

# Technické kreslení

Ing. Vlček)

*Je součástí dalšího (třetího) vydání Základů elektrotechniky, které vyšlo na podzim 2006.*

*Z technických důvodů do něj nebylo možné umístit všechny obrázky.*

## 1. Základy technického kreslení

### Technika kreslení

Předpokladem pro správné grafické vyjádření myšlenky je dobrá znalost kreslení **náčrtů**. Proto každý pracovník v kterémkoli oboru, který chce svůj výklad, nápad nebo myšlenku doplnit nákresem, musí umět nakreslit jak náčrt součásti, tak i předmětu nebo zařízení.

K získání grafické zručnosti je nutno vynaložit mnoho času.

Náčrty se mohou kreslit v pravouhlém, kosoúhlém nebo v jiném zobrazení, a to podle účelu, kterému náčrt slouží. Často bývají podkladem pro kreslení technických **výkresů**, které kreslíme na PC nejčastěji pomocí programu Autocad.

Při kreslení musíme zachovávat určitá pravidla:

1. Vždy pracujeme s čistými kreslicími pomůckami, přitom nezapomínáme na ruce a rukávy svého oděvu. Při kreslení se výkresu nedotýkáme dlaněmi.
2. Při kreslení tužkou dbáme na to, aby se čáry pohybem ruky a pomůcek neroztíraly po výkrese.
3. Předpokladem dobré práce je správné držení těla a správné držení tužky nebo jiných kreslicích pomůcek. Sedíme pohodlně, nehrbíme se a břichem ani hrudníkem se neopíráme o hranu stolu. Židle pomáhá udržovat správnou polohu páteře.
4. Pomůcky držíme v ruce volně, nikdy křečovitě. Při kreslení od ruky kreslíme krátké čáry pohybem ruky v zápěstí, ostatní část ruky je nehybná; dlouhé čáry kreslíme pohybem celé ruky v ramenním kloubu.
5. Pracovní plocha musí být osvětlena šikmo zleva, zepředu a shora. Vzdálenost očí od rýsovací desky má být 300 mm. Dáváme přednost kreslení při denním světle.
6. Nezapomínejte občas poskytnout očím krátký odpočinek a několikrát zhluboka vdechnout.

**Tloušťka čáry** při kreslení se volí podle velikosti a složitosti kresleného obrazu a podle velikosti měřítko, ve kterém je obraz nakreslen.

**Osy souměrnosti** přetahujeme podle velikosti obrazu součásti o 5 až 15 mm. Je-li na společné ose několik děr, osu spojujeme.

**Tloušťka čar stejného významu** (tj. čáry obrysové, pomocné, apod.) **musí být stejná** ve všech obrazech téhož výkresu, kreslených ve stejném měřítku.

### Formáty výkresů

Základní formát je A0, má plochu 1 m<sup>2</sup> a strany v poměru 1:  $\sqrt{2}$ . Rozpůlením formátu A0 vznikne formát A1, rozpůlením formátu A1 formát A2, atd. Formáty výkresů jsou ležaté, pouze formát A4 je stojatý. Je-li to třeba, lze použít i formáty A1 až A3 stojaté a formát A4 ležatý.

Ve zvláštních případech, kdy nevyhovují základní formáty např. u výkresu sestavení, dlouhých předmětů, používáme doplňkové formáty. Výška doplňkových formátů nesmí přesáhnout rozměr 841 mm a délka nemá být větší než 1470 mm.

### Měřítko

Měřítko, jejich velikost a zapisování na všech druzích technických výkresů se zvolí podle: účelu a obsahu výkresu, složitosti a hustoty kresby zobrazeného předmětu, požadavků čitelnosti a přesnosti kresby.

Na výkresech se uvádějí měřítko u obrazu s připsáním písmene M, např. M 1:2 nebo v popisovém poli v rubrice Měřítko bez označení písmene M, např. 1:1.

Obvyklá měřítko jsou 1:1, 1:2, 1:5, 1:10, 1:20.

### Čáry

Pro zobrazování se na výkresech používá několika druhů čar. Podle grafického provedení se rozdělují čáry na:

pravidelné – plné nebo přerušované,

nepravidelné – obvykle kreslené od ruky:

podle vzájemného poměru tlouštěk dělíme čáry na tenké a tlusté, popř. velmi tlusté.

Náčrty v sešitě musí být **názorně, pečlivě a přesně uspořádány**. Každá čára má v technickém kreslení jistý význam.

Při kreslení náčrtů se používá měkčí tužky tvrdosti č. 3 nebo B až F. Osy, pomocné, kótovací a odkazové čáry se kreslí tužkou tvrdosti č. 4 nebo H. Velmi vhodný je kreslicí papír čtverečkovaný nebo milimetrový. Náčrt, který slouží pro informaci, se nemusí kreslit v měřítku.

Postup při zobrazování modelu nebo hotové součásti

1. Součást si důkladně prohlédneme a potom rozhodneme o způsobu zobrazení.
2. Zvolíme velikost obrázků.
3. U souměrných a rotačních součástí nakreslíme napřed všechny osy.
4. Obrisy a hrany součásti nakreslíme napřed tenkými plnými čarami, a to nejdřív čáry položené souměrně k osám a pak čáry ostatní. Určením stereometrické struktury nejprve součást (model) rozložíme na jednotlivá geometrická tělesa.
5. Potom vytáhneme viditelné hrany a obrisy plnými tlustými čarami.
6. Nakreslíme potřebné pomocné a kótovací čáry, šipky, zapíšeme kóty, včetně hodnoty mezních úchylek.
7. Vyšrafujeme plochy řezu (průřezů), zapíšeme značky drsnosti, popř. údaje o úpravě povrchu.
8. Napíšeme název součásti, materiál a další poznámky – vyplníme výkresové razítko.

Postup při kreslení náčrtu páky, viz obr. 1.1

Po **zakreslení os** a určení počtu průmětů začneme s postupným zobrazováním.

**Obrisy děr** kreslíme kružidlem tenkými plnými čarami ve všech průmětech.

Po **vyznačení hlavních obrysů** dokreslíme všechny **tvárové podrobnosti**.

Pečlivě **zkontrolujeme** správnost nakreslení obrazů a potom **náčrt vytáhneme**.

Základní geometrická tělesa kótujeme tak, jako by byla samostatná. Ovšem geometrická tělesa, která navzájem bezprostředně souvisí a mají stejné rozměry, kótujeme v místě spojení jen jednou.

Odhadneme (zvolíme) drsnost povrchu ploch, popř. úpravy povrchu, a zapíšeme příslušné údaje.

Plochy řezu po správném okótování vyšrafujeme.

Popis náčrtu včetně poznámek doplníme až nakonec.

*Obrázek.1. 1 Postup při kreslení náčrtu*

### **Způsoby zobrazení**

Zobrazením nazýváme **nakreslení obrazu předmětu** (útvary) **na plochu**, obvykle na rovinu.

K zobrazení užíváme metod deskriptivní geometrie. Nejužívanější metodou k zobrazení prostorových útvarů je promítání na rovinu zvanou **průmětna**. Pomítání útvarů vzniklo abstrakcí z procesu vidění a je pro potřeby technické praxe nejjednodušším a nejvhodnějším zobrazením.

**Rovnoběžné promítání**. Je určeno **směrem promítání s** a **průmětnou  $\pi$** . Směr promítání s určuje polohu promítacích přímek, které jsou navzájem rovnoběžné.

Podle polohy směru s rovnoběžného promítání vzhledem k průmětnám rozeznáváme dva druhy rovnoběžného promítání:

**pravoúhlé promítání**, při kterém je **směr promítání k průmětně kolmý**,

**kosohlé promítání**, při kterém je **směr promítání k průmětně kosý a svírá s ní úhel  $\varphi$** .

Pro zobrazení na technických výkresech se používá **pravoúhlé promítání na několik průmětů**.

