TECHNOLOGIE PLOŠNÝCH SPOJŮ A PÁJENÍ

UČEBNÍ TEXT

TOMÁŠ MILERSKI | LEDEN 2012

OBSAH

1. CO JE DOBRÉ VĚDĚT, NEŽ ZAČNETE PÁJET ... 3
1.1. TRANSFORMÁTOROVÁ PÁJEČKA ... 3
1.2. PÁJEČKY S ODPOROVÝM TĚLÍSKEM „MIKROPÁJEČKY“ ... 4
1.3. SPRÁVNÉ POUŽÍVÁNÍ TRANSFORMÁTOROVÉ PÁJEČKY ... 4
1.4. CHYBY PŘI PÁJENÍ ... 5
1.5. DOPORUČENÝ POSTUP PÁJENÍ ... 6
1.5.1. SPOJOVÁNÍ DRÁTOVÝCH VÝVODŮ NEBO PÁJENÍ VODIČŮ KE KONEKTORŮM, PÁJECÍM OČKEM APOD. 6
1.5.2. PÁJENÍ VÝVODŮ SOUČÁSTEK DO PLOŠNÝCH SPOJŮ ... 6
1.5.3. PÁJENÍ SOUČÁSTEK SMD ... 7
1.6. POSTUP VÝROBY PÁJECÍHO HROTU (OČKA, SMYČKY) ... 9
1.7. NĚKTERÉ Z POMŮCEK A NÁŘADÍ URČENÝCH K PÁJENÍ ... 11
2. PLOŠNÉ SPOJE A JEJICH ZHOTOVOVÁNÍ ... 12
2.1. ÚVOD A ROZDĚLENÍ PLOŠNÝCH SPOJŮ ... 12
2.2. NEJČASTĚJI POUŽÍVANÉ MATERIÁLY ... 13
2.3. TYPY MONTÁŽÍ ... 13
2.4. OCHRANA PŘED ELEKTROSTATICKÝM NÁBOJEM ... 14
2.5. ZHOTOVOVÁNÍ PLOŠNÉHO SPOJE ... 14
2.5.1. KRESBA FIXY NEBO TRUBIČKOVÝM PEREM ... 15
2.5.2. PLOŠNÉ SPOJE ODLUPOVÁNÍM FÓLIE ... 15
2.5.3. ZHOTOVENÍ PLOŠNÝCH SPOJŮ FOTOCESTOU ... 16
2.5.3.1. KLIŠÉ PLOŠNÝCH SPOJŮ PRO PŘENÁŠENÍ FOTOCESTOU ... 16
2.5.3.2. NANESENÍ EMULZE ... 17
2.5.3.3. OSVĚTLENÍ SVĚTLOCITLIVÉ VRSTVY ... 17
2.5.3.4. VYVOLÁVÁNÍ OSVĚTLENÉ DESKY ... 18
2.5.3.5. TVRZENÍ EMULZE PŘED LEPTÁNÍM ... 18
2.5.3.6. NĚKOLIK POZNÁMEK K TECHNICKÉMU VYBAVENÍ ... 19
2.5.4. LEPTÁNÍ DESKY PLOŠNÝCH SPOJŮ ... 20
2.5.4.1. POSTUP LEPTÁNÍ ... 20
2.5.5. VRTÁNÍ OTVORŮ V DESCE PLOŠNÝCH SPOJŮ ... 20
2.5.6. OŠETŘENÍ DESKY PLOŠNÝCH SPOJŮ PO VRTÁNÍ ... 21
3. ZÁSADY PRO NÁVRH DESKY S PLOŠNÝMI SPOJI „KLIŠE DPS“ ... 22
3.1. NÁVRH DESKY S PLOŠNÝMI SPOJI ... 22
3.2. VELIKOST DESKY S PLOŠNÝMI SPOJI ... 22
3.3. ROZMÍSTĚNÍ SOUČÁSTEK NA DESKU PLOŠNÉHO SPOJE ... 22
3.4. DRUHY PLOŠNÝCH SPOJŮ ... 23
3.4.1. SOUSTAVA SPOJOVACÍCH ČAR ... 23
3.4.2. SOUSTAVA DĚLICÍCH ČAR ... 23
3.4.3. KOMBINACE OBOU PŘEDCHOZÍCH SOUSTAV ... 23
3.5. ZATÍŽITELNOST PLOŠNÝCH SPOJŮ ... 24
3.6. KAPACITA PLOŠNÝCH SPOJŮ ... 24
3.7. VÝBĚR VHODNÝCH SOUČÁSTEK ... 24
3.8. ZÁKLADNÍ RASTR PRO PLOŠNÉ SPOJE ... 24
4. VZOROVÉ PŘÍKLADY A CVIČENÍ PRO NÁVRH DPS ... 25
5. PRAKTICKÁ CVIČENÍ ... 32
5.1. CVIČNÉ PÁJENÍ, KRYCHLE Z MĚDĚNÉHO DRÁTU ... 32
5.2. CVIČNÉ PÁJENÍ, VODIČŮ DO DPS (METODOU ODLUPOVÁNÍM FÓLIE) ... 33
5.3. CVIČNÉ PÁJENÍ, VODIČŮ DO DPS (METODOU KRESBOU FIXY) ... 34
5.4. CVIČNÉ PÁJENÍ, NÁVRH A OSAZENÍ DPS – ŘAZENÍ REZISTORŮ ... 35
5.4.1. VZOROVÝ PŘÍKLAD ... 35
5.4.2. NAVRHNĚTE DPS A VYPOČÍTEJTE CELKOVÝ ODPOR ZAPOJENÍ ... 36
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY ... 37

1. CO JE DOBRÉ VĚDĚT, NEŽ ZAČNETE PÁJET

1.1. TRANSFORMÁTOROVÁ PÁJEČKA

Transformátorová páječka je k dostání obvykle ve dvou velikostech výkonu, 75 W a 100 W. Práce s ní je pohotová, ale nebývá vždy kvalitní. V čem spočívají problémy při pájení touto páječkou? Tak především měděný drátek — smyčka, která se připevňuje k vývodům sekundárního vinutí transformátoru páječky, se brzy zničí, tj. přepálí. Stane se tak na hrotu smyčky, kde vzniká největší teplo a zároveň i největší odpor. Od tohoto místa se teplo šíří k pájenému spoji. Aby spoj byl trvale vodivý, to je aby vývod součástky byl pevně a bez elektrického odporu spojen s plošným spojem, **je třeba prohřát přívodní vodič společně s plošným spojem i s cínem, který ho zalije**.

Někdy se stane, že se rozteče cín, ale vývod součástky není dostatečně vodivě spojen s plošným spojem. Takové spojení je špatné a výraz „**studeňák**" určitě znáte. Nejhorší je, že se podle vzhledu často ani nepozná. Takový spoj je chvíli vodivý, chvíli částečně vodivý, a někdy nevede téměř vůbec. Je pravdou, že kdyby se vývody součástek předem pocínovaly, problémů se „studenky“ by ubylo. Zvlášť některé vývody součástek jsou přímo odolné vůči pájení. Tam kde to je vhodné, měli bychom vývody opravdu předem pocínovat. Některé součástky by to však špatně snášely, a proto tento způsob nelze doporučit všeobecně.

Drátová smyčka páječky po krátké době pájení začne slábnout, a to právě na hrotu. Zmenšení průřezu drátu na tomto místě znamená zvětšení odporu a tím zároveň soustředění tepelné energie téměř do jednoho bodu. Cín se na místě, kde je takový hrot přiložen, ihned rozteče, ale nestačí se prohřát okolí. Pravděpodobnost vzniku studeného spoje se tím zvětšuje.

Často na takovém místě dochází k nadměrnému ohřátí plošného spoje, a tím k jeho oddělení od podkladu. Naštěstí zeslabený hrot smyčky se brzy přepálí, takže si vynutí výměnu nebo jinou „úpravu". Je třeba přiznat, že na zeslabení pájecího hrotu má svůj podíl i samotný cín, který v roztaveném stavu značně narušuje měď.

V dnešní době, kdy jsou desky plošných spojů osazovány stále více integrovanými obvody, vzniká potřeba pájet i takové body, které jsou malé a velmi blízko u sebe. Tady vznikají další potíže, protože se stává, že pájecí hrot spojí dva sousední spoje nebo blízké pájecí body. Pak dá mnoho práce tyto uzounké mezery obnovit. Pro úplnost je třeba dodat, že v elektronických provozech, včetně výrobních závodů, se transformátorových páječek pro zapojování nepoužívá.

Obr. 1

Obr. 2

Obr. 3

Obr. 1: Transformátorová páječka 75 W nebo 100 W, cena cca 500,- Kč
Obr. 2: Pájecí pero Pro'sKit 25 W, cena cca 280,- Kč
Obr. 3: Pájecí stanice Pro'sKit 48 W „mikropáječka“, cena cca 1.700,- Kč

1.2. PÁJEČKY S ODPOROVÝM TĚLÍSKEM „MIKROPÁJEČKY“

Jaké páječky jsou tedy vhodnější? Jsou to malé páječky vyhřívané odporovým tělískem, zvané často „mikropáječky" a napájené ze síťových transformátorů. Napájecí napětí bývá 12 V nebo 24 V. Nejedná se tedy o běžné odporové páječky na 230 V, které mohou být životu nebezpečné. Hrot mikropáječky ohřívá odporová spirála a páječka se vyhřívá trvale. Dokonalejší typy páječek se vybavují zařízením, které automaticky udržuje stálou teplotu. Znamená to, že samočinně snižuje příkon v době, kdy je páječka odložena a nepájí.

Mikropáječky mají kromě jiného výhodu v tom, že jeden z jejich výměnných hrotů má na konci provrtaný otvor o průměru asi 1 mm. V otvoru se drží cín, který se snadno přenese na pájený spoj. Otvorem se hrot nasadí na vývod součástky, případně se v pájecím bodu trochu pootočí. Přitom se rychle prohřeje jak vývod součástky, tak i fólie plošného spoje. Nahromaděná tepelná energie přejde z hrotu na pájené místo, takže spoj je dokonalý.

Při oddálení páječky se přebytečný cín vytáhne z plošného spoje směrem k vývodu součástky, takže na spoji zůstane jen potřebné množství cínu. Směrem k vývodu se cín zužuje. Předností páječky je i to, že hrot může být na konci velmi úzký, takže nedojde k překlenutí dvou sousedních spojů cínem.

Tím, že hrot se stále vyhřívá, akumuluje dostatek tepla, které pak může předat pájenému spoji. Samotné místo přitom nepřehřívá, jak se často stává u smyčky transformátorové páječky. K přednostem počítáme i výhodné vlastnosti při pájení moderních obvodů C-MOS, které jsou velice choulostivé na průraz náhodným napětím. Tady je úloha zmíněné páječky nezastupitelná.

Vyznačuje se odporová páječka nějakými nedostatky? Ano, pokud vynecháme páječky s automatickým udržováním teploty hrotu. U obyčejných páječek se teplota tělíska výrazné mění. Neodvádí-li se teplo, to je když je páčka odložena, většinou se přehřívá. Cín na hrotu se přepaluje a nový cín se s přiložením hrotu odvaluje v kuličkách a nepřilne. Jestliže nastavíme menší napětí na transformátoru, pokud je to konstrukčně vůbec možné, pak při pájení více míst bez přerušení se naopak projeví nedostatek tepelné energie v tělísku. Nezbývá než v předstihu regulovat příkon páječky, a na to se často zapomíná.

1.3. SPRÁVNÉ POUŽÍVÁNÍ TRANSFORMÁTOROVÉ PÁJEČKY

Velkou roli v bezchybné funkci páječky hraje velikost přechodového odporu v místě upevnění pájecí smyčky. Jestliže drát není dostatečně přitisknut k vývodům, dochází ke značným ztrátám. Projevují se především vznikem tepla v místě přechodového odporu. Přitom pozorujeme zmenšení tepelného výkonu páječky. Někdy se teplem poškodí plast (umělá hmota), která drží vývody sekundárního vinutí u sebe, jindy dokonce i plast mezi vývody sekundárního.

Po několikeré výměně drátové smyčky dochází k poškození závitu v měděném trámečku sekundárního vinutí. Mnozí konstruktéři řeší takovou situaci jednoduše výměnou šroubků, které zamění za delší. To má za následek, že v některých případech se přesahující konce šroubků dotknou mezi sebou a vznikají další ztráty. Opět se projeví zvýšeným teplem v místě připojení smyčky, protože část proudu se uzavírá zkratem přes šrouby.

