

# 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)



# 6 CHLAZENÍ ELEKTRONICKÝCH SOUČÁSTEK (PŘEDEVŠÍM POLOVODIČOVÝCH)

**Všechny elektronické součástky, které vykazují elektrický činný odpor, produkují při průchodu elektrického proudu teplo (Joule–Lencův zákon).**

Toto teplo je nutné ze součástky odvést do okolí proto, aby příliš vysoká teplota podstatně neměnila parametry součástky, případně součástku nepoškodila, nebo nevedla k její destrukci. U většiny elektronických součástek řeší problém chlazení součástky sám výrobce, a to takovou konstrukcí součástky, která zajistí dodržení provozního teplotního režimu součástky v celém povoleném rozpětí okolní teploty.

U některých elektronických součástek se však výkonové zatížení v provozu může lišit i o několik řádů. Vybavení součástky takovým pouzdem, které by ji bylo schopno uchladit i v případě maximálního zatížení, by bylo pro výkonově méně náročné aplikace drahé a rozměrné. Jako příklad může sloužit úvaha o tom, jak velké by muselo být pouzdro tranzistoru KD501 (jehož parametry jsou  $P_{Cmax} = 150 \text{ W}$ ,  $I_{Cmax} = 20 \text{ A}$ ,  $U_{Cmax} = 40 \text{ V}$ ), kdyby výrobce měl zajistit uchlazení plného jeho výkonu  $150 \text{ W}$ , při povolené okolní teplotě  $\vartheta = 100 \text{ }^\circ\text{C}$ . V tomto případě by pouzdro tranzistoru muselo mít plochu několika set  $\text{cm}^2$ , což by bylo výrobně i ekonomicky neúnosné.

V takových případech ponechává výrobce elektronických součástek na konstruktérovi, aby otázku odvodu tepla ze součástky řešil případ od případu (dle technických a aplikačních možností konkrétního zařízení). Možností je zde nepřeberné množství, od využití tepelné vyzařovací plochy jejich konstrukčních dílů, pouzdra (krytu), až po odvod tepla chladicím médiem.

Výkonové zatížení elektronických součástek se v čase může měnit. U rychlých periodických změn, to je takových, kdy doba periody obvodové veličiny je značně kratší než časová (časové) konstanta (konstanty) tepelného obvodu, se počítá střední hodnota výkonu, který musí být odveden.

U aperiodických nebo pomalých změn, kdy doba periody je značně větší než časová (časové) konstanta (konstanty) tepelného obvodu, se počítá s nejnepříznivějším případem, to je s maximálním výkonovým zatížením. Tento případ značně zjednodušuje řešení, protože je možné řešit tepelný obvod pro ustálené podmínky (tedy bez uvažování tepelných kapacit a tím bez řešení přechodových jevů popisovaných diferenciálními rovnicemi).

Změny okolní teploty se zavádí do řešení, podle její periodicity. U rychlých změn, v porovnání s časovou konstantou (konstantami) tepelného obvodu, bereme v úvahu průměrnou teplotu okolí. U aperiodických nebo pomalých jevů, bereme v úvahu nejvyšší teplotu okolí, která představuje nejnepříznivější případ.

## Při výpočtu chladičích obvodů se používají následující veličiny

$\vartheta_j$  ( $\vartheta_i$ ) je maximální teplota vnitřního systému součástky (u polovodičových součástek na příklad čipu).

$\vartheta_a$  je teplota okolí.

$P_Z$  je ztrátový výkon elektronické součástky.

$R_{ti}$  je teplotní odpor mezi vnitřním systémem součástky (na příklad čipu) a pouzdrem. Nízká hodnota tohoto teplotního odporu je rozhodující pro možnost účinného chlazení.

$\vartheta_p$  je teplota pouzdra součástky

Někteří výrobci elektronických součástek udávají maximální výkonové zatížení  $P_{max}$ , platící pro povolenou maximální teplotu okolí, a to buď pro ideální chlazení ( $\vartheta_p = \vartheta_a$ ), nebo bez chlazení, méně často pak s určitým chladičem (například s chladičem Al 40 × 40 mm svisle apod.).