*Obrázek 1.2*

*a/ Rovnoběžné promítání (kosohlé)*

*b/ Promítací přímky u pravoúhlého promítání*

*c/ Promítací přímky u kosohlého promítání*

Často se vyžaduje takové zobrazení předmětů, z něhož je na první pohled zřejmý celkový tvar předmětu, např. pro katalogy náhradních dílů, propagační materiály, návody a montážní postupy, apod.

**Názorné obrazy** sestrojujeme obvykle těmito druhy rovnoběžného promítání:  
pravouhloú axonometrií,  
kosoúhlým promítáním.

### Pravouhlé promítání na několik průmětů

Promítání na tři až šest navzájem kolmých průmětů, které můžeme považovat za 3 až 6 stěn krychle. První průmět (vodorovná) je určena souřadnicovými osami  $x$ ,  $y$ , nazývá se **půdorysna** a označujeme ji  $^1\pi$ .

Druhá průmět je určena souřadnicovými osami  $x$ ,  $z$ , nazývá se **nárysna** a označujeme ji  $^2\pi$ .

Třetí průmět je určena souřadnicovými osami  $y$ ,  $z$ , nazývá se **bokorysna** (stranorysna) a označujeme ji  $^3\pi$ .

#### Obrázek 1.3

a/ Tři hlavní průměty, souřadnicové osy

b/ Sdružení průmětů

c/ Sdružené průměty tělesa

Tyto **tři průměty**, tvořící tzv. **promítací kout**, se nazývají **hlavní průměty**. Při promítání do hlavních průmětů umístíme zobrazované těleso do takové polohy vzhledem k průmětnám, aby jeho **podstavy, rovinné stěny, hrany, osy byly rovnoběžné nebo kolmé k průmětnám**. Taková poloha tělesa se nazývá **průčelná poloha**. Její výhodou je, že stěny a hrany rovnoběžně s některou průmětnou se do této průměty promítají nezkreslené, ve skutečném tvaru a velikosti, úměrné měřítku zobrazení. Hrany a stěny, které jsou kolmé k některé průmětně, se promítají do této průměty jako body nebo úsečky.

Průměty nakreslené na výkrese se liší od průmětů v nárysně, půdorysně a bokorysně tím, že jsou kresleny v jedné rovině. To předpokládá ztotožnit jednu z průmětů, a to nárysnu s nákresem, sklopit do nárysu kolem osy  $x$  půdorysnu a kolem osy  $z$  bokorysnu (obr. 1.3 c). **Sklopení průmětů do nárysu nazýváme sdružením průmětů** a průměty ve sdružených průmětnách nazýváme **sdružené průměty**.

Průměty geometrických útvarů, např. bodů, úseček, rovin do jednotlivých průmětů rozlišujeme v deskriptivní geometrii číselnými indexy; průměty v **půdorysně** označujeme **indexem 1**, v **nárysně indexem 2**, v **bokorysně indexem 3**. Sdružené průměty geometrických útvarů musí být v nákrese umístěny tak, aby dvojice odpovídajících průmětů bodů útvarů např.  $A_1, A_2$  ( $A_2, A_3$ ), ležely na kolmicích, tzv. ordinálách k souřadnicovým osám  $x$  ( $z$ ), viz obr. 1.4 a.

Na technických výkresech se nekreslí souřadnicové osy  $x$ ,  $y$ ,  $z$ , ani promítací přímký a ordinály a jednotlivé se neoznačují indexy, viz obr. 1.4 b.

Jednotlivé průměty tělesa nesmíte na výkresu umístit libovolně. **Půdorys** musí být umístěn **přesně pod nárysem**, **bokorys** musí být umístěn **ve stejné výši s nárysem**. Vzdálenosti mezi sdruženými průměty volíme vzhledem k umístění kót a nejvhodnějšímu vyplnění obrazové plochy výkresu.

Předmět můžeme podle potřeby promítat do jedné až šesti hlavních průmětů, viz obr. 1.4 c. Kromě již uvedeného nárysu, půdorysu a pravého bokorysu dostaneme:

**Levý bokorys** – průmět do levé bokorysny při pohledu směrem L.

**Spodní pohled** – průmět do vodorovné průměty, rovnoběžné s půdorysnou při pohledu směrem S.

**Zadní pohled** – průmět do roviny rovnoběžné s nárysnou při pohledu směrem Z.

Otáčení hlavních průmětů do nárysu je na obrázku 1.4 e. Zadní pohled musí být na výkrese označen nadpisem pohled zezadu (obr. 1.4 d).

#### Obrázek 1.4.

a/ Pravouhlé průměty tělesa do hlavních průmětů

b/ Technické zobrazení předmětu

c/ Směry promítání při zobrazení tělesa do šesti průmětů

d/ Umístění šesti sdružených průmětů

e/ Otáčení hlavních průmětů do roviny nárysu

f/ Dimetrické průměty os  $x$ ,  $y$ ,  $z$ .  
g/ Dimetrický průmět krychle

### Názorné zobrazování

Pro názorné zobrazení předmětu užíváme pravouhlé promítání na jednu průmětu (pravouhlou axonometrii) a kosoúhlé promítání.

#### Pravouhlé promítání na jednu průmětnu

V technickém kreslení používáme obvykle dvou zvláštních případů pravouhlé axonometrie, u nichž není nutné sestřiovat axonometrický trojúhelník a poměry zkrácení pro vynášení rozměrů ve směru os  $x$ ,  $y$ ,  $z$ , což usnadňuje sestavení axonometrických průmětů. Jsou to tyto axonometrie:

Technická dimetrie

Technická izometrie

Při **dimetrickém** promítání svírají osy  $x$  a  $z$  úhel  $97^{\circ} 10'$ , osy  $x$  a  $z$  svírají úhel  $131^{\circ} 20'$  – viz obr.1.4 f. Poměry zkrácení jsou pro osy  $x$  a  $z$  stejné a to  $0,943/1$ , ve směru osy  $y$  je zkrácení dvojnásobné  $0,471/1$ . Kreslení zjednodušíme, nanášíme-li ve směru os  $x$  a  $z$  rozměry nezkrácené a zkrátíme-li jejich rozměry ve směru osy  $y$  na polovinu. Takto zjednodušený dimetrický obraz je asi o 6 % zvětšený.

Nejjednodušší axonometrickým průmětem je **izometrický** průmět. V izometrickém průmětu jsou osy  $x$  a  $y$  skloněny k vodorovné přímce o úhel  $30^{\circ}$  (obr 1.5 c) a poměr zkrácení je u všech os stejný  $0,0816/1$ . Pro zjednodušení kresby nanášíme rozměry zpravidla nezkrácené. Na obrázku je v technické izometrii zobrazená krychle s kružnicemi ve stěnách.

Tělesa zobrazovaná v dimetrii a izometrii umístíme v průčelné poloze vzhledem k souřadnicovému systému, hrany nebo osy zobrazovaných těles umístíme pokud možno v osách  $x$ ,  $y$ ,  $z$  nebo na přímkách s nimi rovnoběžných (obr. 1.5 e). Podle směru promítání vzhledem k vodorovné průmětně můžeme zobrazit těleso v nadhledu (obr. 1.5 a) nebo v podhledu (obr.1.5 b).

Obrázek 1.5

a/ Dimetrický průmět tělesa (nadhled)

b/ Dimetrický průmět tělesa (podhled)

c/ Izometrický průmět os  $x$ ,  $y$ ,  $z$ ,

d/ Izometrický průmět krychle

e/ Umístění tělesa vzhledem k souřadnicovému systému

f/ Kosoúhlé průměty os  $x$ ,  $y$ ,  $z$

g/ Kosoúhlý průmět krychle

### Kosoúhlé promítání

Při kosoúhlém promítání promítáme předmět pod kosým úhlem do některé průmětny, zpravidla do nárysny. Osy  $x$  a  $y$  k svírají úhel  $\omega$  (obr.1.5 f) a poměr zkrácení rozměrů ve směru osy  $y_k$  je  $k$  (obvykle  $\omega = 135^{\circ}$ ,  $k = 0,5$ )

V běžném kosoúhlém promítání užíváme dvě různá měřítka, **dvě souřadnice zůstávají nezměněné a třetí souřadnice se redukuje** a mluvíme pak o kosoúhlé **dimetrii**. Je-li  $k = 1$ , jsou všechna měřítka **na osách stejná** a promítání se nazývá **izometrické**.