Pokud je závit M3 u vývodů páječky již nepoužitelný, pomůže vyříznutí většího závitu M4. Ale i nový závit se časem poškodí. Abychom zabezpečili řádné upnutí pájecí smyčky, budeme dodržovat tyto zásady:

- Použijeme takovou délku šroubů, aby při přišroubování drátové smyčky nevyčnívaly konce šroubů z hranolků sekundárního vývodu. Avšak využijeme celého závitu v trámečku, takže závit v mědi bude méně namáhán.
- Odírání závitu v mědi zmenšíme namáznutím šroubu vazelínou před přišroubováním. Až se při výměně smyčky vyšroubuje, nebude zanesen mědí, kterou sedřel ze stěn závitu.

- Zmenšíme přechodový odpor v místě připojení pájecí smyčky tím, že obtočíme konec smyčky kolem šroubku, tzn. vytvarujeme očko. Tím se zvětší plocha, kterou se drát dotýká hranolku i hlavy šroubu. Dále pomůže, že zapilování kulatého očka „na plocho" (rovnoměrně na stejnou tloušťku), čímž se ještě zvýší styčná plocha.
- Zmenšení přechodového odporu dosáhneme rovněž opatrným spilováním nebo seškrábnutím niklu na trámečku, v místě připojení očka. Někdy postačí opatrné osmirkování zoxidovaného povrchu. V žádném případě se nesmí narušit rovina plochy, jinak bychom situaci spíš zhoršili.

1.4. CHYBY PŘI PÁJENÍ

Následující přehled chyb seznamuje s nejčastějšími nedostatky při pájení. V této souvislosti si připomeňme starou a mnohokrát ověřenou pravdu: mnohem lepší je nepřipustit zakořenění zlozvyků než se jich později pracné zbavovat.

Spoj není pokrytý hladce rozlitým cínem.

Chybu zavinilo nedostatečné prohřátí spoje, častěji však špatně očištěný povrch plošných spojů, případně vývodu součástky. Často nese vinu také způsob pájení připomínající „zobání". Je to časté vzdalování zapnuté páječky z místa pájení a opětné přikládání na pájený spoj.

Na spoji je mnoho cínu.

Takové spoje, přes velké množství cínu na plošném spoji, bývají „**studené**“. Cín se řádně nespojí s vývodem součástky. Týká se hlavně spojů, které mají nakupený cín ve tvaru polokoule.

Na spoji i v okolí spoje je množství kalafuny.

Je nutné ji dodatečně odstranit ostrým štětečkem namočeným v lihu nebo nitroředidle. Pokud ji ponecháte na spoji, může zavinit svodové odpory. Ty vadí zejména tam, kde se vyžaduje zachování vysokého odporu mezi spoji, např. u tranzistorů FET, operačních zesilovačů s FET nebo obvodů CMOS. Pod nánosem kalafuny se ovšem může skrývat i nekvalitní spoj.

Spoj na první pohled vypadá normálně, ale při pozornějším zkoumání se zjistí, že drátový vývod součástky není dokonale spojen s okolním cínem.

Není to však tím, že by byl málo prohřátý. I kdybyste jej ohřívali sebevíc, na zkorodovaném drátu cín nepřilne. Je zde nutný přímý dotyk pájecí smyčky, která třením někdy odstraní zkorodovaný povrch drátu. Takový vývod je rozhodně lépe předem oškrabat a případně pocínovat před vložením do desky.

Vývod součástky není spojen s pájeným místem po jeho celé ploše (kolem dokola), nýbrž jen z části.

Takový spoj se může otřesy anebo časem uvolnit. Nepodaří-li se spoj s přidáním cínu opravit, nutno očistit prázdné nepocínované místo škrabáním. Někdy na tom nese vinu zbytečně velký otvor v desce.

Cín na spoji je tmavě šedý, okolí (zbytky kalafuny) je černé.

Jedná se o přehřátý spoj. Mohl vzniknout různým způsobem, nejčastěji vinou opakovaného pájení na špatně očištěných místech. To se týká především samotného plošného spoje. Dalším ohříváním se stav ještě zhorší a fólie se zpravidla oddělí od podkladu. K takové závadě může vést i pájení bez dostatku kalafuny nebo se špatnou kalafunou. Je to zcela nepoužitelný spoj.

Při pájení se součástka vysunula z desky, takže drátový vývod dostatečně nevyčnívá z pájeného místa.

Kvalita takového spoje je nejistá a otřesy se může uvolnit. Opakovaně pájíme a přitom vysuneme vývod z desky na 2 až 3 mm.

Úzká mezera mezi plošnými spoji se zalila cínem.

K odstranění cínu poslouží opředení ze stíněného kabelu (nejlépe mikrofonního). S trochou kalafuny se přiloží na cín a páječkou ohřeje. Cín rychle vzlíná mezi tenkými vodiči a z desky mizí. Takto „pocínovaný“ kousek stínění se odštípne a znovu přiloží. Tímto způsobem je možné odstraňovat cín z pájených míst u součástek s více vývody, jako jsou relé, výkonové tranzistory, integrované zesilovače výkonu ap. V nouzi postačí obyčejná licna nebo použití ODSÁVAČKY cínu.

1.5. DOPORUČENÝ POSTUP PÁJENÍ

Třebaže máte s pájením určité zkušenosti, nebude na škodu porovnat svůj způsob pájení s doporučeným postupem. V zásadě rozeznáváme dva druhy pájení:

1.5.1. SPOJOVÁNÍ DRÁTOVÝCH VÝVODŮ NEBO PÁJENÍ VODIČŮ KE KONEKTORŮM, PÁJECÍM OČKEM APOD.

Obě spojovaná místa je vhodné předem pocínovat. Aby se toho dosáhlo, to je aby se vývody pokryly souvislou vrstvou cínu, musíme je před pájením dobře očistit. Nejjistěji se toho dosáhne oškrabáním. Dále je třeba zajistit alespoň částečné mechanické upevnění, aby při pájení se ve spojovaném místě nepohybovaly.

Teprve pak následuje pájení. Krátce zapneme páječku a na hrot drátová smyčky naneseme trochu cínu. Je-li to trubičkový cín, nemusíme přidávat kalafunu. Jestliže pájíme cínem bez kalafuny, pak se ještě horkým hrotem dotkneme kousku kalafuny. Můžeme také na okamžik zapnout páječku, aby se trochu kalafuny usadilo na hrotu – usnadňuje přilnutí cínu na pájeném místě. Hrot páječky pak přiložíme k pájenému místu, když jsme těsné předtím zapnuli páječku. Smyčka má ležet na vývodech co největší plochou, aby dobře předávala teplo pájenému místu.

Jakmile se začne tavit cín na drátových vývodech, mírným pohybem hrotu uspořádáme cín na spoji tak, aby byl rovnoměrně rozložen. Přitom pájené části se nesmějí pohybovat. V opačném případě by byl spoj po elektrické stránce nespolehlivý. Kdyby se ukázalo, že na spoji je málo cínu, celý postup se zopakuje.

Hrot z pájeného místa vzdálíme teprve v okamžiku, kdy je veškerý cín hladce rozteklý. Do této doby jakékoliv zvedání páječky a opětné přikládání na pájené místo je zcela nesmyslné. Neroztékali se cín na pájecím místě ani s pomocí pohybu hrotu, pak prodlužovaní ohřevu toho nedocílíme. Podaří se pouze „přepálit" cín, který se pak musí odstranit. Také smyčku je třeba očistit společně s pájeným místem. Potom se nanese nový cín s kalafunou.

Upozornění: Některé pájecí přípravky (pájecí pasty) lépe a rychleji umožňují očistit spojovaná místa než doporučená kalafuna, čímž se usnadní pájení. V ojedinělých případech je jejich použití opodstatněné. Nesmí se však zapomenout dokonale očistit pájené místo od zbytků pájení, protože některé zbytky jsou „kyselé" a časem způsobují korozi spoje.

1.5.2. PÁJENÍ VÝVODŮ SOUČÁSTEK DO PLOŠNÝCH SPOJŮ

Předpokládá se, že na čistých a hladkých spojích (bez otřepů po vrtání) je nanesen lak z rozpuštěné kalafuny a je dobře zaschlý. Nejsou-li splněny tyto základní podmínky, nelze očekávat kvalitní spoje.

Drátové vývody součástek nesmějí být zoxidované. U starších součástek vývody oškrábeme, případně lehce pocínujeme. Přitom si pomáháme třením hrotu smyčky po drátovém vývodu.

Součástku s vývody přihnutými na rozteč děr vložíme do otvorů v desce. Rezistory a kondenzátory podložíme kouskem kuprextitu nebo jiného materiálu o tloušťce 1 až 2 mm. Zkrátíme vývody tak, aby vyčnívaly z desky přibližně 3 mm. U polovodičových součástek necháváme od desky větší vzdálenost, nejméně 5 mm. Zmenšíme tím pravděpodobnost poškození součástky teplem při pájení.

Hrot páječky s trochou cínu a kalafuny přiložíme na pájené místo tak, aby se současně ohříval plošný spoj i drátový vývod. Jen tak se začne cín rozlévat současné po plošném spoji i po drátovém vývodu. Pomůžeme k tomu tím, že páječkou poněkud pootáčíme do stran. Tím se hrot otírá o pájené místo a usnadní přilnutí cínu. Cílem je, aby se cín hladce roztekl a vodivě spojil drátový vývod s jeho bezprostředním okolím.

Nejedná-li se o velkou plochu, která silně odvádí teplo, nesmí popsaná operace trvat déle než 3 až 4 sekundy. Tím se rozumí doba od přiložení hrotu na pájené místo, až k oddálení páječky. Prodlužováním této doby se zpravidla lepšího spoje nedosáhne, naopak, může se poškodit součástka i plošný spoj. **Nedaří-li se pájení, práci přerušíme a vrátíme se zpět ke splnění základních předpokladů uvedených na začátku.**

Byla již zmínka o větších rozměrech plošného spoje, s kterým souvisí rychlý odvod tepla z hrotu páječky. To má za následek jednak značné prodloužení doby pájení, ale především větší pravděpodobnost nedokonalého někdy přímo „studeného" spoje. V takové situaci nezbývá než přivést více tepla pájenému místu. Jednou z možností je vyměnit krátkodobě pájecí smyčku za silnější, aby se několik takových spojů, ponechaných na konec pájení, kvalitně prohřálo. Optimální řešení však spočívá v použití silnější páječky, která rychle dodá dostatek tepla pájenému místu.

Po skončení pájení se ostrým štětečkem namočeným v lihu nebo nitroředidle celá strana plošných spojů důkladně očistí od zbytků pájení, tj. od tmavších částeček kalafuny. Jestliže je na desce patice pro integrované obvody, musíme být opatrní, aby rozpuštěná kalafuna nepronikla k bronzovým pružinám. Způsobila by nejistý kontakt pružin s nožičkami integrovaného obvodu a těžko by se odtud odstraňovala.

Po uvedení desky do chodu se strana plošných spojů ošetří tenkou vrstvou laku. Zcela postačí stejný roztok kalafuny jako na začátku při přípravě desky. Je třeba vzít na vědomí, že i tenká vrstva laku více či méně izoluje spoje, takže další připadaná manipulace (s měřicími hroty) nebo hledání závady se ztíží.

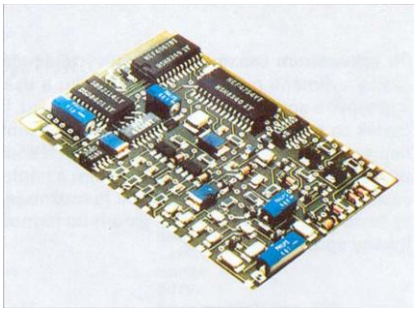
1.5.3. PÁJENÍ SOUČÁSTEK SMD

Samostatnou záležitostí je pájení na deskách, které se mají zpracovat technikou SMD. K tomu je nezbytná mikropáječka se špičatým tenkým hrotem a s regulací teploty. Příkon nemá přesáhnout 20 W. Zcela nevhodná je tranformátorová páječka, i kdyby měla sebelépe upravenou smyčku. Jednak svou váhou neumožňuje potřebnou jemnost při zacházení s tak malými součástkami, jednak je obtížné přesně umístit hrot při pájení. Hlavně však může „**spálit**“ nepatrné pájecí plošky součástek SMD svou vysokou a nekontrolovatelnou teplotou, soustředěnou na malém bodě. **Teplota hrotu se má pohybovat těsně nad bodem skápnutí cínu, tj. přibližně 250 °C.** Cín používaný k pájení se předem rozklepe na tenounkou folii, aby jej hrot snáze tavil.

