bázi skelná tkanina - epoxidová pryskyřice. Má lepší mechanické vlastnosti než tvrzený papír /pevnost v ohybu 4,5 krát větší, rázová pevnost 10 krát větší/ a mnohem menší navlhavost. Vyrábí se v tloušťkách : 0,5 mm plus, minus 0,10 mm 0,8 mm " 0,15 mm 1,0 mm " 0,20 mm 1,5 mm " 0,20 mm 2,0 mm " 0,25 mm 2,5 mm " 0,30 mm 3,0 mm " 0,35 mm. Je nejběžněji používaným materiálem pro aplikace v investiční elektronice. Výrobcem je a.s. KABLO Bratislava, závod GUMON, parametry jsou uvedeny v technických podmínkách GUN 64 4822.

c/ Umatex /GE/ je materiál srovnatelný s typem G10 podle označení NEMA. Vyrábí se v tloušťkách : 0,8 mm plus minus 0,15 mm 1,0 mm " 0,17 mm 1,5 mm " 0,20 mm 2,0 mm " 0,23 mm

Výrobcem je VCHZ Synthesia, Pardubice - Semtín. Vlastnosti materiálu jsou uvedeny v podnikové normě PND 39-495-73. Všeobecně se doporučuje používat základní materiály přednostně v tloušťkách 1,0 a 1,5 mm /u všech typů/, které mají specializovaní výrobci desek na skladě. Použití jiných tlouštěk plátovaného materiálu je nutno předem projednat.

**Podmínky specializovaných výrobců desek** - Pro porovnání s možnostmi výroby a mezními tolerancemi specializovaných výrobců desek s plošnými spoji v ČSSR uvádíme výtah z podmínek jednoho z největších výrobců. Podmínky ostatních specializovaných výrobců jsou s nimi srovnatelné a nijak podstatně se neliší. Uvedené podmínky se týkají výhradně desek bez pokovených propojovacích otvorů. Výrobce doporučuje zásadní používání jedné ze dvou metod tvorby spojového obrazce : Metodu jednotné šíře plošných vodičů nebo metodu jednotné šíře plošných vodičů nebo metodu jednotné šíře izolačních mezer.

**Třídy konstrukčního provedení** - Podle náročnosti výroby při zhotovování desek jsou v závislosti na požadované hustotě součástek a složitosti vodivého obrazce stanoveny tyto čtyři obtížnostní třídy. Třída I. rozteč sítě 5 mm, nejmenší vzdálenost dvou pájecích bodů 5 mm. Třída II. Rozteč základní sítě 2,5 mm s využitím vzdálenosti průsečíků na úhlopříčce pro pájecí plošky. Nejmenší vzdálenost dvou pájecích bodů je tudíž 3,53 mm. Třída III. Rozteč základní sítě 2,5 mm s pájecími ploškami na průsečících základní sítě. Mezi dvěma pájecími ploškami umístěnými na sousedních průsečících základní sítě však nesmí procházet plošný vodič. Nejmenší vzdálenost dvou pájecích bodů je 2,5 mm. Třída IV. Rozteč základní sítě 2,5 mm /rozteč pomocné sítě 1,25 mm/ s pájecími ploškami na průsečících základní sítě. Mezi dvěma pájecími ploškami umístěnými na sousedních průsečících základní sítě smí procházet jeden plošný vodič. Desky této třídy nelze zhotovit z plátovaného materiálu Cuprexpak /ER/.

**Rozměry desek** - Řada rozměrů desek je podle ČSN 35 9011 odstupňována takto /n je celé číslo/ : Kratší strana 10 až 100 mm n krát 2,5 mm 100 až 200 mm n krát 5,0 mm 200 až 450 mm n krát 10,0 mm Delší strana 10 až 100 mm n krát 2,5 mm 100 až 250 mm n krát 5,0 mm 250 až 500 mm n krát 10,0 mm Největší desky s plošnými spoji, které lze vyrobit technologií sítotisku, jsou 550 x 750 mm, fotografickým procesem 450 x 500 mm.