### Zobrazování geometrických těles

Složitě i jednodušší strojní součásti se obvykle skládají ze základních geometrických těles. Při určování stereometrické struktury si součást představíme **rozloženou na jednoduchá geometrická tělesa**.

Pro zobrazení základních geometrických těles vyslovíme nejprve základní pravidla. Tělesa mají být zobrazena co **nejjednodušěji a bez zbytečných čar**, které zhoršují přehlednost obrazu. Proto **obrazy neviditelných hran a obrysů těles kreslíme tenkou čárkovanou čarou a jen tehdy, je-li třeba k přesnějšímu určení tvaru tělesa, jinak je vynecháváme**.

U souměrných a pravidelných těles, rotačních součástí a vrtaných děr kreslíme **osy tenkou čerchovanou čarou**. **Osy souměrnosti** kreslíme zejména tehdy, **usnadňují-li** např. **kreslení, čtení kótování, orýsování** součástí, apod. **Osy přetahujeme přes obrysy jednotlivých průměrů**. Hlavní osy

**společně různým průmětům** téhož tělesa se mohou **přetahovat z průmětu do průmětu**. U kružnic kreslíme dvě kolmé osy.

Při některé zvláštní poloze zobrazovaného útvaru vzhledem k průmětnám nemusí být tento útvar určen jednoznačně (viz obr. 1.6). Shodný první a druhý průmět (nárys a půdorys) zde nedává jednoznačné zobrazení. Teprve z třetího průmětu (bokorys) můžeme, zda zobrazovaný útvar je krychle, rovnostranný válec, trojboký hranol či jiné těleso.

#### *Obrázek 1.6 Určení tvaru tělesa pomocí třetího průmětu (bokorysu)*

Pro zjednodušení např. u hranolu nebo kvádrů další průmět nahrazujeme připsáním třetího nezakresleného rozměru ke kótě šířky v nárysu ve tvaru součinu. Číslo udávající nakreslený rozměr je vždy na prvním místě. Pro zdůraznění rovinné boční stěny hranolů a jehlanů zobrazených jedním průmětem kreslíme v průmětu plnou tenkou čarou uhlopříčky (viz obr. 1.7)

V technickém zobrazení pravidelného čtyřbokého hranolu se nahradí půdorys připsáním značky □ před kótu podstavy v nárysu (obr.1.7 b)

Obdobně se postupuje při zobrazení jehlanu s obdélníkovou nebo čtvercovou podstavou.

U pravidelného šestibokého hranolu v průčelné poloze nahrazujeme značkou šestiúhelníku.

Rotační válec zobrazujeme jedním průmětem (nárysem), ve kterém vždy nakreslíme podélnou osu rotace. Válcový tvar vyznačíme značkou Ø zapsanou před kótu podstavy v nárysu (viz obr. 1.7 c)

Technické zobrazení dutého válce provádíme obdobně (obr.1.7 d). Značkami Ø označíme jeho vnější a vnitřní průměr.

#### *Obrázek 1.7 Zobrazení hranolu a válce*

Správné a rychlé čtení technických výkresů vyžaduje dobrou prostorovou představivost, kterou je nutné cvičit. Obrazce v následujících tabulkách překreslete do pravoúhlého promítání, nakreslete jejich nárys, půdorys a bokorys. Natrénujte si tak svou prostorovou představivost a schopnost číst výkresy.

#### *Obrázek 1.8 Zobrazení kvádrů*

### **Kreslení řezů a průřezů**

Abychom mohli u složitých, zejména u dutých součástí zobrazit neviditelné hrany a obrysy, kreslíme je v řezu nebo jako průřezy. Řez i průřez jsou pouze představy pro zobrazení a zakótování.

**Řez** je zobrazení předmětu myšleně rozříznutého v jedné nebo v několika rovinách či zakřivené ploše.

**Část ležící před myšlenou rovinou řezu se nezobrazuje**. Kreslí se pouze ty části ,co jsou v rovině řezu nebo za ní, případně pod ní (viz obr. 1.9 a, b).

**Každá řezná rovina**, která neprochází osou (rovinou) musí mít **vyznačený průběh**. Průběh řezu označujeme **tlustou čarou** vyznačující jeho začátek a konec. Případné zalomení myšlené roviny se rovněž zobrazí **tlustou čarou (obr.1.9c)**. **K počáteční a koncové tlusté čáře připojujeme totéž písmeno** velké abecedy. Začínáme písmenem A, nesmíme používat písmena I, O, R a Q.

Řez může být vodorovný, svislý, šikmý, případně zalomený.

#### *Obrázek 1.9 Zobrazení v řezu*

### **Zjednodušování a přerušování obrazů součástí**

Při kreslení složitějších součástí provádíme často zjednodušení často i **na úkor podrobností**. Na výkresech potom **vynecháváme neviditelné čáry, zkosení** nebo technologické úkopy. U souměrných rotačních součástí kreslíme jen část obrazu. U zobrazení několika stejných prvků kreslíme jen ty, které jsou nutné pro zakótování, ostatní prvky kreslíme zjednodušeně.

Snažíme se při kreslení šetřit čas a plochu papíru. Dlouhé díly **zkracujeme** přerušením (viz obr.1.10 a, b). U součástí s proměnlivým průřezem (klíny, kužele, jehlany) musíme zachovat původní sklon obrysových čar. Součást zobrazenou v řezu přerušujeme podle obr. 1.10 c. U součástí s proměnlivým průřezem, např. u klínů, jehlanů a kuželů musíme zachovat původní sklon obrysových čar (viz obr. 1.10 d). Přerušení provádíme tenkou čarou s dvojitým zalomením. Kótovací čáru nikdy nepřerušujeme.

**Na výrobní výkresy se kreslí součásti vždy v konečném stavu**, tj po všech výrobních operacích provedených před konečnou montáží.

*Obrázek 1.10 Přerušování obrazů*

### Kótování

Kótování patří k nejzodpovědnější práci při kreslení výkresů. Vyžaduje odborné a technologické znalosti. Správné kótování usnadňuje čtení výkresů, výrobu a montáž, zaručuje snadnou vyměnitelnost součástí a snižuje zmetkovitost při výrobě. Při výrobě se nesmí **žádný rozměr z výkresu odměřovat nebo počítat**, aby nevznikaly chyby.

Kóta je číselný údaj určující požadovanou velikost předmětu a jeho částí. Zapisuje se **v milimetrech** bez označení mm.

Úhly kótujeme ve stupních, minutách a vteřinách.

Kótovací čáru ohraničujeme **šipkami** nebo **úsečkami**.

**Pomocné čáry** se používají **u vnějších kót**. Kótovací i pomocné čáry se kreslí **tenkou plnou čarou**.

Pomocné čáry se prodlužují o 2 až 4 mm přes kótovací čáru. Při kótování můžeme mezi obrysovou a pomocnou čarou udělat mezeru. Vzdálenost obrysové a kótovací čáry volíme nejméně 7 mm.

**Odkazové čáry** kreslíme **plnou čarou**. Pokud odkazová čára vychází ze zobrazené plochy, začíná výraznou tečkou.

Kótu umísťujeme 1 mm nad nepřerušovanou kótovací čáru.

Kótu, která **neodpovídá** nakreslenému **rozměru** na výkrese, musíme **podtrhnout** (obr. 1.11a).

Kótovací čára nesmí být totožná s obrysovou čarou, s pomocnou čarou, odkazovou čarou nebo osou, ani nesmí být jejich pokračováním.

U několika **krátkých rozměrů** lze dvě přilehlé šipky nahradit výraznou **tečkou**.

Při kótování **hraniční úsečkou** je tato úsečka skloněna pod úhlem **45° doprava** (obr. 1.11d)

Hraniční šipky se kreslí tenkou plnou čarou.

Kóta se nesmí psát přes jakékoliv čáry obrazu, ani nesmí být těmito čarami rozdělena.