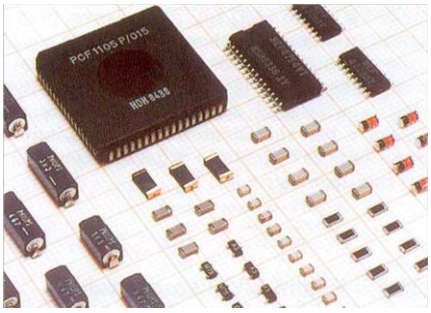
Nepatrné součástky SMD se vyznačují ještě menšími ploškami, kterými se mají připájet do plošných spojů. Pokud nejsou dobře pocínovány, vyplatí se lehce a opatrně je pocínovat. **V každém případě se předem pocínují pájecí plošky na plošných spojích.**

Problematické je uchopení součástek SMD, které z pinzety s oblibou „vystřelují“ a mezi dalším smetím se obvykle nenajdou. Samotné pájení musí proběhnout rychle a přesně. Opakované pájení je riskantní, s ohledem na možnost odpadnutí pájecích plošek u součástek.

Při pájení integrovaných obvodů je postup obdobný. Integrovaný obvod se umístí na pocínované pájecí plošky a připájí zpočátku jen jednou nožkou. To usnadní případnou opravu, když by ostatní vývody přesné „neseděly“. Doporučuje se dodržovat přestávky v pájení, aby se integrovaný obvod nepoškodil teplem.



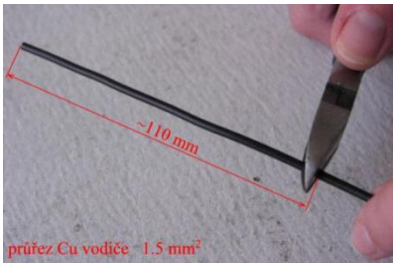
Obr. 4: Deska osazená SMD součástkami



Obr. 5: SMD součástky

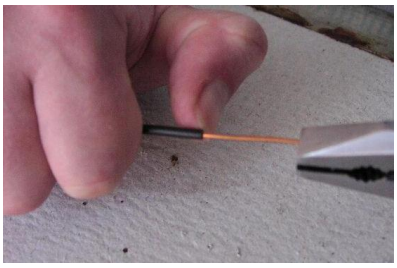
1.6. POSTUP VÝROBY PÁJECÍHO HROTU (OČKA, SMYČKY)

1. Odštípněte část instalačního měděného vodiče CY (délka cca 110 mm a průřez 1,5 mm^2). Délka a průřez vodiče určují teplotu hrotu. Vodič před uštípnutím co nejlépe vyrovnejte.

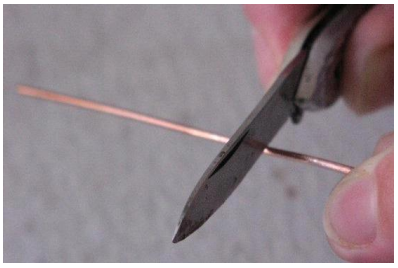


2. Na konci vodiče odstraňte nožem nejprve malou část izolace.

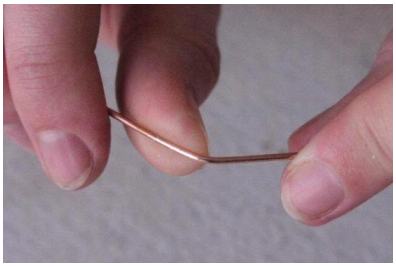
3. Odizolovanou část vodiče uchopte do kleští a volnou rukou stáhněte zbývající část izolace.



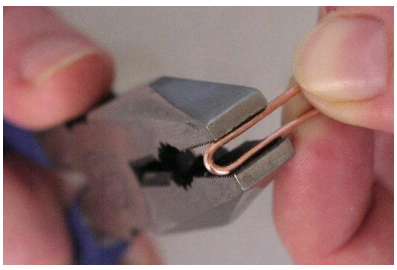
4. Uprostřed vodiče, v místě budoucího pájecího hrotu, asi v délce 20 mm důkladně nožem očistěte zoxidovaný povrch vodiče.



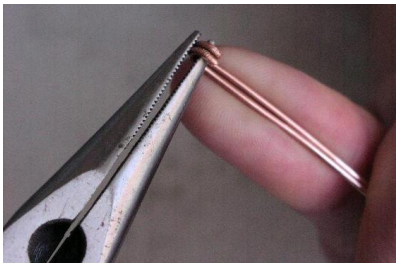
5. Vodič přehněte na dvě stejné části.



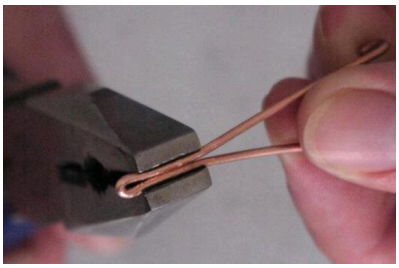
6. V ohybu vytvořte hrot. Vodič kleštěmi stiskněte tak, až se obě poloviny vodiče dotknou.



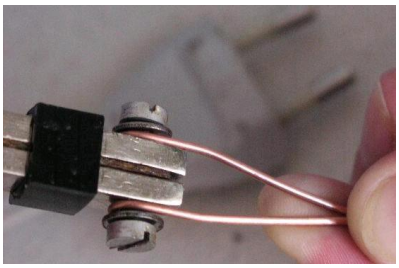
7. Na koncích vodiče vytvořte očka pro uchycení smyčky. Očka v kleštích ohýbejte současně, aby byla smyčka symetrická.



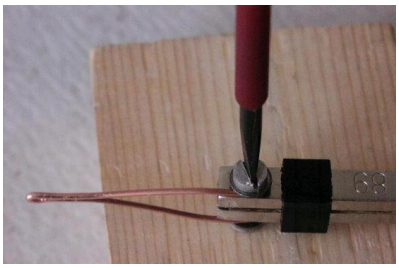
8. Oddalte očka od sebe asi o 10 mm a dokončete tvarování smyčky.



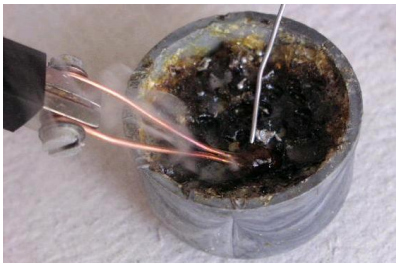
9. Navlečte smyčku do páječky. Hlavy šroubů musí tlačit na smyčku přes podložky!!!!, jinak nebude uchycení smyčky dostatečně mechanicky pevné a zároveň elektricky vodivé.



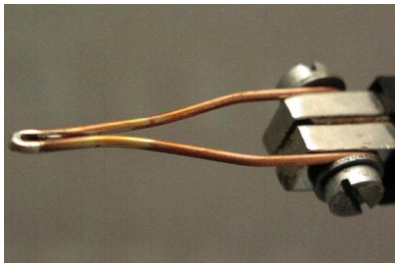
10. Dostatečně (ale s citem) šroubovákem utáhněte šrouby. Pozor na stržení závitů v měděných (tj. méně pevných oproti ocelovým šroubkům) držácích páječky.

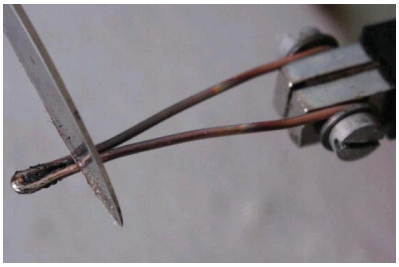


11. Pro dobrý přestup tepla je nutné při prvním ohřátí na hrotu vytvořit difusní vrstvu pájky, tj. hrot „**pocínovat**“. Použijte externí tavidlo-kalafunu. Přebytky pájky oklepněte na podložku.



12. Nyní můžete začít pracovat. Jestliže budete smyčku správně používat, zapájíte s ní minimálně 100 spojů.





NEZAPOMÍNEJTE NA PRŮBĚŽNÉ ODSTRAŇOVANÍ NEČISTOT!!!

1.7. NĚKTERÉ Z POMŮCEK A NÁŘADÍ URČENÝCH K PÁJENÍ

Obr. 6 *Obr. 7* *Obr. 8*

Obr. 6: Trubičková pájka (cín) s tavidlem (kalafunou), 63%, průměr 0.8 mm, balení 250 g, cena cca 240,- Kč
Obr. 7: Trubičkový cín 1 mm Sn60 plněný tavidlem, délka 1 m, 10 g, cena cca 15,- Kč
Obr. 8: Pájecí kapalina, kalafunové tavidlo, 30 ml, cena cca 30,- Kč

Obr. 9 *Obr. 10* *Obr. 11*

Obr. 9: Kalafuna 16 g kelímek, cena cca 25,- Kč
Obr. 10: Pájecí smyčka k transformátorové páječce, 5ks cena cca 11,- Kč
Obr. 11: Věčný hrot k transformátorové páječce, cena cca 25,- Kč

Obr. 12 *Obr. 13* *Obr. 14*

Obr. 12: Mechanická odsávačka cínu, cena cca 100,- Kč
Obr. 13: Mini-vrtačka s bruskou, cena cca 300,- Kč
Obr. 14: Sada 5ks vrtáčků průměru 0,8 – 1 mm, cena cca 10,- Kč

2. PLOŠNÉ SPOJE A JEJICH ZHOTOVOVÁNÍ

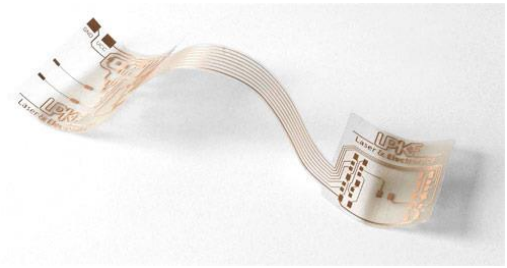
2.1. ÚVOD A ROZDĚLENÍ PLOŠNÝCH SPOJŮ

Úkolem desek s plošnými spoji (DPS) je realizovat vodivé propojení mezi součástkami mechanicky uchycenými na izolační podložce. Technologie plošných spojů umožnila nahrazení ručního propojování součástek drátovými spoji elektricky vodivými cestami vytvořenými na podložce z izolačního materiálu. Tyto cesty mohou být úzké až 0,1 mm. Izolační podložky, které jsou vyráběny od tloušťky cca 0,05 mm pro speciální použití až do několika mm, slouží zároveň jako nosné desky pro upevnění těžších součástek (jako jsou transformátory, tlumivky, relé, ….), kromě toho je na DPS často umístěn informační popis obsahující označení součástek, případně další údaje, jako např. typické hodnoty parametrů v měřicích bodech apod.

Obr. 15: Deska plošných spojů (DPS)

Z hlediska provedení můžeme plošné spoje rozdělit do dvou skupin:

- pevné plošné spoje;
- ohebné plošné spoje.

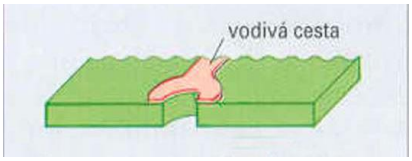


Obr. 16: Ohebné plošné spoje

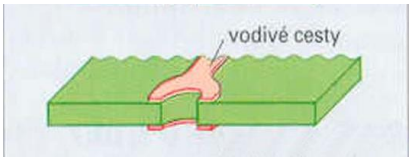
Podle množství vodivých vrstev můžeme plošné spoje dále dělit na:

- jednostranné;
- oboustranné;
- vícevrstvé.

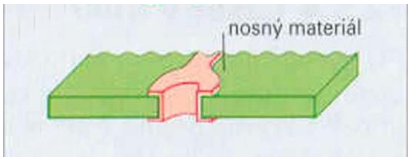
Oboustranné a vícevrstvé plošné spoje mohou mít osazeny součástky po obou stranách. Propojení vrstev je zpravidla uskutečňováno pomocí prokovených otvorů, případně speciálních nýtů.