**Rozměry otvorů** - Pro vývody součástek se zhotovují otvory těchto jmenovitých průměrů : 0,8 - 1,0 - 1,3 - 1,6 - 1,8 - 2,0 - 2,2 mm, přičemž se doporučuje přednostně používat otvory průměru 0,8 mm, 1,0 mm a 1,3 mm. Lisováním lze zhotovit pouze otvory některých průměrů v závislosti na tloušťce a typu základního materiálu, jinak jsou otvory vrtané. Speciální otvory a zářezy mohou být pravidelného či nepravidelného tvaru a jejich středy nemusí ležet na průsečících základní sítě.

**Šířka plošných vodičů a izolačních mezer** - Při volbě šířky plošných vodičů se doporučuje vycházet z následující řady : 0,3 - 0,4 - 0,5 - 0,6 - 0,8 - 1,0 - 1,5 - 2,0 - 2,5 - 3,0 - 4,0 - 5,0 - 10,0 mm.

Přednostně se má používat šířky do plošného vodiče 1,0 mm, nejmenší šířka pro sítotisk je 0,4 mm, pro fotografický proces 0,3 mm, avšak na úseku dlouhém nejvíce 40 mm. Je třeba pamatovat na to, že celkové přípustné zúžení plošného vodiče na hotové desce je 30 % jmenovité hodnoty. Jmenovitá šířka izolačních mezer mezi dvěma pájecími ploškami nebo mezi plošnými vodiči / ev. mezi pájecí ploškou a plošným vodičem/ §smí být nejméně 0,5 mm pro sítotisk a 0,3 mm pro fotografický proces.

**Pájecí plošky** - Průměry pájecích plošek, pokud jsou kruhového tvaru, se volí z následující řady : 1,5 - 1,6 - 1,7 - 2,0 - 2,1 - 2,5 - 2,8 - 3,0 - 4,2 mm, a to v závislosti na třídě konstrukčního provedení a rozměrech desky. Konstrukční pokyny obsahují podrobnou tabulku pro volbu minimálního průměru pájecí plošky /podle požadavků na šířku mezikruží a průměr součástkového otvoru/ a pro volbu maximálního průměru pájecí plošky /podle požadované izolační mezery/. Při strojním kreslení vodivých obrazců se připouští jiný tvar pájecích plošek než okrouhlý, např. čtvercový nebo obdélníkový.

**Povrchové úpravy desek s plošnými spoji** - Pokovování vodivých obrazců se obvykle provádí pozitivní metodou, tzn. že se pokovují již vyleptané desky. Ta místa spojového obrazce, která mají být galvanicky pokovena, musí být vodivě propojena /i mimo výsledný obrazec/. Pokovuje se niklem v tloušťce 3 až 10 um, stříbrem /5 až 20 um/, zlatem /0,5 až 10 um/, rhodiem /0,5 až 2 um/, přičemž lze vrstvy kombinovat. Desky lze rovněž opatřit vrstvou cínu, a to buď redukčním pochodem jako vycementovaný povlak na mědi v tloušťce 2 um /přechodná povrchová úprava/ nebo žárovým cínem. Žárové cínování zajišťuje dlouhodobou pájitelnost i ochranu vodivého obrazce, nekryje však bloky plošných vodičů. Tloušťka vrstvy je 15 až 20 um, nejmenší jmenovaná šířka plošných vodičů smí v tomto případě být 0,7 mm a nejmenší jmenovaný průměr pájecí plošky 0,7 mm. Nelze žárově cínovat desky s plošnými kontakty. Obvyklou povrchovou úpravou desek je pájecí laková vrstva, která pokrývá celý povrch vodivého obrazce a zaručuje dobrou pájitelnost výsledných desek. Výrobce je schopen opatřit vodivý obrazec nepájivou maskou, nanášenou sítotiskem, stejně tak jako potiskem pro označení druhu a polohy součástek.