Každý rozměr kótujeme pouze jednou.

Při kótování můžeme použít soustavu kót: řetězové kótování (obr. 1.1f), kótování od jedné základny (obr. 1.11g) nebo smíšené kótování (obr. 1.11 h).

U výškového kótování se kótovací značka vyčerní (obr. 1.11 i).

Aby výkres nebyl **překótován**, zapíšeme **jeden rozměr** (ten nejméně důležitý) **do závorek** jako informativní (obr. 1.11 f).

### Obrázek 1.11 Kótování

Před rozměrem se u průměrů napíše značka  $\varnothing$ . **Malé průměry** lze kótovat na prodlouženou kótovací čáru **vně kruhu**.

**Poloměr nebo průměr** kulové plochy se označí značkou **R** nebo  $\varnothing$  a před ní se napíše slovo **KOULE**.

Při kótování **poloměrů kruhových oblouků** píšeme před číselnou hodnotu písmeno **R** (obr. 1.11 a).

Kótovací čáry **úhlů** kreslíme jako **kruhové oblouky se středem ve vrcholu úhlu**.

Sklon (rozdíl výšek/délka) kótujeme pomocí značky **úkosu**  $\sphericalangle$  (např.  $\sphericalangle$  1:20). Sklon můžeme rovněž kótovat **pomocí úhlu** nebo **v procentech**.

Při obrábění, řezání nebo stříhání vznikají na součástkách **ostré hrany** – otřepy, které je nutno odstranit. **Zkosení hran** pod úhlem 45 ° v šířce do 0,3 mm nebo zaoblení nejvýše R 0,3 mm se považuje za samozřejmé a **není třeba** jej **kótovat**. Tam, kde se toto zaoblení neprovádí (řezné nástroje) zapíšeme do poznámek **OSTRÁ HRANA**.

U **díry** kótujeme její **průměr** a **polohu jejího středu**. Není-li díra průchodná, kótujeme její hloubku.

Nejčastěji kótujeme **hloubku její válcové části bez kuželového zakončení od vrtáku**.

Je-li na výkresu **několik stejných děr**, okótujeme rozměr **jedné** z nich a doplníme jej údajem o jejich **počtu** (např. 15 x  $\varnothing$  3,2).

Součástky přibližně stejného tvaru ale různých velikostí můžeme nakreslit tzn. **tabulkovým výkresem**. Některé rozměry jsou označeny obecnými symboly a jejich velikosti jsou uvedeny v tabulce.

Při kótování výkresu je potřeba rovněž určit požadovanou **přesnost – toleranci rozměrů**. Přitom vycházíme ze **způsobu výroby** dané součásti a z **požadavků na její užití**. Ty rozměry, které jsou pro její správnou funkci kritické, musí být vyrobeny s odpovídající přesností. Pokud rozměry odměřujeme podle **řetězového** kótování (obr. 1.11f), budou se nám **nepřesnosti sčítat**. Kótování **od jedné základny** (obr. 1.11g) **nebo od jednoho bodu** (výchozím bodem je např. dolní levý roh u předního panelu elektrotechnického přístroje) je většinou výhodnější.

## **2. Tvorba elektrotechnické dokumentace**

Elektrotechnická schémata jsou základním podkladem dokumentace elektrotechnického výrobku. Pomocí normalizovaných značek se na nich znázorňují elektrické obvody a jejich vzájemné propojení. Podle účelu je dělíme na:

- 1/ Schémata určená pro celkovou informaci o zařízení
- 2/ Schémata určená pro podrobné objasnění činnosti, jeho výrobu, oživení a opravy
- 3/ Schémata zobrazující rozmístění zařízení a jeho elektrických spojů.

Elektrotechnická dokumentace kromě schémat obsahuje: výkresy desek s plošnými spoji (dále DPS), výkresy rozložení součástek na desce s plošnými spoji („pokládačka“), rozpis součástek, vrtací předpis pro DPS, výkresy mechanických dílů, osazovací předpis pro DPS, montážní předpis, výkresy mechanických sestav, nastavovací předpis, naměřené hodnoty včetně tolerancí (udávané tabulkou nebo grafem), návod pro servisní činnost.

### **Kreslení schémat**

Schémat se kreslí na normalizované formáty výkresů, viz výše. Je-li to možné, snažíme se používat formát A4. Je potom jednodušší tisk, manipulace s výkresem i archivování. Znamená to ale často **rozdělit jeden funkční celek do několika výkresů** při zachování **přehlednosti a srozumitelnosti**. Každý výkres musí mít v pravém dolním rohu **popisové pole**, které se umísťuje ve všech formátech 5 mm od dolního okraje výkresu.

Pro snazší a rychlejší dorozumívání např. při telefonických rozhovorech nebo v korespondenci se doporučuje rozdělit nákretnou plochu na **orientační pole**, jejichž poloha se označí v krajích výkresu. Vodorovná pole se označují písmeny velké abecedy, svislá pole čísly. Plocha celého výkresu se tak rozdělí na **sít' malých čtverců**.

Tloušťku čar volíme za účelem dosažení maximální srozumitelnosti. U většiny elektrotechnických schémat vystačíme s jednou přiměřeně tenkou čarou. Je třeba myslet na to, aby při případném zmenšení výkresu nebyla potom čára příliš tenká. Tlustší čáry používáme například pro kreslení sběrnic (viz dále), silových spojů (v silnoproudé technice), signálových spojů vedených mikropáskovým vedením (ve vysokofrekvenční technice).

Při **jednopolovém** kreslení znázorňujeme několik vodičů jedinou čarou a několik funkčních částí jedinou značkou (počet musí být vyznačen). Takto se kreslí obvody se stejnou elektrickou funkcí nebo obvody vedené stejnou cestou. Používá se hlavně v silnoproudé technice, kde se elektrické zapojení často kreslí do stavebních výkresů.

#### *Obrázek 2.1*

*a/ Skutečné zapojení světla, spínače a elektroinstalační krabičky*

*b/ Propojení světla, vypínače a elektroinstalační krabičky zakreslené jednopolově*

*c/ Propojení světla, vypínače a elektroinstalační krabičky zakreslené vícepolově*

*d/ Příklad zapsání trojfázové soustavy 50 Hz, 6 kV a vypínacím výkonem 200 MV.A a měděnými vodiči o průměru 16 mm*

*e/ Příklad zapsání trojfázové soustavy s nulovým vodičem, 50 Hz, 380 V se jmenovitým proudem přípojnic 400 A a souměrným zkratovým proudem 30 kA a s fázovými vodiči z hliníkových pásů 50 x 10 mm a nulovacím vodičem z hliníkového pásu 40 x 5 mm*

Na níže uvedeném obrázku je pohled na instalaci elektrického osvětlení, které se skládá z rozvodné krabice, vypínače a svítidla. Vidíme, jak podrobné (vícepólově kreslené) schéma můžeme zjednodušit jednopólově kresleným schématem.

### Obrázek 2.2

a/ Připojení motoru k třífázové síti zakreslené jednopólově

b/ Instalační plán místnosti kreslený jednopólovým způsobem

c/ Schéma měřicího generátoru kreslené jednopólovým způsobem (GF01, GF02 - oscilátory, UM – modulátor, ZF – pásmový filtr, AA – zesilovač, TC – transformátor, PH – měřič úrovně, RP – dělič)

d/ Schéma připojení motoru k třífázové síti přes pojistku a vypínač zakreslené vícepólově

**Schématické značky** jsou symboly, které **znázorňují elektrické vlastnosti součástek**. Nedávají přehled o mechanických rozměrech, konstrukčním uspořádání, a zapojení vývodů. Jedna schématická značka proto stačí pro všechny konstrukční části bez ohledu na typ, napětí, výkon, provedení. Některé značky zobrazují mechanický tvar součástky (např. reproduktor, telefonní přístroj, sluchátko), jiné znázorňují elektrickou činnost nebo fyzikální podstatu dané součástky (mikrofon, tranzistor, kondenzátor, transformátor).