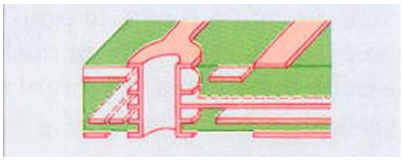
Obr. 17: Jednostranné plošné spoje



Obr. 18: Oboustranné plošné spoje



Obr. 19: Oboustranné plošné spoje s prokovenými otvory



Obr. 20: Vícevrstvé plošné spoje

Plošné spoje jsou používány pro:

- klasickou montáž elektronických součástek;
- povrchovou montáž jednostrannou;
- povrchovou montáž oboustrannou;
- smíšenou klasickou i povrchovou montáž.

2.2. NEJČASTĚJI POUŽÍVANÉ MATERIÁLY

Materiály pro ohebné plošné spoje

Základním materiálem jsou většinou polyamidové nebo levnější polyesterové fólie s vodivou, většinou měděnou kresbou (viz. Obr. 16: Ohebné plošné spoje). Spoje na několika fóliích je možné slepovat a vytvářet tak vícevrstvé spoje.

Pro lepení jsou používána akrylátová nebo epoxidová lepidla, která jsou z hlediska navlhavosti podstatně lepší, ale jsou méně pružná a proto je jejich použití méně časté.

Materiály pro pevné plošné spoje

Pro pevné plošné spoje jsou používány vyztužené laminátové desky. Výztuž je tvořena materiály, jako je papír, sklo nebo polotovary obsahujícími bavlněnou, nylonovou nebo skleněnou tkaninu (viz. Obr. 15: Deska plošných spojů (DPS)).

Laminát desky je vyráběn z termosetu nebo termoplastického polymeru. Deska je vyráběna při vyšší teplotě a pod tlakem.

2.3. TYPY MONTÁŽÍ

Montáž součástek na plošné spoje je možné rozdělit do tří skupin:

- klasická montáž;
- povrchová montáž (SMD);
- smíšená montáž.

Při klasické montáži jsou na DPS osazovány součástky opatřené klasickými (drátovými) vývody. Součástky jsou na desku pájeny zpravidla z jedné strany.

Při SMD montáži mohou být součástky na dvou a vícevrstvé desky osazovány z obou stran.

Smíšená montáž zahrnuje osazení jak klasickými tak SMD součástkami. SMD součástky při tom bývají umisťovány na jednu stranu DPS, klasické na druhou. Umísťovat součástky obou typů na jednu stranu není vhodné.

2.4. OCHRANA PŘED ELEKTROSTATICKÝM NÁBOJEM

Elektrostatický výboj (ESD) může poškodit elektronické součástky na desce plošného spoje. Za určitých podmínek se ESD může vytvořit na vašem těle nebo na některém předmětu, například na periferním zařízení, a potom se vybít do jiného objektu, například do počítače. Aby se zabránilo poškození vlivem ESD, před manipulací s některou vnitřní elektronickou součástí počítače (například s paměťovým modulem) je třeba odvést z těla statický náboj.

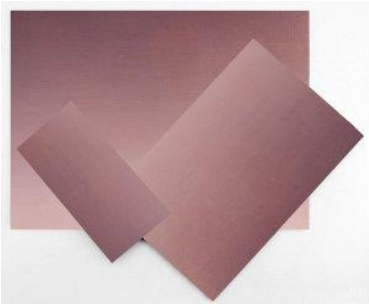
Před manipulací s elektronickými součástmi se můžete chránit před statickou elektřinou a odvést ji z těla tím, že se dotknete kovového uzemněného předmětu (například holého kovového povrchu na panelu vstupů a výstupů počítače). Před připojením některého periferního zařízení (včetně „chytrých“ mobilních telefonu nebo iPadu (tabletu)) k počítači vždy nejdříve odveďte z vašeho těla a z periferního zařízení statický náboj. Během další činnosti uvnitř počítače odvádějte veškerou statickou energii, která se na vašem těle nashromáždí, tím, že se budete pravidelně dotýkat nějakého kovového uzemněného předmětu.

V zájmu prevence poškození elektrostatickým vybitím můžete provést také následující opatření:

- Při vybalování součástky, která je citlivá na elektrostatický náboj, z originálního balení nevyjímejte součástku z antistatického obalu, dokud nebudete připraveni součástku skutečně instalovat. Než otevřete antistatický obal, odveďte z vašeho těla statický náboj.
- Při transportu citlivé součástky ji nejprve vložte do antistatického kontejneru nebo obalu.
- Se všemi elektrostaticky citlivými komponentami manipulujte v místě z hlediska statické elektřiny bezpečném. Je-li to možné, používejte antistatické podložky pod ruce a nohy.

2.5. ZHOTOVOVÁNÍ PLOŠNÉHO SPOJE

Materiál plošného spoje tvoří tenká měděná fólie, která je naplátována na desce ze sklolaminátu nebo bakelizovaného papíru. Deska se pak nazývá **kuprextit** nebo **kuprexkart**. Zatím půjde o obyčejnou desku s měděnou folií na jedné straně a o způsob, jak vytvořit na desce soustavu spojů a pájecích bodů. Předpokládá se, že máme připravené klišé plošných spojů, které jsme důkladně překontrolovali a které nyní chceme přenést na desku kuprextitu.



Obr. 21: Jednostranný kuprextit 120x80x1,5 mm, cena cca 25,- Kč

Dříve než zvolíme kteroukoliv metodu, je nutné fólii dobře očistit mechanickou cestou. Povrch mědi se musí zbavit různých nečistot, případně zoxidovaných či zkorodovaných míst. Snažíme se přitom nepoužívat drastických prostředků, jako je smirkový papír apod. Většinou postačí tvrdá pryž na gumování nebo běžný čistící prostředek na vany a nádobí, **např. osvědčené Toro**. Trochu prášku nasypeme na fólii desky a za sucha hadříkem čistíme. Když přitlačíme, prášek vybrousí povrch až na čistou měď. Někdy je nutno opakovaně nanést nový prášek. Teprve potom přidáme vodu, takže povrch se očistí i chemicky. Následuje důkladné opláchnutí a osušení čistým hadříkem. Rukama se již nesmíme měděné fólie dotýkat. O kvalitě vyčištěného povrchu svědčí voda, volně se roztékající po celé ploše a netvořící ostrůvky. Po osušení je deska připravena k další práci.

2.5.1. KRESBA FIXY NEBO TRUBIČKOVÝM PEREM

Centrofixem je možné zhotovit klišé na desce stejně, jako barvou. Fix však musí být čerstvý, aby dobře spouštěl barvu. Kreslíme pomalu, aby stopa na fólii byla hustá. K opravě se použije líh, který barvu rychle rozpustí. Fólie před nanesením nového spoje se musí dobře vyčistit, aby zde nezůstaly zbytky, které by zpomalily leptání.

Vlastní postup práce je jednoduchý. Přes papír odůlčíkujeme středy všech děr. Potom provrtáme otvory na průměr 1 mm. Pomocí jiné desky, kterou pohybujeme kolmo po fólii, odstraníme otřepy, desku vyhladíme a nakonec vyčistíme. Následuje kresba kroužků kolem pájecích bodů, a potom tenkými čarami vedeme spoje. Někdy se vyplatí začít obyčejnou tužkou.

Obr. 22: Fix na kreslení plošných spojů, cena cca 62,- Kč

Je-li vše v pořádku, spoje zesílíme. **Jestliže fix dobře nespouští, nelze obtahovat čáry** a barvu nutno nanášet trpělivým „ťukáním“ hrotu. Jinak hrot při podélném pohybu stírá starou čáru a nová je řídká, nedostatečně krytá. V leptací lázni by se slabá vrstva narušila a spoj by se naleptal nebo zcela odleptal. Naleptaný spoj je těžko použitelný a většinou odolává i snaze zachránit jej pozdějším pocínováním. **K leptání zvolíme chlorid železitý.**

Zcela obdobně se postupuje při kresbě pomocí specielních roztoků, k tomu účelu vyráběných. U nás je známý výrobek firmy KOH-I-NOOR, který má červenou barvu a dobře se s ním pracuje v trubičkovém peru. Zasychá asi za čtvrt hodiny na desce a o něco později v peru. Proto nezapomeneme včas vyčistit pero lihem. Opravy se provádějí lihem stejně jako u fixu. Výhodně je, že po vyleptání se nemusí kresba smývat, může se na ni rovnou pájet. Na ostatních místech působí jako ochranný lak.

Obr. 23

Obr. 24

Obr. 25

Obr. 23: Leptuvzdorný lak pro kreslení obrazce plošných spojů, 10 ml, cena cca 39,- Kč
Obr. 24: Sada technických per Centrograf
Obr. 25: Trubičkové pero s násadou

2.5.2. PLOŠNÉ SPOJE ODLUPOVÁNÍM FÓLIE

Občas se dostaneme do situace, kdy potřebujeme zhotovit desku plošných spojů s jednoduchou kresbou klišé. Např. jde o rozdělení fólie na několik dílů, kam se mají připájet rezistory. V takovém případě se nevyplatí jakákoliv z popsaných metod, protože by délka výrobního procesu neodpovídala výslednému efektu. V takové situaci lépe vyhoví způsob, který si dále popíšeme. Vyžaduje ostrou rýsovací jehlu a pravítko, nejlépe ocelové.

Na měděnou fólii nakreslíme fixem rozdělení desky na požadované části. Potom podle pravítka ryjeme (škrabeme) čáru, až se fólie prořízne. Tím unikne mezera, samotná je však příliš úzká. Proto ve

vzdálenosti asi 1 mm přibude další rýha. Takto vzniklý uzounký proužek se nyní oddělí od podkladu. Jednoduše ho odloupneme. Špičkou nože napřed opatrně nadzvedneme začátek proužku a pak dbáme, aby se při stahování nepřetrhl.

Takové mezery oddělují jednotlivá políčka od sebe. Desku nutno potom vyhladit, tj. odstranit zvýšené okraje vzniklé při rytí jehlou. Poslouží známa metoda s kolmo postavenou druhou deskou. Je samozřejmé, že jsme před začištěním vyvrtali potřebné otvory. Nakonec desku přečistíme a natřeme roztokem kalafuny.

Postup je sice jednoduchý, ale **vyžaduje pevné držení pravítka za současného rytí jehlou**. Snadněji se to zvládne, když někdo další pomáhá držet pravítko. Nepochybně u této metody oceníme časovou úsporu, ale i skutečnost, že není třeba leptací lázeň.

2.5.3. ZHOTOVENÍ PLOŠNÝCH SPOJŮ FOTOCESTOU

Dosud popsané metody mají při své jednoduchosti jednu společnou **nevýhodu**: **každá deska je originál**. Jinými slovy, bude-li většina žáků vyrábět stejnou desku, každý z nich musí absolvovat celou práci od začátku. Přitom se každý může dopustit chyby a každá chyba může být jiná. V nejlepším případě všichni stráví čas zdlouhavým malováním klišé na desku, což je jistě málo produktivní činnost. Tuto nevýhodu odstraňuje metoda přenesení klišé fotocestou. Jsou-li k dispozici potřebné chemikálie, pak se vyplatí použít této metody vždy, nejde-li zrovna o zhotovení jediného kusu desky. **Výhoda této metody vynikne tím více, čím složitější a náročnější na přesnost je klišé**, které se má přenést na více desek.

Předem nutno upozornit, že se budeme zabývat pouze metodou pozitivní emulze, používanou častěji. V čem spočívá princip této metody? Na měděné fólii je nanesena vrstva emulze citlivé na světlo a ta se osvětlí přes kresbu zhotovenou na průsvitném materiálu. Deska se vyvolá, podobně jako exponovaný fotopapír, při zhotovování fotografie. Zní to jednoduše a ve skutečnosti to není o mnoho složitější.

Přestože je možné koupit desku s nanesenou pozitivní emulzí, seznámíme se s kompletní výrobou, počínaje v to i nanesení emulze na desku. Nejdříve si opatříme pozitivní emulzi (např. fotocitlivý lak)

Co se týče odstraňování špatně nanesené nebo špatné vyvolané emulze, pak ani tehdy není speciální ředidlo nutné. Uschlou emulzi rychle rozpustí obyčejný denaturovaný líh.

