

# Vážení zákazníci,

dovolujeme si Vás upozornit, že na tuto ukázkou knihy se vztahují autorská práva, tzv. copyright.

To znamená, že ukáзка má sloužit výhradně pro osobní potřebu potenciálního kupujícího (aby čtenář viděl, jakým způsobem je titul zpracován a mohl se také podle tohoto, jako jednoho z parametrů, rozhodnout, zda titul koupí či ne).

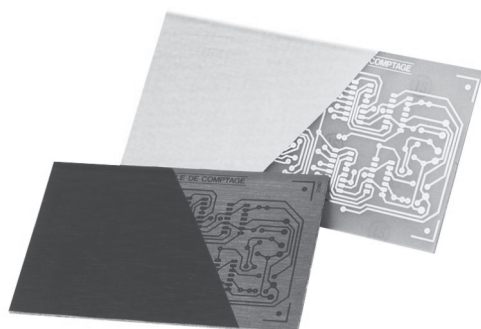
Z toho vyplývá, že není dovoleno tuto ukázkou jakýmkoliv způsobem dále šířit, veřejně či neveřejně např. umístováním na datová média, na jiné internetové stránky (ani prostřednictvím odkazů) apod.

*redakce nakladatelství BEN – technická literatura*  
[redakce@ben.cz](mailto:redakce@ben.cz)





# **VLASTNOSTI PLOŠNÝCH SPOJŮ**



## Desky plošných spojů

Desky plošných spojů pro osazení součástkami s fotocitlivou vrstvou tloušťky pouhých 5 $\mu$ m.

[www.abetec.cz](http://www.abetec.cz)

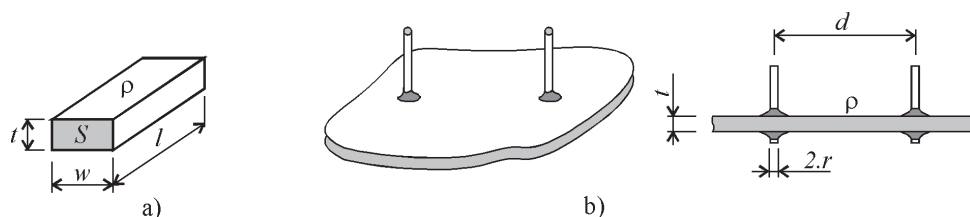
V této kapitole budou uvedeny některé důležité vlastnosti plošných spojů, potřebné pro správný návrh layoutu. Jedná se především o odpor, kapacitu, indukčnost a impedanci různých geometrických konfigurací vodičů a plošných spojů. Znalosti těchto vlastností jsou vstupní podmínkou pro úvahy o některých parazitních jevech na deskách plošných spojů a jejich eliminaci při návrhu (zpoždění průchodu signálu, odrazy na vedení, přeslechy...). Veškeré vztahy uvedené v následujících kapitolách jsou čerpány z literatury [5], [6], [7], [8]. Vztahy jsou ve většině případů zjednodušené, což pro potřeby tohoto textu postačuje, neboť cílem je ukázat, na jakých parametrech tyto vlastnosti závisí a ne vypočítat jejich přesnou hodnotu. Přesné výpočty přenechejme počítačovým simulačním programům.

## 4.1 Odpor

Pro odpor vodiče platí základní vztah:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S} = \rho \cdot \frac{l}{t \cdot w} \quad [\Omega] \quad (4.1)$$

kdě  $\rho$  je měrný elektrický odpor [ $\Omega \cdot \text{m}$ ],  $l$  je délka vodiče [m] a  $S$  jeho průřez [ $\text{m}^2$ ]. Symboly  $t$  a  $w$  odpovídají kótování z obr. 4.1a.



Obr. 4.1 Znárodnění odporu a) vodiče, b) vodivé plochy

**Odpor vodivé plochy mezi dvěma vodiči** o průměru  $2 \cdot r$  [m] vzdálených od sebe  $d$  [m] je potom (obr. 4.1b):

$$R = \frac{\rho}{\pi \cdot t} \cdot \ln\left(\frac{d}{r}\right) \quad [\Omega] \quad (4.2)$$

Měrný elektrický odpor  $\rho$  je pro měď  $\rho_{Cu} = 17,8 \cdot 10^{-9} \Omega \cdot \text{m}$ , pro cín  $\rho_{Sn} = 170 \cdot 10^{-9} \Omega \cdot \text{m}$ , pro stříbro  $\rho_{Ag} = 16 \cdot 10^{-9} \Omega \cdot \text{m}$  a pro zlato  $\rho_{Au} = 24 \cdot 10^{-9} \Omega \cdot \text{m}$ .