**Blokové značky** znázorňují elektrotechnickou část, jednotku nebo soubor. Nejčastěji se zobrazují čtvercovými nebo obdélníkovými políčky, do kterých se slovy nebo značkou vpisuje charakteristická vlastnost zobrazované části.

Velikost elektrotechnických značek nemá vliv na jejich význam. Poměr délek a úhlů předepisují normy. Ty předepisují používání elektrotechnických značek, tloušťku čar, atd.

Před rokem 1989 bylo ve všech podnicích povinné dodržování státních i oborových **norem**.

S rozvojem soukromého podnikání, globalizací výroby a s rozvojem výpočetní techniky význam těchto norem poklesl. Zahraniční firmy často používají jiné schématické značky. Například v USA a Japonsku schématická značka rezistoru připomíná pružinu. Při kreslení schémat používáme téměř vždy PC. Schématické značky obvykle nevytváříme, ale vybíráme z knihovny. Vlastní značky vytváříme pouze výjimečně. Způsob kreslení schémat je v kompetenci soukromých firem a podléhá určitým firemním zvyklostem. (Setkal jsem se např. s označováním integrovaných obvodů písmenem D a tranzistorů a diod písmenem V). Nastupující zaměstnanci si musí tyto firemní zvyky osvojit. Jednotlivá schémata, návrhy plošných spojů i další dokumentace musí být uvnitř firmy vzájemně kompatibilní. I na starších výkresech se občas dělají úpravy. Jakákoliv změna software přináší potom problémy.

Proto v této publikaci neuvádím podrobný přehled všech schématických značek a čísla norem.

Pokud nemáme pro kreslení schémat zvláštní software, můžeme si tyto značky vytvořit v libovolném kreslícím programu. Pomocí jejich kopírování a propojení čarami můžeme vytvořit námi požadované schéma. Pokud by dělalo problém nakreslit cívku, můžeme vinutí nahradit tlustou čarou.

Schéma složitějšího přístroje se obvykle skládá z blokového schématu a schémat jednotlivých funkčních celků, která by měla odpovídat jednotlivým DPS. Blokované schéma obvykle zobrazuje vzájemné propojení jednotlivých DPS.

Každé schéma by mělo být maximálně **přehledné** a **zároveň** by mělo **rovnoměrně využít celou plochu výkresu**. Oba požadavky se někdy současně plní obtížně. U schémat publikovaných v knížkách a časopisech je potřeba více šetřit místem. Schéma má mít tvar obdélníku. Také u výrobní a servisní dokumentace není praktické, aby schéma bylo zbytečně velké.

Kreslení schémat podléhá určitým **zvyklostem**, které doporučují dodržovat. **Vstupy** jsou obvykle **vlevo, výstupy vpravo. Signál prochází zleva doprava**, tak jako čteme. **Ve spodní části** je **zem** nebo záporné napájení. **Nahore** je **kladné napájení**. U napájecích zdrojů je vlevo síť, vpravo výstupy (obr.2.3 a)

Kreslení schématu začínáme výběrem vhodných součástek z knihovny. Součástky vybíráme už s ohledem na jejich velikost (např. rozteč vývodů u rezistorů a kondenzátorů), která je důležitá pro návrh plošného spoje. Ta se ve schématu označuje číslem (např. R75 – 7,5 mm, C25 – 2,5 mm).

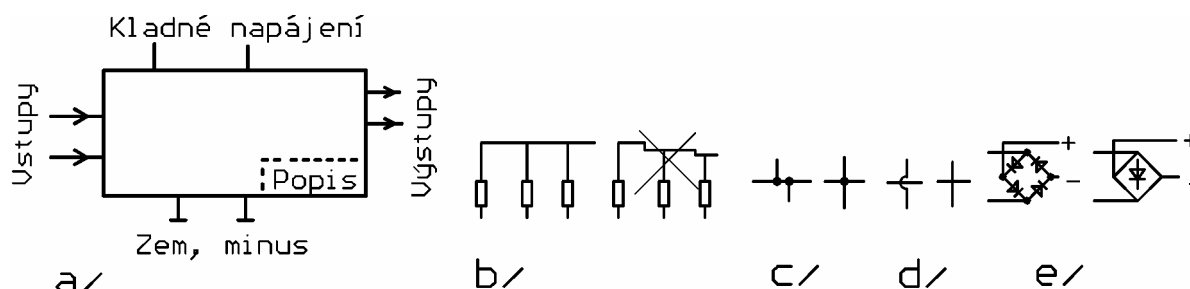


Netypické součástky, které nejsou v knihovnách (nové typy integrovaných obvodů, přepínače, apod.), si musíme při jejich prvním použití nakreslit (vytvořit schématickou značku, popsat vývody, nakreslit tvar pouzdra, vytvořit vývody nebo kontaktní plošky).

**Součástky rozmístíme na výkrese tak, aby spojovací čáry byly co možná nejkratší a aby se zbytečně nekřížily.** Spojovací čáry kreslíme **vodorovné** nebo **svislé**, šikmé pouze výjimečně (např. můstkový usměrňovač – obr.2.3e).

Součástky umísťujeme tak, aby propojovací čáry **nemusely být zbytečně lomeny** (viz obr 2.3 b).

**Křížení vodičů** bývá častým zdrojem chyb. Pokud jsou vodiče spolu spojeni, kreslíme v místě jejich spojení plné kolečko. Uzel, kde se stýkají 4 vodiče, může být snadno zaměněn s křížícími se vodiči, které nejsou spolu spojeny (obr.2.3c). Doporučuji raději používat uzly, kde se stýkají pouze 3 vodiče. Při ručním kreslení vodičů, které se kříží a nejsou spolu spojeny, doporučuji pro jistotu křížení vodičů provést pomocí malého půlkruhu (2.3 d).



Obrázek 2.3

a/ Zvyklosti kreslení schémat

b/ Vhodné a nevhodné rozmístění součástek

c/ Křížení vodičů, které jsou spojeny

d/ Křížení vodičů, které nejsou spojeny

e/ Příklad zjednodušování schémat – můstkový usměrňovač

Součástky **číslujeme** ( $R_1, R_2, R_3$ , atd.). Přitom postupujeme **podle určitého systému**, např. zleva doprava. Snažíme se, aby bylo i ve složitějším schématu jednotlivé součástky **snadné najít**. Pokud schéma později upravujeme a přidáváme další součástky, nelze tento požadavek již snadno dodržet (museli bychom celé schéma přečíslovat). Toto číslování provádí počítač obvykle sám, nebo je provádíme pomocí příkazu NAME. Program pro kreslení schémat zároveň hlídá, aby ve schématu (a také na plošném spoji) **nebyly dvě součástky stejně označeny**. (Všechny příkazy a názvy vrstev jsou převzaty z programu EAGLE, v jiných programech budou pravděpodobně stejné nebo velmi podobné).

Některý software umožňuje i **automatickou kontrolu schématu**. Kontroluje se, jestli spolu nejsou přímo spojeny dva různé výstupy, jestli není výstup zkratován na zem nebo na napájecí napětí.

U složitějších schémat se snažíme vytvořit si pro **číslování součástek určitý systém**. Např. u stereofonního zesilovače číslujeme ekvivalentní součástky druhého kanálu vždy indexem o 50 nebo 100 vyšším (rezistoru  $R_1$  v levém kanálu odpovídá v pravém kanálu rezistor  $R_{51}$  nebo  $R_{101}$ ). Obdobně doporučuji postupovat u všech zařízeních, která obsahují několik stejných funkčních bloků (např. mixážní pult). Pokud jedno schéma obsahuje **několik autonomních funkčních celků**, můžeme je **pomocí vhodného číslování součástek rozlišit** a schéma zpřehlednit.