Obr. 26

Obr. 27

Obr. 26: Fotocitlivý lak ve spreji, POSITIV 20, 200 ml, cena cca 320,- Kč
Obr. 27: Technický (denaturovaný) líh, 1000 ml, cena cca 72,- Kč

2.5.3.1. KLIŠÉ PLOŠNÝCH SPOJŮ PRO PŘENÁŠENÍ FOTOCESTOU

Připravený návrh klišé se překreslí na pauzovací papír. Napřed tužkou a pak pečlivě trubičkovým (technickým) perem s černou tuší nebo se klišé vytiskne za pomocí tiskárny a nějakého CAD softwaru (např. návrhový systém EAGLE). Obvykle platí, že strana papíru s kresbou představuje stranu

plošných spojů. Výjimku tvoří případ, kdy se jedná o velmi tenké spoje. Pak je vhodnější kreslit klišé z druhé strany. Důvodem je snaha zabránit šikmým paprskům při osvětlování, aby ztenčily slabé spoje. Pauzovací papír je sice slabý, ale při šikmých paprscích odražených od stínidla, může dojít k zúžení čáry až o 0,2 mm. To nám zatím rozhodně nevadí. Prozatím pohled na tuš bude znamenat pohled na stranu plošných spojů.

Obr. 28: Příklady klišé vytištěných za pomocí tiskárny a CAD softwaru EAGLE

2.5.3.2. NANESENÍ EMULZE

Povrch měděné fólie musí být dobře očištěn a odmaštěn. Postup práce je stejný, bylo popsáno již dříve. K nanášení emulze je třeba ještě malého vysvětlení. **Emulze je citlivá na světlo, a proto se nesmí vystavovat dennímu světlu ani dlouhodobému působení žárovkového světla.** Nanášíme ji proto v místnosti, kde není přímé denní světlo ani zářivkové osvětlení. Stačí trochu zatáhnout závěsy nebo pracovat při slabším žárovkovém osvětlení.

Nejjednodušší technologii představuje stříkání emulze, která se prodává ve spreji (viz. Obr. 26). Snažíme se stříkat vždy několik desek najednou, aby se zmenšily ztráty rozstřikem. Nastříknutá vrstva má být raději tenčí, protože silná vrstva se obtížně nebo vůbec neprosvětlí. Kapičky vzniklé na začátku stříkání se ve vodorovné poloze rozplynou.

Dále je třeba vědět, že čím je rychlejší odpařování, tím méně času zbývá na rozlití emulze do roviny. Odpařování urychluje vyšší teplota a schnutí desky ve volném prostoru. Místnost důkladně větráme. K dobrému rozlití emulze, tj. ke zpomalení odpařování, vyhovuje pokojová teplota, ale hlavně uzavření desky do skříňky nebo krabice na vodorovný podklad. Po uschnutí nás nesmí překvapit, že kolem krajů desky se usadí silnější vrstva emulze. Tuto vrstvu nelze prosvětlit, a proto **deska musí na každé straně o 3 – 5 mm přesahovat kresbu klišé**. Potom okraje zůstávají mimo vlastní obrazec.

2.5.3.3. OSVĚTLENÍ SVĚTLOCITLIVÉ VRSTVY

Přibližně za půl hodiny můžeme desku, která mezitím zaschla, důkladně vysušit na radiátoru ústředního topení. Přitom se musí zamezit působení světla. Jednou z možností je přikrýt desku krabičkou, ale ta nesmí příliš bránit cirkulaci vzduchu. Po důkladném usušení je již možné položit na ní klišé nakreslené tuší, a to tak, **že kresba je nahoře**. Proti posunutí zajistíme lepicí páskou. Na desku s klišé se položí silnější sklo, a to se zatíží, aby papír těsně doléhal na nanesenou vrstvu.

Následuje osvětlování silným světelným zdrojem ze vzdálenosti 30 až 50 cm. Hodí se rtuťová výbojka max. 200 W. Dobu nutno stanovit zkusmo na 10 až 20 minut. Výbojku umístíme do stínidla, aby se zamezilo působení světla do očí. Zároveň se tak soustředí paprsky a zvýší se účinnost světelného zdroje. Od stínidla se však odrážejí šikmo paprsky, a proto **předloha musí být dobře přitisknuta k desce**. Je možné použít i slabší světelný zdroj, např. výbojku 125 W ve stínidle ze vzdálenosti asi 30 cm. **Expozice trvá přibližně 15 minut.** Dále zmenšovat vzdálenost není vhodné, emulze by se mohla teplem poškodit a přilepit na papír. Čím větší světelný tok, tím kratší je doba osvětlování. Přesnou délku nelze stanovit, vyzkoušíte si ji musíte sami. U správně exponované desky je trochu znát kresba spojů. Osvětlené části jsou žlutější, na rozdíl od okolí, kde zůstává původní odstín. Jestliže je osvit příliš dlouhý, pak se částečně osvětlí i kresba zakrytá tuší. Stává se to i tehdy, jestliže tuš nebyla

nanesena dostatečné hustě. V takovém případě emulzi umyjeme lihem a po nanesení nové emulze upravíme dobu expozice. Ta se ale bezpečně pozná až po vyvolání osvětlené desky.

2.5.3.4. VYVOLÁVÁNÍ OSVĚTLENÉ DESKY

Vývojku tvoří chemikálie, která je běžně dostupná. Zpravidla je to louh sodný NaOH. Prodává se v plechových krabicích v podobě bílých peciček tvaru čočky. Do láhve je třeba namíchat půl až jednoprocentní roztok louhu. Jednoduše se to provede tak, že na litr vody se odváží 5 – 10 gramů peciček, které se v láhvi dobře rozpustí. I když je to v této koncentraci jen mírná žíravina, pracujeme v gumových rukavicích a chráníme se stříknutí do oka. Vývojku nalijeme do misky a do vedlejší misky připravíme obyčejnou vodu. Osvětlenou desku vložíme do vývojky, kde se za okamžik začne vyvolávat. Emulze zasažená světlem se rychle rozpouští a odplavuje v podobě načervenalých šmouh. Co bylo neosvětleno, tedy přikryto kresbou, zůstává.

Jestliže byla expozice krátká, emulze se v celém rozsahu neodplaví až na čistou měď. Byla-li naopak příliš dlouhá, pak se rozpouští i části zakryj kresbou. Při manipulaci s deskou v lázni pomůže šroubovák nebo předmět z plastu. Přitom se snažíme kresbu nepoškrábat.

Při krajích desky se emulze neodplaví. Tu odstraníme po osušení odškrábnutím. Podobnou retuš provádíme někdy i na místech, kde se usadila silnější vrstva emulze při nanášení. Kvůli jednomu místu na desce nemá smysl odstraňovat kresbu, která je jinak v pořádku.

Jestliže se na některém místě objeví kaz v podobě slabší nebo chybějící vrstvy emulze, pomůže Centrofix, kterým se vadná část obnoví.

Při vyvolávání svítíme normálním světlem. Protože se jedná o necelou minutu, nehrozí již nebezpečí osvícení emulze. Zpočátku se jistě přihodí, že nanášení emulze a osvětlování bude nutno opakovat. Jakmile se vyzkouší správná tloušťka vrstvy a délka expozice, problémy odpadnou.

Obr. 29: Hydroxid sodný (louh) 1 kg, cena cca 60,- Kč

2.5.3.5. TVRZENÍ EMULZE PŘED LEPTÁNÍM

Emulze po nanesení zavadá za několik minut a zasychá zhruba do hodiny. Aby emulze fungovala je potřeba, aby došlo k vytvrzení, což trvá 24 hodin při 20°C nebo 15 minut při 70°C . Nevytvrzená emulze se pozná podle toho, že se při vyvolávání prakticky hned smyje emulze z celé plochy.

Vytvrzování a skladování nastříknutých desek musí probíhat potmě.

Doba použitelnosti je značná, ale s postupující dobou se fotoemulze obtížněji vyvolává. Emulzi Lze bez problémů použít i po více než měsíci od nanesení, ale možná bude potřeba zvýšit koncentraci vývojky.

Závěrem je možno říci, že až tuto metodu přípravy plošných spojů fotocestou vyzkoušíte, jen neradi se budete vracet ke starším způsobům.

2.5.3.6. NĚKOLIK POZNÁMEK K TECHNICKÉMU VYBAVENÍ

Není obtížné vyrobit vlastní zařízení pro osvětlování desek. Spokojíte-li se staršími rtuťovými výbojkami, které se postupně vyřazují z veřejného osvětlení, pak si opatřete výbojku RVL 125 W s normální objímkou, a k tomu příslušnou tlumivku. Instalaci smí provádět pouze pracovník znalý předpisů, aby nemohlo dojít k úrazu elektrickým proudem. Zapojení je ovšem velmi jednoduché. Proti normálnímu připojení žárovky, bude mít výbojka navíc sériově zapojenou odpovídající tlumivku. Obojí je společně instalované v pouličních svítidlech. Úkolem tlumivky je omezit proud na přípustnou velikost, po rozhoření hořáku uvnitř výbojky. Plný světelný tok dává výbojka přibližně za čtyři minuty po zapnutí. Osvětlujeme-li opakovaně, výboji nevypínáme (startuje až po vychladnutí).

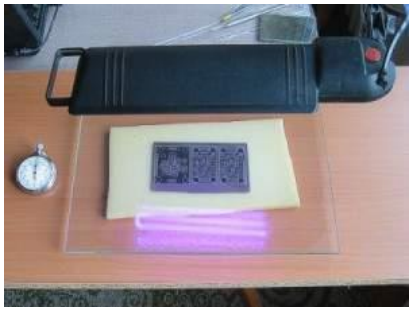
Bez stínidla výbojku nepoužívejte, hrozí zánět spojivek! Tlumivka musí být zakrytována, hrozí úraz elektrickým proudem!

Obr. 30: Výbojka z pouličního osvětlení

Výbojka 12W do stolní lampy

Celkem se osvědčila UV výbojka 12 W do stolní lampy. Není třeba žádné speciální osvitové zařízení, stačí mít vhodnou stolní lampu.

Svítí se ze vzdálenosti cca 20 cm. Osvědčená expozice je cca 30 minut pro předlohu na papíře a minimálně 10 minut pro průhlednou filmovou předlohu.



Obr. 31: Příklad osvětlení za pomocí stolní lampy s 12 W UV výbojkou

Dále se vyplatí vyrobit přípravek, přidržující klišé plošných spojů pevně u desky kuprextitu. Použije se k tomu skleněná deska tloušťky 5 až 6 mm se zabroušenými hranami (pozor na úraz). Ta bude ležet na dřevotřískové desce o málo větších rozměrů. Uhlovými železy se skleněná deska připevní na delších stranách k dřevěné desce. Pevné spojení obstarají šrouby s křídlovými maticemi. Deska by neměla přesáhnout rozměr 15 x 25 cm při použití výbojky 125 W. Při větších rozměrech se uplatňují šikmé paprsky.

2.5.4. LEPTÁNÍ DESKY PLOŠNÝCH SPOJŮ

Nejběžnější lázeň k leptání měděné fólie spočívá v chloridu železitém $FeCl_3$. Vznikne tak hustší olejovitá kapalina rezavé barvy, která chemicky reaguje s mědí. Chlorid železitý je možné koupit v obchodě s elektronickými součástkami, stejně jako světlocitlivou emulzi. Do leptací lázně se nesmějí vkládat železné předměty, jako je šroubovák či pinzeta. Chlorid reaguje velmi agresivně – ihned zčernají. Podobně dopadnou i předměty z hliníku. Používají se proto výhradně plasty. Při manipulaci s deskou v misce nesmíme poškrábat kresbu, protože obnažená fólie by se odleptala.

Obr. 32: Leptací roztok pro výrobu plošných spojů $FeCl_3$ (chlorid železitý), obsah 500 ml, cena cca 85,- Kč

2.5.4.1. POSTUP LEPTÁNÍ

Na začátku, po vložení desky do leptací lázně, musíme během první minuty zjistit, jestli je vše v pořádku. Co se tím myslí? Někde může být poškozena kresba škrábnutím, jinde objevíme znečištěné místo, které se neleptá. Také vzduchová bublina znemožní leptání. To vše se pozná podle zbarvení fólie. Desku po minutě vyjmeme z lázně, opláchneme ve vedlejší misce s vodou a opatrně otřeme. Na suché desce provedeme opravy buď fixem nebo kapalinou na plošné spoje. Spatně vyvolaná místa, která se neleptají, jsou nyní dobře vidět. Opatrně se oškrábou. Tím je deska připravena k leptání a jde znovu do lázně.
Nechceme-li deskou po celou dobu leptání pohybovat, položíme ji na hladinu, fólií směrem dolů. Povrchové napětí kapaliny udrží desku na hladině. Produkty leptání odpadávají ke dnu, takže proces pokračuje bez našeho přičinění. Značně se urychlí tím, že lázeň přihříváme. Postačí světlo stolní lampy se stínidlem bezprostředně nad miskou. **Pamatujme, že lázeň zanechává na látce těžko odstranitelné skvrny. Pokud se včas vodou neodstraní, látka se časem rozpadá!** Potřísněné místo ihned důkladně propereme teplou vodou s mýdlem. **Pokud chceme sahat do leptací lázně rukama, použijeme gumové rukavice.**

Jak se pozná, že leptání skončilo? Po nějaké době začne deska prosvítat na místech, kde se odleptala měděná fólie. To signalizuje blížící se konec leptání. Desku pak vyjmeme, prohlédneme a je-li měď na osvětlených místech zcela odleptána, opláchneme vodou a osušíme. **Ponecháme-li desku v lázni zbytečně dlouho, hrozí podleptání plošných spojů.** Drobné nedostatky se odstraní odloupnutím zbytků folie.