*Příklad:*

Odpor 10 cm dlouhého měděného spoje o šířce  $w = 0,3 \text{ mm}$  (4. třída přesnosti) a tloušťce  $t = 45 \mu\text{m}$  bude  $R = 0,132 \Omega$ . Naproti tomu odpor vodivé plochy stejné tloušťky mezi vodiči o vzdálenosti  $d = 10 \text{ cm}$  při průměru  $2 \cdot r = 1 \text{ mm}$  bude  $R = 0,580 \text{ m}\Omega$ . (Tloušťka  $45 \mu\text{m}$  představuje základní plátování  $18 \mu\text{m}$  a zhruba  $26 \mu\text{m}$  zesílení, způsobené semiaditivní technologií výroby DPS – obr. 2.3 nebo tabulka 2.1.)

POZOR – vypočtený odpor vodivé dráhy odpovídá měděnému spoji zakrytými nepájivou maskou. Je třeba si uvědomit, že budou-li spoje povrchově upraveny pocínováním, vznikne na zhruba 50% průřezu spoje slitina Cu-Sn, která bude mít vysoký měrný odpor. **Odpor vodivé dráhy pocínovaného spoje bude dvojnásobný oproti odporu měděného spoje pokrytého pouze nepájivou maskou!!!**

### 4.1.1 Skin efekt

Při vysokých kmitočtech bude proudová hustota blíže ke středu vodiče klesat – **skin efekt**. Definuje se hloubka vnikání  $\delta$ , která představuje vzdálenost od povrchu vodiče, ve které klesne proudová hustota na hodnotu  $1/e$  ( $\approx 37\%$ ). Platí zjednodušený vztah:

$$\delta = \sqrt{\frac{\rho}{\pi \cdot \mu_0 \cdot \mu_r \cdot f}} = K \cdot \sqrt{\frac{1}{f}} \quad [m] \quad (4.3)$$

kde  $\mu_0$  je permeabilita vakua ( $1,26 \cdot 10^{-6} = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$  H/m),  $\mu_r$  je relativní permeabilita (pro FR4 i měď je  $\mu_r = 1$ ),  $\rho$  je měrný elektrický odpor [ $\Omega\text{m}$ ] a  $f$  je frekvence [Hz]. Dosazením do vztahu (4.3) dostaneme pro měď  $K = 0,067$ . Pro měděný plošný spoj o tloušťce  $45 \mu\text{m}$  se tak skin efekt začne projevat od frekvence 9 MHz.

Vztah (4.1) je tedy pro páskový vodič při vysokých kmitočtech a pro hodnoty  $2 \cdot \delta \leq t$  nutné korigovat na:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{\delta \cdot 2(w+t)} \quad [\Omega] \quad (4.4)$$

Pro odpor vodivé plochy můžeme při vysokých kmitočtech použít zjednodušený vztah

$$R = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot \delta} \cdot \ln\left(\frac{d}{r}\right) \quad [\Omega] \quad (4.5)$$

Předpokladem opět je, že tloušťka vodivé plochy  $t$  je větší než dvojnásobek ekvivalentní hloubky vnikání  $\delta$ .

Opět připomínám, že výsledný odpor může být zdvojnásoben pocínováním povrchu mědi.

## 4.2 Kapacita

Kapacitu dvou deskových elektrod můžeme vypočítat ze vztahu:

$$C = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \frac{S}{h} \quad [F] \quad (4.6)$$

kde  $\epsilon_0$  je permitivita vakua ( $8,8 \cdot 10^{-12}$  F/m),  $\epsilon_r$  je relativní permitivita (pro nosné jádro plošných spojů typu FR4 je  $\epsilon_r = 4,7$ ),  $S$  je plocha desek [ $\text{m}^2$ ] a  $h$  jejich vzdálenost [m].

Velmi důležité je znát kapacitu různých geometrických konfigurací vodičů, plošných spojů a vodivých ploch (obr. 4.2, 4.3 a 4.4).