Součástí schématu je označení hodnot součástek (příkaz VALUE). Není povinné, aby ve schématu byly hodnoty součástek uvedeny, ale je to praktičtější. Schéma sice trochu ztrácí přehlednost, ale zase odpadá neustálé vyhledávání hodnot součástek v rozpisce. Hodnoty součástek (rezistorů a kondenzátorů) píšeme do těsné blízkosti schématických značek, aby nemohlo dojít k záměně. Hodnoty součástek píšeme tak, aby byly co možná nejkratší. Většinu hodnot součástek jsme schopni vyjádřit pomocí tří znaků. Např.  $j22 = R22 = 0,22 \Omega$ ,  $6j8 = 6R8 = 6,8 \Omega$ ,  $4k7 = 4,7 k\Omega$ ,  $M15 = 150 k\Omega$ ,  $2M7 = 2,7 M\Omega$ ,  $100 = 100 pF$ ,  $3n3 = 3,3 nF$ ,  $M22 = 220 nF$ ,  $10M = 10 u = 10 \mu F$ . Nemáme-li k dispozici písmeno  $\mu$ , použijeme písmeno  $u$ . Vyhybáme se desetinné čárce, kterou je možné snadno přehlédnout, podobně jako na součástkách.

Hodnoty součástek, které osazujeme až při oživení a jejichž hodnoty se mohou měnit, do schématu nemusíme uvádět.

Ve schématech většinou používáme pouze vodorovné a svislé propojovací čáry. Schématické značky součástek jsou umístěny vodorovně nebo svisle. Šikmé umístění schématických značek a propojovacích vodičů (vždy pod úhlem 45°) se používá méně často, pokud to zpřehlední schéma a odpovídá ustáleným zvyklostem (můstkový usměrňovač, měřicí můstky, maticové zapojení diod).

### Zjednodušování schémat

Ve schématu **nemusíme rozkreslit vzájemné propojení všech součástek, pokud by to snížilo přehlednost a srozumitelnost** schématu. K tomu využíváme následující postupy.

1/ Funkční celky, které se ve schématu **vícekrát opakují** (stereofonní, zesilovač, mixážní pult, zapojení sedmissegmentových zobrazovacích jednotek, spínacích obvodů, LED, apod) **nakreslíme pouze jednou podrobně. Ostatní obvody** nakreslíme pouze **blokově**, vyznačíme u nich vstup, výstup a napájení.

2/ Nekreslíme všechny spoje. Téměř u všech schémat, která obsahují více než 1 integrovaný obvod, kreslíme **zemní (společný) vodič schématickou značkou** pro zem. Přehlednost schématu se tím výrazně zvýší. Z estetických důvodů doporučuji, aby dle možností byly tyto značky v jedné rovině. Pokud je schéma složitější, je vhodnější **nerozkreslovat napájecí napětí**, ale samostatně nakreslit zdroje. Napájení jednotlivých součástek, nejčastěji integrovaných obvodů zakončíme bodem (kolečkem) a popíšeme (např. +5 V). Napájení často obsahuje velký počet blokovacích kondenzátorů (obvykle 100 nF). Pro snadnější orientaci umístíme ve schématu tyto kondenzátory do blízkosti příslušných integrovaných obvodů, na plošném spoji je tomu také tak.

Pokud ani tato opatření nestačí, nakreslíme stejným způsobem některé pomocné signály, které jsou rozvedeny k většímu počtu integrovaných obvodů (např. CLOCK, RESET).

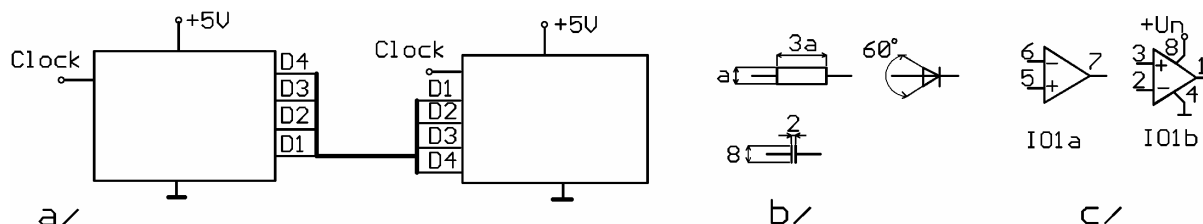
**Větší skupiny propojovacích vodičů** (od 3 výše, např. datové, adresové nebo řídicí signály) se vyplatí **kreslit jako sběrnici**. Přitom se snažíme cestu hlavního signálu zbytečně nepřerušovat (viz obr 2.4 a)

3/ Popis a hodnoty součástek, které se **vícekrát blízko sebe opakují**, sloučíme. Týká se to např. předřadných rezistorů před LED a před zobrazovací jednotkou, rezistory u sběrnic s otevřeným kolektorem. Ve schématu například napíšeme:  $R_1 - R_7 \quad 7 \times 2k7$ .

Pro snadnější oživování a servis můžeme přímo do schémat **napsat hodnoty napětí v měřicích bodech**, případně orientačně **nakreslit průběh napětí** (sinusový, obdélníkový, pilovitý, derivační impulsy, apod). Měřicí body ve schématu musí přesně odpovídat měřicím bodům na výkresu plošného spoje a na osazovacím plánu. Pokud se jedná o složitější průběhy (sejmuté z obrazovky osciloskopu) nebo pokud je nutné u hodnot napětí napsat i tolerance, uvedeme tyto údaje v příloze schématu.

**U vícenásobných součástek** (dvou a čtyřnásobné operační zesilovače, hradla NAND, apod.) se snažíme již při kreslení schématu myslet na optimální návrh plošného spoje. Příslušné vícenásobné prvky rozmístíme tak, aby **spoje byly co nejkratší**. Pokud se nám to při kreslení schématu nepodaří, musíme při návrhu plošného spoje schéma upravit. Některé programy mají pro záměnu vývodů vícenásobných součástek zvláštní příkazy.

U schématické značky operačního zesilovače můžeme dle potřeby zaměnit vzájemnou polohu invertujícího a neinvertujícího vstupu.



Obrázek 2.4

a/ Kreslení sběrnic, zjednodušování schémat

- b/ Schématické značky rezistoru, kondenzátoru a diody  
c/ Kreslení operačních zesilovačů – vícenásobné součástky

Kvalitně nakreslené schéma je dobrou vizitkou každého výrobce a výrazně usnadňuje servisní činnost. Nestací, aby bylo jenom správné a úplné, což je samozřejmostí. Dodržení výše uvedených zásad je známkou kvality. Schéma by měl kreslit ten, kdo obvod navrhl a kdo jeho činnosti dobře rozumí. Pokud tuto činnost vykonávají méně kvalifikovaní pracovníci, kteří činnost obvodu neznají, výsledky jsou obvykle horší.

## Rozpis součástek.

V seznamu součástek musí být uvedeny **hodnoty všech součástek uvedených ve schématu** včetně všech specifikací, aby bylo možné **součástky pro výrobu správně připravit**. To znamená uvést **typ** součástky (z něj je možné v katalogu najít další údaje).

U amatérských konstrukcí (pokud se nejedná o kritické součástky) stačí uvést pouze nejdůležitější parametry. U rezistorů je to ztrátový výkon, u kondenzátorů průrazné napětí. Některé součástky stačí popsat jenom přibližně, např. LED bez udání typu.

Kromě základního tvaru rozpisu, kde jsou součástky popsány podle pořadí ( $R_1, R_2, \dots, C_1, C_2, \dots, D_1, D_2, \dots, T_1, T_2, \dots, IO_1, IO_2$ ) je pro nákup součástek a přípravu výroby potřeba i rozpis v sumárním tvaru (BOM – Bild of Material). Zde jsou součástky seřazeny podle hodnot od nejmenších až po největší a podle typů. Např.

47 $\Omega$	$R_5, R_8, R_{12}$
82 $\Omega$	$R_2, R_9$
.	
1 nF	$C_5, C_7$
100 nF	$C_1, C_2, C_3, C_6$
1N4007	$D_1, D_2, D_3, D_4$

Rozpis v sumárním tvaru nám slouží nejen pro nákup materiálu ale i pro přípravu osazovacího automatu k osazování SMD součástek.

Kvalitní program pro kreslení elektrotechnických schémat umí oba typy rozpisů **automaticky vygenerovat**. Zvláště u složitějších schémat to přináší značnou úsporu práce a zabraňuje zbytečným chybám. Pokud tuto činnost dělá člověk, je vždy nutná pečlivá kontrola.