2.5.5. VRTÁNÍ OTVORŮ V DESCE PLOŠNÝCH SPOJŮ

Otvory pro vývody součástek vrtáme dříve než zbavíme plošné spoje emulze nebo barvy. Jaký je k tomu důvod? Dříve či později se přesvědčíte, že vyvrtat otvor do plošného spoje, má-li být přesně v ose pájecího bodu, není právě jednoduchá záležitost. Týká se to především otvorů pro integrované obvody. Emulze společně s vyleptaným místem uprostřed pájecího bodu pomáhá vystředit otvor, pokud ovšem usazujeme vrták s citem.

Proto si raději pomáháme opatrným odůlčíkováním ostře nabroušeného důlčíku. **Důlek musí být úzký, s menším průměrem než budoucí otvor, aby se později celý odvrtal.** Na stlačeném místě již fólie nedrží a může se při pájení odloupnout. Otvory vrtáme na průměr 0,9 mm až 1 mm. Některé

otvory potom dodatečně zvětšujeme, např. pro potenciometrické trimry, pro šrouby nebo silnější vývody součástek.

Při vrtání do desky kuprextitu se poměrně rychle otupuje vrták. Je potřeba, aby otáčky vrtáku byly dostatečně vysoké.

2.5.6. OŠETŘENÍ DESKY PLOŠNÝCH SPOJŮ PO VRTÁNÍ

Při vrtání otvorů do desky vznikají na obou stranách otřepy, které tam nesmějí zůstat. **Na straně fólie je zcela nevhodný způsob odstraňování otřepů pomocí vrtáku.** Tento způsob, běžný v mnoha jiných případech, zde nevyhovuje. Břit vrtáku by ubral část fólie kolem otvoru, a to nelze připustit. Nastaly by potíže při pájení. Otřepy zarovnáme pomocí jiné desky kolmo postavené, jak již bylo popsáno dříve. Ani smirkový papír k vyhlazení fólie nelze doporučit, je to příliš drastický způsob, který porýhá a ztenčí měděnou fólii.

Je-li deska hladká, následuje důkladné a konečné očištění strany plošných spojů, nejlépe lihem. Na takto připravené spoje můžeme pájet, ale přesto se vyplatí další úprava. Ta zamezí, aby povrch měděné fólie v krátké době oxidoval. I v normálním prostředí povrch časem koroduje. Téměř okamžitě však reaguje na dotyk prstu. Není to jen nevzhledné, ale zhoršuje to kvalitu spoje a ztěžuje další pájení při opravách. Proto naneseme na stranu spojů ochranný lak. Připraví se rozpuštěním kousku kalafuny v nitroředidle (acetonu). Stačí malá sklenička, nejlépe od laku na nehty. Ta má v zátce štěteček, kterým se celá deska ze strany plošných spojů natře.

Při natírání držíme desku svisle, aby lak nezatekl do vyvrtaných otvorů. Teprve pak ji položíme vodorovně a necháme schnout na teplém místě. Počkáme, až je povrch tvrdý a lesklý. Pak dokonale chrání spoje před oxidací a navíc výrazně usnadňuje pájení. Místa, která budou připojena k jiným dílům prostřednictvím šroubu, nebudeme natírat. Dostane-li se tam lak, důkladně jej oškrábeme, protože lak izoluje.

Někdy se používá k rozpuštění kalafuny líh. Takto ošetřené spoje rovněž neoxidují, avšak nanesená vrstva je delší dobu měkká. Po dotyku prstů zanechává nevzhledný otisk a povrch navíc přijímá špínu. Z tohoto důvodu se dává přednost rozpuštění kalafuny v nitroředidle.

Jinou možností je koupit ochranný lak na plošné spoje, který je běžně k dostání a bývá zbarven. Taková úprava po odzkoušení desky (lak izoluje) je velmi efektní a ovšem i účelná. Co se týče barvy laku, snadno dosáhneme požadovaného zbarvení i u našeho laku z kalafuny, jestliže se k němu přidá nepatrné množství náplně z kuličkové tužky.

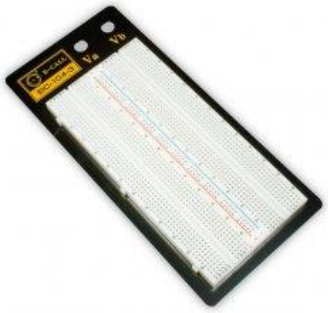
Obr. 33: Univerzální ochranný lak na desky plošných spojů, 200ml, cena cca 165,- Kč

3. ZÁSADY PRO NÁVRH DESKY S PLOŠNÝMI SPOJI „KLIŠE DPS“

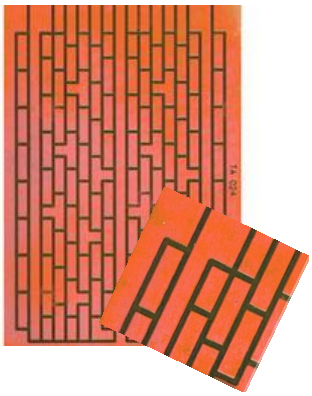
3.1. NÁVRH DESKY S PLOŠNÝMI SPOJI

U velmi jednoduchých zapojení si můžeme dovolit navrhnout desku plošného spoje, osadit jej součástkami a zapojení vyzkoušet.

Složitější zapojení nejprve vyzkoušíme na univerzální destičce nebo zapojíme na kontaktním nepájivém poli, a potom plošný obrazec navrhneme. Rozhodneme se zda dané zapojení budeme realizovat na jediné velké destičce s plošnými spoji, nebo rozdělíme na několik částí. Každá část bude mít vlastní destičku s plošnými spoji.



Obr. 34



Obr. 35

Obr. 34: Kontaktní nepájivé pole 110x230 mm, cena cca 250,- Kč
Obr. 35: Univerzální nevrtaný plošný spoj pro testování elektroniky 105x140 mm, cena cca 95,- Kč

3.2. VELIKOST DESKY S PLOŠNÝMI SPOJI

Volíme podle tvaru skříňky (pouzdra), podle rozměru největších součástek nebo počtu součástek. Zda budeme destičku upevňovat na zařízení (musíme nechat volné okraje nebo místo k upevnění).

3.3. ROZMÍSTĚNÍ SOUČÁSTEK NA DESKU PLOŠNÉHO SPOJE

Součástky rozmisťujeme tak, aby:

- cesta signálu nízkofrekvenčního nebo vysokofrekvenčního byla vždy co nejkratší
- součástky, na nichž je např. zesilovaný signál, nebyly blízko u zdroje (rušivé napětí) jako transformátory, tlumivky, kontakty, …
- polovodičové a ostatní součástky citlivé na teplo nebyly v blízkosti zdroje tepla
- cívky i kondenzátory laděných obvodů, jejichž parametry závisí na teplotě, byly co nejdále od zdrojů tepla
- výstup a vstup jednoho stupně nebyli blízko sebe a nedocházelo k nežádoucím vazbám
- spoje, které mezi součástkami povedou, byly nejkratší a nekřížili se
- vývody v desce byly umístěny v takovém místě, aby napojení na zdroj nebo další desku, součástku byly co nejkratší

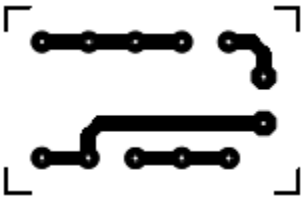
3.4. DRUHY PLOŠNÝCH SPOJŮ

3.4.1. SOUSTAVA SPOJOVACÍCH ČAR

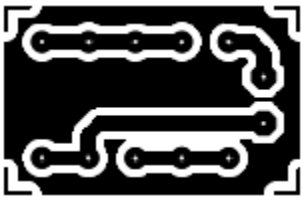
Spoje jsou tvořeny úzkými proužky měděné fólie zakončené pájecím bodem. Tento druh se používá tam, kde chceme dosáhnout velkého izolačního odporu mezi spoji.

Nevýhodou je velké množství odleptání mědi, brzy se vyčerpá leptací lázeň a prodlouží se doba leptání. Abychom této nevýhodě předešli, vytvoříme DPS s „rozlitou mědí“. Tepelná odolnost je menší.

Šířka spojovací čáry je: 1 mm; 1,5 mm; 2 mm výjimečně 3 – 6 mm. Průměr pájecího bodu by měl být přibližně dvojnásobný než šířka spoje.



Obr. 36

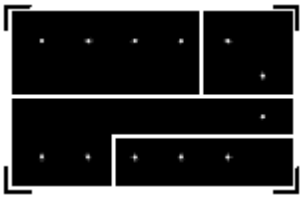


Obr. 37

Obr. 36: DPS, soustava spojovacích čar
Obr. 37: DPS, soustava spojovacích čar „s rozlitou mědí“

3.4.2. SOUSTAVA DĚLICÍCH ČAR

Spoje jsou nahrazeny plochami, které jsou odděleny malými čárami široké minimálně 1 mm. **Výhody** tohoto druhu DPS, lze jej více mechanicky i tepelně namáhat. **Nevýhodou je** menší přehlednost.



Obr. 38: DPS, soustava dělicích čar

3.4.3. KOMBINACE OBOU PŘEDCHOZÍCH SOUSTAV

Vznikne kombinací obou předchozích soustav. Tato soustava má stejné **nevýhody a výhody** jako soustava dělicích čar.

Obr. 39: DPS, kombinace obou předchozích soustav

3.5. ZATÍŽITELNOST PLOŠNÝCH SPOJŮ

Plošné spoje lze zatěžovat větším proudem než drátové spoje odpovídajícího průřezu, ta je dána větší ochlazovací plochou plošného spoje při stejném průřezu. Ochlazovací plocha plošného spoje je přibližně 10x větší než u drátového spoje.

Zatížitelnost plošného spoje závisí na tloušťce fólie, izolantu (ze které je zhotovena základní deska), na tepelné vodivosti. Jedná strana plošného spoje (u jednostranné DPS) odvádí teplo právě z izolantu. Při návrhu uvažujeme o umístění plošného spoje, možnost přístupu k němu, hustotu spojů a rozmístění zdrojů v okolí spoje.

3.6. KAPACITA PLOŠNÝCH SPOJŮ

U vysokofrekvenčních obvodů se může projevit i vlastní kapacita plošného spoje, mohou vzniknout nežádoucí parazitní vazby. U těchto obvodů můžeme kontrolovat i vzdálenost destičky s plošným spojem od jiných vodivých ploch vzhledem k vzniku nežádoucích kapacit.

Při praktickém návrhu plošných spojů bereme na parazitní kapacity zřetel pouze v případech, navrhujeme-li obvody pracující na VKV, nebo dva spoje velmi těsně u sebe (u VF obvodu). Z obvodu umísťujeme vysokofrekvenční části přístrojů, uhotovených na destičkách plošných spojů, pokud možná co nejdále od větších vodivých ploch.

3.7. VÝBĚR VHODNÝCH SOUČÁSTEK

Kritériem podle něhož posuzujeme vhodnost či nevhodnost součástky pro zapojení a danou konstrukci je posuzování součástek.

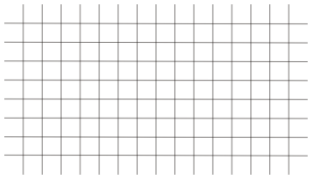
- z hlediska rozměrů vzhledem k prostoru, který máme k dispozici
- z hlediska nároků na kvalitu a spolehlivost zapojení a tím i součástek
- z hlediska ceny jednotlivých součástek a tím i celé konstrukce

Miniaturizaci neprovádíme za každou cenu. Některé přístroje obsahují součástky, určující jejich rozměr např. měřidla, reproduktory, obrazovky, ovládací pruhy, rozměry předního panelu určují rozměry přístroje. Využíváme všechna místa ve skříňce. Zapojení bude přehlednější na pravidelnější. Sestavíme-li miniaturní tranzistory přijímač bude montáž co nejtěsnější.