**Pokyny pro zhotovení předloh** - Výrobci je nutno dodat tyto předlohy : a/ vodivý obrazec strany pájení, b/ vodivý obrazec strany součástek, c/ obrazec nepájivé masky, d/ obrazec potisku. Předlohy se kreslí ze strany přímého pohledu na odpovídající obrazec. Materiálem pro kresbu může být bílý papír vyztužený hliníkovou fólií nebo transparentní fólie, která příliš nemění své rozměry. Kresbu lze zhotovit černou barvou nebo matnou tuší, nalepovanými znaky /obtisky/ a páskami nebo tiskem. Všechny způsoby lze vzájemně kombinovat, nepřipouští se však šedá místa a lesklé plochy, stejně jako neostré obrysy. Předloha se zhotovuje pozitivní /spoje černé, izolační mezery bílé/. Vyjimečně lze povolit negativní kresbu, musí však být zřetelně označena. Největší rozměry předloh jsou 1200 x 1500 mm, doporučená měřítko zvětšení 2 : 1, 4 : 1, 6 : 1 a 10 : 1. Přesnost provedení kresby vodivých obrazců musí být přepočteny na měřítko 1 : 1 v mezích plus mínus 0,2 mm /pro třídy I. a II./, plus mínus 0,1 mm /pro třídu III./ a plus mínus 0,05 mm /pro třídu IV./. Vně výsledného obrazu se zhotovuje kontrolní míra, vyznačená dvěma úsečkami. Délka míry smí být 50 až 300 mm s povolenou nepřesností plus mínus 0,05 mm. Obrys výsledné desky se na předloze vyznačuje přerušovanou čarou tloušťky 0,3 mm. Označení desky, resp. vodivého obrazce, musí být na předloze umístěno do plochy výsledné desky, označení ostatních předloh /pro potisk a masku/ mimo plochu výsledné desky, ale těsně u některé z jejich ohraničujících čar. Středů součástkových otvorů se vyznačují kroužky, které mají průměr o 0,4 mm menší než požadovaný průměr otvorů. Plochy těchto kroužků zůstávají bílé a po zhotovení otvorů mizí z výsledné desky. Na předloze vodivých obrazců je výhodné vyznačit tři kontrolní body, které slouží pro kontrolu soukrytování a celkového provedení výsledné desky. Na předloze musí být umístěny na průsečících základní sítě s chybou nejvýše plus mínus 0,05 mm. Předloha nepájivé masky se zhotovuje jako negativní kresba. V místech kde nemá být nanášena nepájivá maska jsou odpovídající plochy vybarveny matně černě. Požadovaná přesnost kresby je pro měřítko 1 : 1 plus mínus 0,2 mm. Předloha musí obsahovat kromě obrazce nepájivé masky i kontrolní míru, vyznačení obrysu výsledné desky a příslušná označení /mimo obrys/. Obecně platí, že nepájivou maskou se nesmí překrývat žádné otvory. Kolem obrysu výsledné desky je nutné zhotovit pruh široký 20 mm, který přesahuje 0,5 mm do výsledné desky a na kterém nebude nepájivá maska. Potisk pro označení plochy a druhu součástek se zhotovuje sítotiskem podle předlohy zhotovené pozitivní kresbou, požadovaná přesnost je pro měřítko 1 : 1 plus mínus 0,3 mm. Předloha musí obsahovat kromě obrazce potisku ještě kontrolní míru, vyznačení obrysu výsledné desky a označení /mimo obrys/. Nejmenší přípustná výška písmena je 2,5 mm, nejmenší vzdálenost potisku od otvoru smí být 0,5 mm, od obrysu výsledné desky 2,5 mm.

*To je stručný popis výroby plošných spojů, který rozhodně neobsahuje mnoho dalších postupů a technologií. S postupujícím vývojem se mění i technologické postupy, takže článek bude čím dál méně aktuální. Semach – plošné spoje.*