## Návrh plošného spoje

Před touto činností je vhodné mít nakreslené **schéma zapojení**. Z něj potom **vygenerujeme** (příkaz BOARD) podklad pro **návrh plošného spoje**. Na desce budou všechny součástky v tom provedení, které jsme použili ve schématu. Proto je vhodné již při kreslení schématu vědět, jaká bude velikost součástek, rozteč jejich vývodů, jestli se bude jednat o klasické nebo SMD součástky. Případné pozdější úpravy velikosti součástek jsou při návrhu plošného spoje možné. (Pouze u těch nejdokonalějších programů se **zpětně promítnou do schématu**. Většinou je nutné případné úpravy schématu nutné udělat ručně.

Na začátku jsou součástky na desce propojeny dle propojení ve schématu, tzn. **vzdušnými spoji**. (Pokud kreslíme schéma a plošný spoj v různých programech, je někdy možné velikosti součástek a jejich propojení přenést pomocí netlistu.)

Pokud nemáme na začátku návrhu vzdušné spoje k dispozici, můžeme si je vytvořit příkazem SIGNAL. **Vzdušné spoje nám pomáhají správně rozmístit součástky**. Zvláště u složitějších desek nám pomáhají se orientovat, chrání nás před chybami a zajišťují správné propojení.

U jednodušších návrhů se bez nich můžeme obejít, musíme ale více času věnovat kontrole spojů. Pokud nemáme schéma dopředu nakreslené, součástky vybereme z **knihovny**.

Při návrhu plošného spoje nejdříve musíme **zvolit vhodné rozměry desky** (dle místa, které máme k dispozici) a správně rozmístit součástky. První **rozmístíme součástky**, které mají **návaznost na mechanické uspořádání** (potenciometry, přepínače). Pro rozmístění součástek uplatňujeme dle

potřeby i další kritéria – **minimální vzájemné rušení**, co **nejkratší cesty pro velké proudy**, **minimální vzájemné tepelné ovlivňování**.

Ostatní součástky rozmístíme **rovnoměrně po desce** tak, aby **spoje** byly **co možná nejkratší**. Snažíme se dodržovat určitá estetická hlediska, pokud to zbytečně neprodlužuje délku spojů.

Součástky (zejména integrované obvody) by měly ležet v řadách, měly by pro snadnější kontrolu být stejně orientovány.

Klasické **rezistory, kondenzátory a diody orientujeme vždy stejným směrem**, ušetří se tím místo. U začátečníků rozložení součástek často kopíruje rozložení součástek ve schématu. Z hlediska využití místa to ale není ideální postup.

**Součástky** umístíme **vodorovně nebo kolmo**, šikmé umístění používáme výjimečně. U SMD součástek jej osazovací automat často neumí použít.

Dále doporučuji **určit si minimální šířku spoje a minimální vzdálenost mezi spoji**. Podle těchto parametrů se desky dělí do **konstrukčních tříd**. Desky s tenkými spoji blízko u sebe patří do vyšších konstrukčních tříd a jejich výroba je výrazně dražší. Vyrůstá riziko výrobních vad – přerušovaný spoj, zkratované sousední spoje. Výrobu takové desky je nutné svěřit firmě, která má dobré vybavení, ale která si účtuje vyšší ceny. DPS navrhované ve vyšších konstrukčních třídách se obvykle vyrábějí s příplatkem. O zařazení výrobku do určité konstrukční třídy rozhoduje jeho nejkritičtější rozměr (nejmenší mezera mezi spoji)

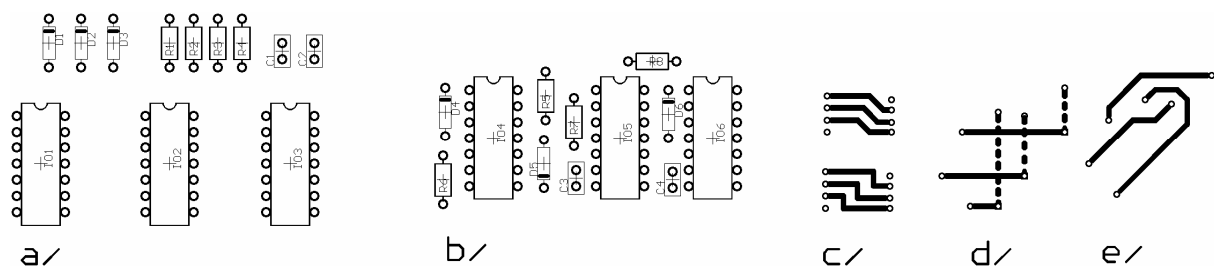
Standartně se používá šířka spoje 0,5 mm a vzdálenost mezi spoji minimálně 0,3 mm. Pro amatérské konstrukce doporučuji používat, kde to je možné, šířku spoje 0,8 mm, pouze pro delší spoje použít tloušťku 0,5 mm. Vzdálenost mezi spoji volit co možná největší, velikost pájecích bodů u vývodových součástek rovněž (1,7 až 1,9 mm, profesionálně se používá 1,3 mm).

Je potřeba se rovněž rozhodnout, zda spoj bude **jednovrstvý nebo dvouvrstvý**. Jednovrstvý spoj je 2 až 4 krát levnější než dvouvrstvý. Při větší složitosti zapojení neumožňuje dostatečnou hustotu součástek, deska je zbytečně velká a vyrůstá počet drátových propojek. Pro dosažení maximální hustoty součástek a tím i minimálních rozměrů přístroje (součástky jsou potom osazeny z obou stran) jsou potřeba 4 až 6 vrstvé desky – např. u mobilních telefonů. Jejich výroba je velmi nákladná. Návrh plošného spoje se provádí buď ručně nebo pomocí vhodného programu – **autorouteru**. Naučit se s autorouterem pracovat není snadné. Výsledky jeho práce navíc většinou nejsou příliš kvalitní. Pokud se používá, pak většinou jako podpůrný prostředek pro předběžný návrh. Ke kvalitnímu dokončení návrhu je vždy potřeba lidská inteligence a zkušenost.

Plošné spoje kreslíme nejen **vzájemně kolmé**, ale také **pod úhlem 45 °**. Tím se ušetří hodně místa. Některé kvalitní programy podporují i kreslení **zaoblených spojů**, které využívají prostor na desce ještě úsporněji. Zalomené spoje tak mohou být blíže sobě aniž by snižovala jejich vzájemná vzdálenost.

Výkres plošných spojů provádíme vždy v určitém **rastru**. **Základní rast je desetina palce, tj. 2,54 mm** – rozteč sousedních vývodů klasických integrovaných obvodů. Poloviční rastr 1,27 mm je rozteč vývodů většiny integrovaných obvodů v provedení SMD. Pro kreslení plošných spojů v profesionální kvalitě je nejvhodnější rastr 0,3175 mm, který je osminou základního rastru. Umožňuje kreslení s dostatečně jemným rozlišením. Příliš jemný rastr by působil problémy např. s dodržováním stejných vzdáleností mezi jednotlivými spoji.

**Zemní spoje** kreslíme až **na konec**, protože působí jako **stínění**, omezují vyzařování a příjem rušivých signálů (zajišťují elektromagnetickou kompatibilitu). Snažíme se jimi **vyplnit** všechna zbylá **volná místa** na desce. Toto většinou umí program zajistit automaticky (příkaz POLYGON), kdy vytvoří tzn. **rozlitou zem**.



Obrázek 2.5:

a/ ne příliš vhodné rozmístění klasických součástek

b/ správné rozmístění klasických součástek

c/ zalomené spoje

d/ příklad dvoustranného spoje – vodorovné spoje po spodní straně, svislé po horní straně

e/ spoj z obr2.5.d na jednostranné desce

Při návrhu **jednovrstvého** plošného spoje **začínáme nejkratšími spoji** mezi nožičkami jednotlivých integrovaných obvodů a k součástkám, které jsou k nim připojeny. **Postupně kreslíme stále delší spoje, které se těm kratším musí vyhýbat.** Součástky, které jsou zapojeny mezi jednotlivé integrované obvody, přemísťujeme tak, aby pod nimi mohly vést plošné spoje.