Pro měřící přístroje a jiná zařízení záleží na přesnosti, požíváme větší, spolehlivější součástky. Větší rozměry umožní lepší větrání a ochlazování zdrojů tepla a snižují tak závislost funkci přístroje na teplotě.

3.8. ZÁKLADNÍ RASTR PRO PLOŠNÉ SPOJE

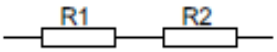
Základní rastr pro návrh plošné spoje je souřadnicová čtvercová síť o rozměrech čar, které jsou 2,5 mm.



Obr. 40: DPS, kombinace obou předchozích soustav

4. VZOROVÉ PŘÍKLADY A CVIČENÍ PRO NÁVRH DPS

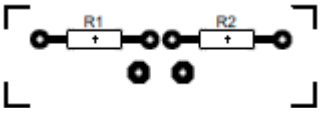
Příklad č. 1:



Obr. 41

Obr. 42

Obr. 43



Obr. 44

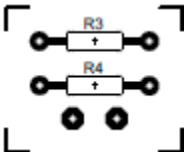
Obr. 41: Schéma zapojení, Obr. 42: Návrh DPS, soustava spojovacích čar
Obr. 43: Návrh DPS, soustava spojovacích čar „s rozlitou mědí“, Obr. 44: Osazovací schéma DPS

Příklad č. 2:

Obr. 45

Obr. 46

Obr. 47

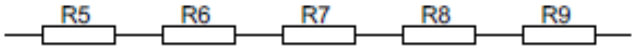


Obr. 48

Obr. 45: Schéma zapojení, Obr. 46: Návrh DPS, soustava spojovacích čar
Obr. 47: Návrh DPS, soustava spojovacích čar „s rozlitou mědí“, Obr. 48: Osazovací schéma DPS

Příklad č. 3:

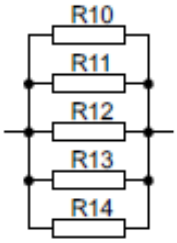
Nakreslete návrh DPS a osazovací schéma pro dané zapojení.



Obr. 49: Schéma zapojení

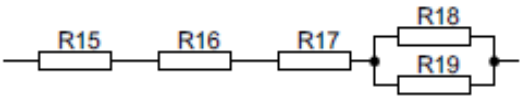
Příklad č. 4:

Nakreslete návrh DPS a osazovací schéma pro dané zapojení.



Obr. 50: Schéma zapojení

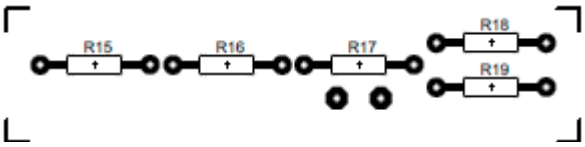
Příklad č. 5:



Obr. 51

Obr. 52

Obr. 53

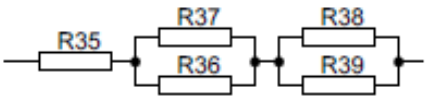


Obr. 54

Obr. 51: Schéma zapojení, Obr. 52: Návrh DPS, soustava spojovacích čar
Obr. 53: Návrh DPS, soustava spojovacích čar „s rozlitou mědí“, Obr. 54: Osazovací schéma DPS

Příklad č. 6:

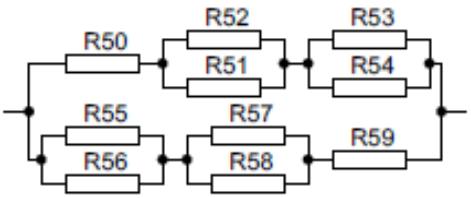
Nakreslete návrh DPS a osazovací schéma pro dané zapojení.



Obr. 55: Schéma zapojení

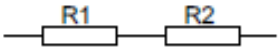
Příklad č. 7:

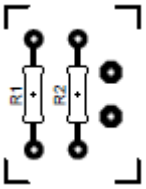
Nakreslete návrh DPS a osazovací schéma pro dané zapojení.



Obr. 56: Schéma zapojení

Příklad č. 8:

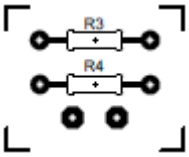




Obr. 57 *Obr. 58* *Obr. 59* *Obr. 60*

Obr. 57: Schéma zapojení, Obr. 58: Návrh DPS, soustava spojovacích čar
Obr. 59: Návrh DPS, soustava spojovacích čar „s rozlitou mědí“, Obr. 60: Osazovací schéma DPS

Příklad č. 9:

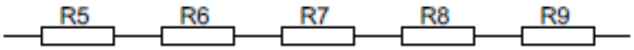


Obr. 61 *Obr. 62* *Obr. 63* *Obr. 64*

Obr. 61: Schéma zapojení, Obr. 62: Návrh DPS, soustava spojovacích čar
Obr. 63: Návrh DPS, soustava spojovacích čar „s rozlitou mědí“, Obr. 64: Osazovací schéma DPS

Příklad č. 10:

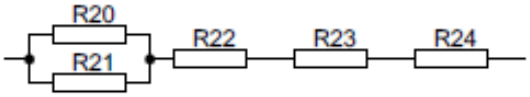
Nakreslete návrh DPS a osazovací schéma pro dané zapojení.



Obr. 65: Schéma zapojení

Příklad č. 11:

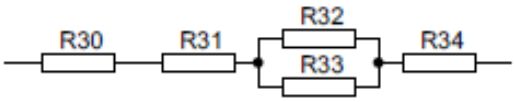
Nakreslete návrh DPS a osazovací schéma pro dané zapojení.



Obr. 66: Schéma zapojení

Příklad č. 12:

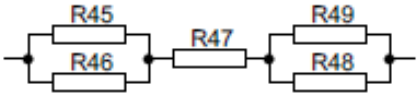
Nakreslete návrh DPS a osazovací schéma pro dané zapojení.



Obr. 67: Schéma zapojení

Příklad č. 13:

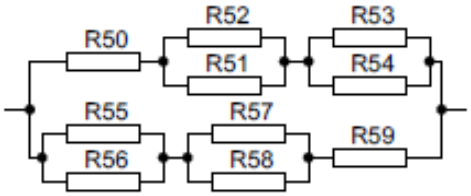
Nakreslete návrh DPS a osazovací schéma pro dané zapojení.



Obr. 68: Schéma zapojení

Příklad č. 14:

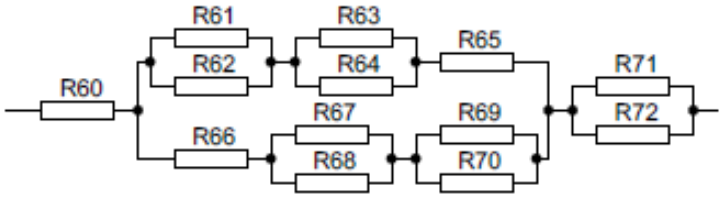
Nakreslete návrh DPS a osazovací schéma pro dané zapojení.



Obr. 69: Schéma zapojení

Příklad č. 15:

Nakreslete návrh DPS a osazovací schéma pro dané zapojení.



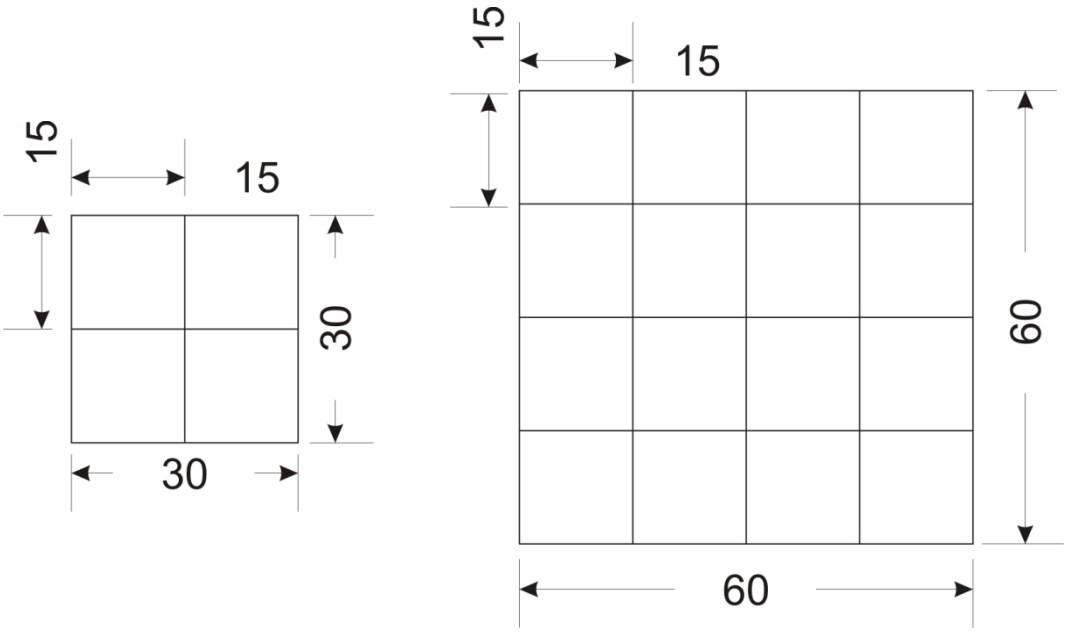
Obr. 70: Schéma zapojení

5. PRAKTICKÁ CVIČENÍ

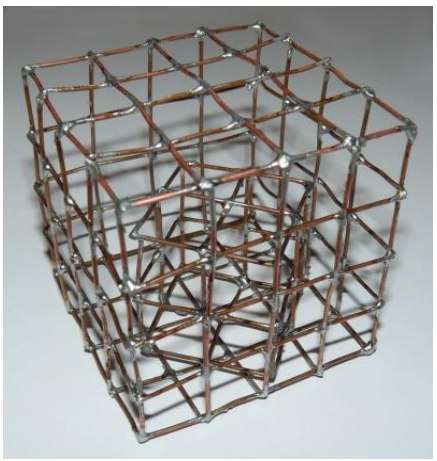
5.1. CVIČNÉ PÁJENÍ, KRYCHLE Z MĚDĚNÉHO DRÁTU

Technologický postup práce:

- připravte si potřebné nářadí a nástroje pro práci
- z měděného drát o daném průřezu nejprve odstraňte izolaci
- měděný drát narovnejte
- z měděného drátu nastříhejte vodiče o délce 60 mm a 30 mm, PŘESNĚ!!!
- měděné vodiče jemně očistěte smirkovým papírem (odstranění oxidace a nečistot)
- vodiče si připravte pro pájení…
- … nejprve spájejte celou „velkou“ krychli (60x60 mm) dle Obr. 71
- poté uvnitř „velké“ krychle spájejte „malou“ (30x30 mm)…
- … měli byste docílit výsledku dle Obr. 72



Obr. 71: Velikosti a rozmístění měděných drátu pro krychli 60x60 mm a 30x30 mm

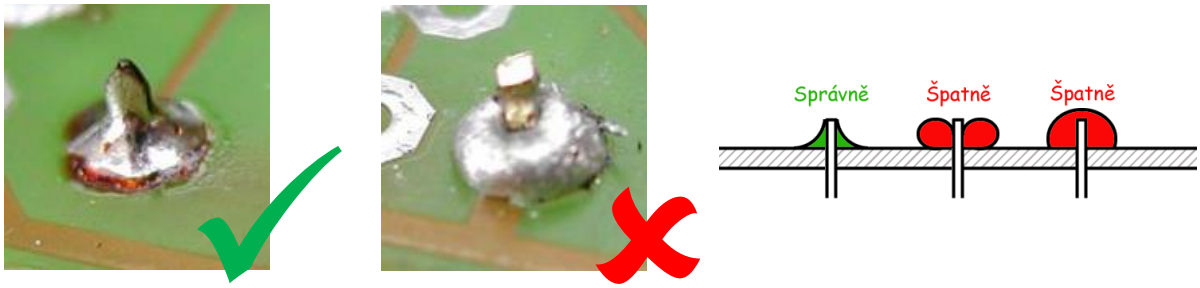


Obr. 72: Krychle z měděného drátu

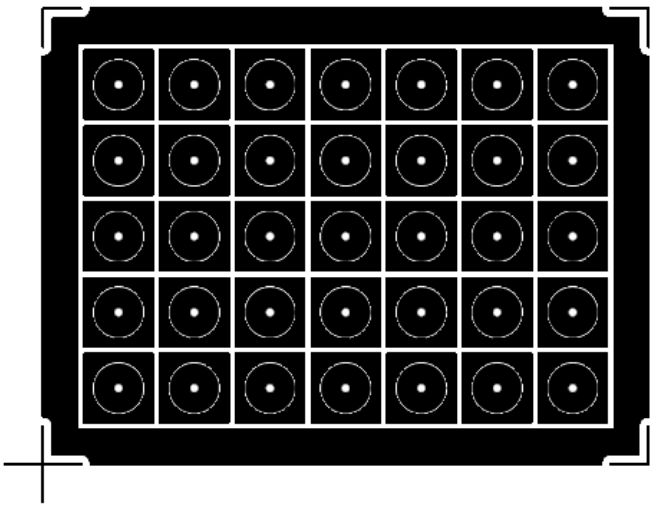
5.2. CVIČNÉ PÁJENÍ, VODIČŮ DO DPS (METODOU ODLUPOVÁNÍM FÓLIE)

Technologický postup práce:

- připravte si potřebné nářadí a nástroje pro práci
- z jednostranného kuprextitu si připravte destičku pro DPS o rozměru 80x60 mm
- hrany destičky zapilujte a měděnou stranu destičky očistěte
- za pomocí tužky a pravítky si připravte destičku DPS dle Obr. 74
- pomocí metody ODLUPOVÁNÍ FÓLIE vytvořte obrazec dle Obr. 74 (mezera mezi spoji 1 mm)
- pomocí tužky a pravítka si naznačte středy spojů, ty JEMNĚ!!! odůlčikujte
- otvory odvrtejte za pomocí mikrovrtačky vrtákem o průměru 1 mm
- měděnou fólii DPS očistěte od případné oxidace a otisků prstů za pomocí čisticího prostředku „TORO“, snažte se nyní už na měděnou fólii nešahat!!!
- měděnou fólii DPS potřete ochranou vrstvou (kalafuna rozpuštěná v nitroředidle), kterou necháme zaschnout
- … do takto připravené DPS pájejte dle správnosti vodiče dle Obr. 73



Obr. 73: Ukázka správnosti pájených spojů

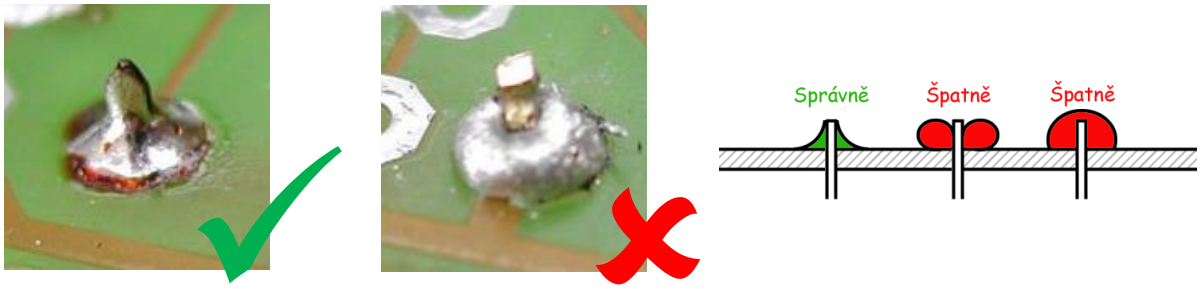


Obr. 74: DPS, metodou odlupováním fólie, rozměr DPS 80x60 mm

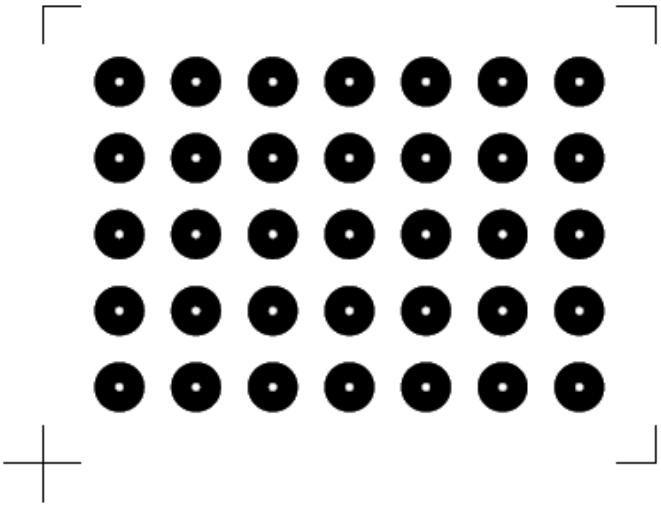
5.3. CVIČNÉ PÁJENÍ, VODIČŮ DO DPS (METODOU KRESBOU FIXY)

Technologický postup práce:

- připravte si potřebné nářadí a nástroje pro práci
- z jednostranného kuprextitu si připravte destičku pro DPS o rozměru 80x60 mm
- hrany destičky zapilujte a měděnou stranu destičky očistěte
- za pomocí tužky a pravítky si připravte destičku DPS dle Obr. 76
- pomocí tužky a pravítka si naznačte středy spojů, ty JEMNĚ!!! odůlčikujte
- otvory odvrtejte za pomocí mikrovrtačky vrtákem o průměru 1 mm
- pomocí metody KRESBA FIXY vytvořte obrazec dle Obr. 76 (velikost pájecího bodu cca 6 mm)
- takto připravený DPS vložte do leptaví lázně $FeCl_3$ chloridu železitého, postup uveden v kapitole 2.5.4.1.
- měděnou fólii DPS očistěte od fixu za pomocí technického lihu, případnou oxidaci a otisky prstů za pomocí čisticího prostředku „TORO“, snažte se nyní už na měděnou fólii nešahat!!!
- měděnou fólii DPS potřete ochranou vrstvou (kalafuna rozpuštěná v nitroředidle), kterou necháme zaschnout
- … do takto připravené DPS pájejte dle správnosti vodiče (viz. Obr. 75)



Obr. 75: Ukázka správnosti pájených spojů

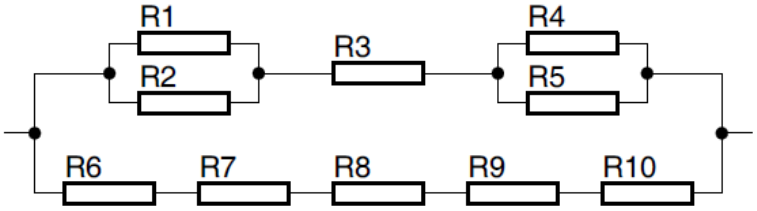


Obr. 76: DPS, metodou kresbou fixy, rozměr DPS 80x60 mm

5.4. CVIČNÉ PÁJENÍ, NÁVRH A OSAZENÍ DPS – ŘAZENÍ REZISTORŮ

5.4.1. VZOROVÝ PŘÍKLAD

Ze zadaného schématu vypočítejte celkový odpor $R_{VYPOCET}$=? [Ω]. Proveďte návrh, výrobu a osazení DPS. Nakonec pomocí multimetru změřte výslednou velikost R zapojení a porovnejte výsledky $R_{VYPOCET}$ a R_{ZMER}.



R1,R2=30kΩ
R3=30kΩ
R4,R5=30kΩ
R6,R7,R8=10kΩ
R9,R10=15kΩ

Obr. 77: Schéma obvodu

$$R_{1,2} = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2} = \frac{30 \cdot 10^3 \times 30 \cdot 10^3}{30 \cdot 10^3 + 30 \cdot 10^3} = \frac{900 \cdot 10^6}{60 \cdot 10^3} = 15 \cdot 10^3 \Omega = 15k\Omega$$

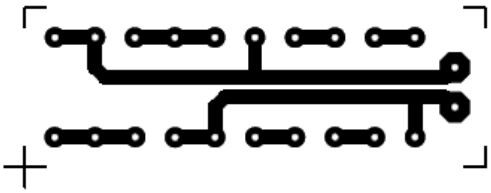
$$R_{4,5} = \frac{R_4 \times R_5}{R_4 + R_5} = \frac{30 \cdot 10^3 \times 30 \cdot 10^3}{30 \cdot 10^3 + 30 \cdot 10^3} = \frac{900 \cdot 10^6}{60 \cdot 10^3} = 15 \cdot 10^3 \Omega = 15k\Omega$$

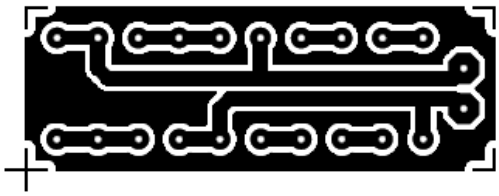
$$R_{1,2,3,4,5} = R_{1,2} + R_3 + R_{4,5} = 15 \cdot 10^3 + 30 \cdot 10^3 + 15 \cdot 10^3 = 60 \cdot 10^3 \Omega = 60k\Omega$$

$$R_{6,7,8,9,10} = R_6 + R_7 + R_8 + R_9 + R_{10} = 10 \cdot 10^3 + 10 \cdot 10^3 + 10 \cdot 10^3 + 15 \cdot 10^3 + 15 \cdot 10^3 = 60 \cdot 10^3 \Omega = 60k\Omega$$

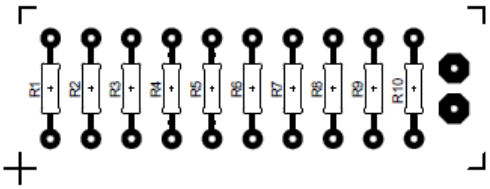
$$R_{VYPOCET} = \frac{R_{1,2,3,4,5} \times R_{6,7,8,9,10}}{R_{1,2,3,4,5} + R_{6,7,8,9,10}} = \frac{60 \cdot 10^3 \times 60 \cdot 10^3}{60 \cdot 10^3 + 60 \cdot 10^3} = \frac{3600 \cdot 10^6}{120 \cdot 10^3} = 30 \cdot 10^3 \Omega = \underline{\underline{30k\Omega}}$$

$$R_{ZMER} = \underline{\underline{33k\Omega \Rightarrow \pm 10\% tolerance}}$$





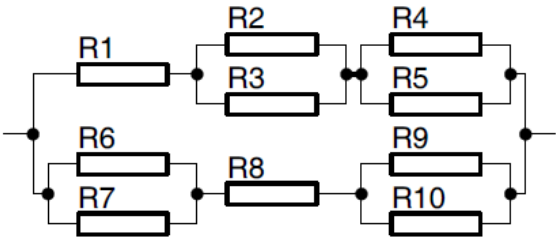
Obr. 78: Návrh DPS, soustava spojovacích čar, Obr. 79: Návrh DPS, soustava spojovacích čar „s rozlitou mědí“



Obr. 80: Osazovací schéma DPS

5.4.2. NAVRHNĚTE DPS A VYPOČÍTEJTE CELKOVÝ ODPOR ZAPOJENÍ

Ze zadaného schématu vypočítejte celkový odpor $R_{VYPOCET}$=? [Ω]. Jednotlivé hodnoty odporu R budou dány konkrétními součástkami, tyto hodnoty změřte a zapište. Proveďte návrh, výrobu a osazení DPS. Nakonec pomocí multimetru změřte výslednou velikost R zapojení a porovnejte výsledky $R_{VYPOCET}$ a R_{ZMER}.



Obr. 81: Schéma obvodu

R1=
R2=
R3=
R4=
R5=
R6=
R7=
R8=
R9=
R10=

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

MALINA, Václav. *Poznáváme elektroniku*. 3. vyd. České Budějovice: KOPP, 2003, s. 201-221. ISBN 80-7232-039-4.

TKOTZ, Klaus. *Příručka pro elektrotechnika*. 2. dopl. vyd. Praha: Europa-Sobotáles, 2006, s. 554-556. ISBN 80-86706-13-3.

KÁKONA, Jakub, Jan LAFATA a Milan HORKEL. Domácí výroba plošných spojů fotocestou. *MLAB* [online]. 3.12.2011 [cit. 2012-03-19]. Dostupné z: http://www.mlab.cz/Articles/HowTo/How_to_make_PCB/DOC/HTML/How_to_make_PCB.cs.html

Vytvoření nové pájecí smyčky. *WATT* [online]. [cit. 2012-03-19]. Dostupné z: http://watt.feld.cvut.cz/vyuka/BP1/slaboproud/smycka_cz.htm