Tam, kde se spoje musí křížit, použijeme **drátové propojky**, případně rezistory s nulovou hodnotou. Drátové propojky navrhujeme **co možná nejkratší a hlavně rovné.** Jejich případné ohýbání by nemuselo vypadat esteticky. Při jejich návrhu je třeba si uvědomit, že výrazně ovlivňují vzhled výrobku. Doporučuji nepoužívat drátové propojky u zemního vodiče, ale spíše u napájení a u signálových vodičů.

Při návrhu **dvouvrstvého** spoje můžeme použít také výše uvedenou strategii. Jako výchozí vrstvu použijeme u klasických součástek spodní vrstvu (BOTTOM, značí se modře), u SMD součástek horní vrstvu (TOP, značí se červeně). Spoje, které bychom museli vést drátovými propojkami, vedeme přes prokovené otvory druhou stranou desky. U složitějších desek ale zjišťujeme, že ani druhá strana spoje nestačí. Spoje musíme potom dále upravovat a přemísťovat z jedné vrstvy do druhé.

Při nejčastěji používané strategii vedeme **vodorovné spoje spodní vrstvou a svislé spoje horní vrstvou** (nebo naopak). Tato metoda vede vždy k cíli, každé dva body na desce můžeme takto spojit. Mechanická aplikace tohoto postupu, jak ji provádí autorouter, vede k nárůstu počtu prokovených otvorů. Zapojení je potom méně přehledné, vzrůstá počet děr, které je třeba odvrtnat, prokovené otvory mohou být zdrojem poruch.

**Optimální návrhová strategie je kombinací obou výše uvedených postupů. Krátké spoje vedeme po jedné straně desky, delší spoje dle potřeby přecházejí z jedné strany desky na druhou.**

Další návrhové strategie:

**Signálové spoje vést spodní stranou, napájení horní.** Používala se u desek osazených klasickými integrovanými obvody, výhodou byl jednodušší a přehlednější návrh.

**Spodní strana je z větší částí tvořena zemí,** výjimečně krátkými signálovými spoji. Používá se **ve vysokofrekvenčních obvodech.** Většina součástek bývá v provedení SMD. Většina signálových spojů se vede po horní straně (mikropáskové vedení). Součástky se zemní pomocí prokovených otvorů, které musí být v jejich těsné blízkosti.

Při kvalitním návrhu má být výtěžnost desky (plocha, kterou pokrývají součástky) minimálně 60 až 70 %. K tomu je zapotřebí správně rozmístit součástky. U dvouvrstvých desek je sice vyšší výrobní jednotková cena, ale na druhou stranu lze desku lépe využít, zmenšit její rozměry a tím i rozměry celého přístroje. U amatérských konstrukcí nedoporučuji za každou cenu šetřit místem, osazování a oživování je potom obtížnější.

Kvalitní program pro návrh plošných spojů je schopen i při ručním návrhu **automaticky kontrolovat:**  
Jestli spolu nejsou spojeny různé signálové spoje

Jestli není nějaký výstup připojen na zem nebo na napájecí napětí

Jestli není vzdálenost spojů menší než minimální vzdálenost, která byla předem zadaná.

Vidíme, že dobrý program dokáže včas nalézt některé triviální chyby, na které bychom pravděpodobně přišli až ve fázi oživování.

Z navrženého plošného spoje generujeme pro výrobu následující výstupy:

1/ **Výkres plošného spoje** (vrstva Bottom a Top). Pokud podle něj vyrábíme předlohu (film), musíme jej tisknout na kvalitní tiskárně, v měřítku 1:1 nebo zvětšeně 2:1. Někdy výstupní soubor pro výrobu předlohy generujeme v digitálním tvaru.

2/ **Výkres rozložení součástek** („pokládačka“) –vrstvy tPlace a bPlace (pokud jsou součástky z obou stran). Je potřeba zajistit, aby **popis všech součástek byl čitelný.** Někdy je nutné popis součástky

uvolnit od součástky (příkaz SMASH) a přemístit o kus dál. Hodnoty součástek (vrstva VALUE) se v tomto výkrese většinou nezobrazují. Je možné sem pro větší názornost nakreslit i další součástky, které nejsou součástí desky, a propojovací vodiče.

Podle tohoto výkresu se provádí osazování desek. Jeho součástí musí být **popis všech netypických výrobních operací**. To znamená uvést součástky, které je potřeba pájet ručně, které se osazují až při ožívování, které se pájejí výše nad desku. Součástí tohoto výkresu jsou i nákresy součástek, jejichž vývody se ohýbají a poznámky k osazování (např. pájet po přišroubování, apod.)

Poloha součástek se generuje v souboru **partlist** pro osazovací automat.

3/ Výstupní soubor pro vytvoření nepájivé masky (vrstva tStop a bStop). Generuje se nejčastěji v digitálním tvaru.

4/ Výstupní soubor pro vytvoření síta (vrstva tCream a bCream). Generuje se nejčastěji v digitálním tvaru.

5/ Vrtací předpis (vrstva Vias). Generuje se nejčastěji v digitálním tvaru pro souřadnicovou vrtačku.

6/ Výkresy pro mechanické zpracování plošného spoje – drážkování, frézování výřezů.

Návrh plošných spojů bez PC lze doporučit jen u velmi jednoduchých zapojení a jednovrstvých plošných spojů. Postup je podobný tomu, co bylo uvedeno výše. Součástky nejprve nakreslíme na čtverečkovaný papír v měřítku 1:1 nebo zvětšeně v měřítku 2:1. Čtverečkovaný papír nám pomůže dodržet rozteče vývodů součástek a rastr.

Potom kreslíme propojení součástek, nejprve krátké, potom delší. Vše kreslíme nejprve slabě tužkou, abychom mohli snadno dělat opravy.

Dvouvrstvé spoje se dříve kreslily do výkresu dvěma barvami (modrou spodní strana, červenou horní strana).

Z návrhu plošného spoje lze snadno odvodit výkresy navazujících mechanických dílů. Týká se to hlavně případů, kdy nad DPS je umístěn přední panel. Součástky, které jím procházejí (LED, potenciometry, přepínače), jsou zároveň zapájené do desky. K výkresu mechanických dílů a popisu předního panelu můžeme využít volné vrstvy programu, ve kterém plošný spoj navrhujeme. Nebo můžeme výkres rozložení součástek převést do AUTOCADu a v něm dokreslit mechanické díly.

Součástí výrobní dokumentace elektrotechnického výrobku je také **montážní předpis** mechanických dílů (výkresy mechanických sestav) a nastavovací předpis. V něm musí být důkladně popsán postup kontroly zapájené desky (cyklování) a postup nastavení. Musí v něm být uvedeno schéma zapojení při ožívování, použité přístroje, správné naměřené hodnoty a jejich tolerance.

Každý výrobek v průběhu výroby podléhá drobným změnám (změna součástkové základny, opravy chyb, drobná vylepšení). **Výrobní dokumentace** musí být **průběžně aktualizovaná**. Přitom je potřeba zajistit, aby se vyrábělo podle aktuální verze. Firemní předpisy musí určit:

1/ Kolik je aktualizovaných kopií výrobních podkladů a kde jsou uloženy.

2/ Kdo schvaluje změny a kdo zodpovídá za jejich provedení ve všech exemplářích výrobní dokumentace.

Starší verze výrobní dokumentace musí být buď zničeny nebo zřetelně označeny.

Tato opatření jsou předmětem kontroly, pokud podnik pracuje podle systému ISO 9000.

Veškerá dokumentace musí být značena přehledně, aby se předešlo záměně jednotlivých výrobních podkladů, např. mezi upravenou a původní verzí téhož výrobku. Jednotlivé výrobky jsou obvykle pojmenovány (např. přijímač, vysílač, zdroj, koncový stupeň), jejich jednotlivé verze jsou číslovány.