## 6.1 Ztrátový výkon elektronických součástek

Teplota v součástce vzniká v důsledku jejího ztrátového výkonu. Přitom je třeba rozlišovat mezi trvalým ztrátovým výkonem (trvalým výkonovým zatížením) součástky a pulzním výkonovým zatížením.

### 6.1.1 Trvalé (klidové) výkonové zatížení

$$P_Z = U_T \cdot I_T \quad [\text{W}, \text{V}, \text{A}] \quad (18)$$

kde  $U_T$  je úbytek napětí na součástce při proudu  $I_T$

$I_T$  je trvalý proud protékající součástkou

U polovodičové diody je  $P_Z = I_F \cdot U_F$  v pracovním bodě. U tranzistoru je ztrátový výkon dán elektrickým příkonem báze a kolektoru.

$$P_Z = P_c + P_B = U_{CE} \cdot I_c + U_{BE} \cdot I_B \quad (19)$$

kde  $U_{CE}$ ,  $I_c$ ,  $U_{BE}$ ,  $I_B$  jsou hodnoty platící pro klidový pracovní bod.

### 6.1.2 Pulzní výkonové zatížení (pro pravoúhlý impuls)

$$P_S = \frac{t_p}{T_0} P_{imp} \quad [\text{W}, \text{s}, \text{s}, \text{W}] \quad (20)$$

$$P_{imp} = U_T \cdot I_{imp} \quad [\text{W}, \text{V}, \text{A}]$$

kde  $P_s$  je střední výkon

$P_{im}$  je výkon v pulzu

$t$  je šířka pravoúhlého pulzu

$T_0$  je perioda

$I_{\text{jmp}}$  je proud v pulzu  
 $U_{2m}$  je napájecí (špičkové) napětí  
 $I_{\text{cm}}$  je maximální (špičkový) proud

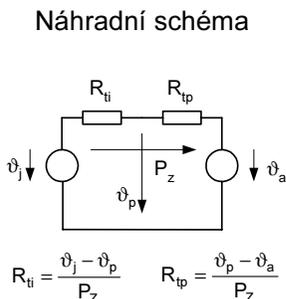
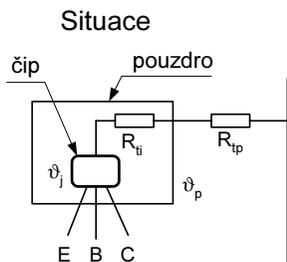
Ztrátový výkon koncových zesilovačů ve třídě A je při plném vybuzení  $P_Z = 0,5P_C$ .  
 Ztrátový výkon koncových zesilovačů ve třídě B a AB je při plném vybuzení

$$P_Z = P_{SS} - P_{\text{výst}} = \frac{U_{2m} \cdot I_{\text{cm}}}{\pi} - \frac{U_{2m} \cdot I_{\text{cm}}}{4} = U_{2m} \cdot I_{\text{cm}} \left( \frac{1}{\pi} - \frac{1}{4} \right)$$

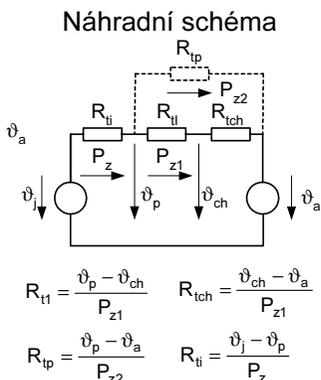
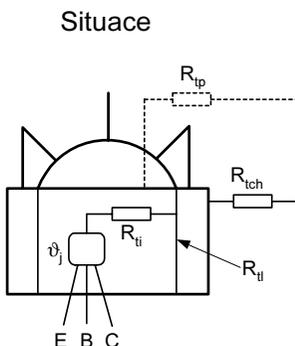
### 6.1.3 Tepelný odpor chladicího obvodu

Tepelné přechody jsou místa s rozdílnou teplotou, které jsou charakterizovány **tepelným odporem**.

Pro řešení chladicího obvodu je nutné lokalizovat tepelné přechody a stanovit jejich tepelný odpor. V následujících příkladech je naznačen výpočet těchto odporů.

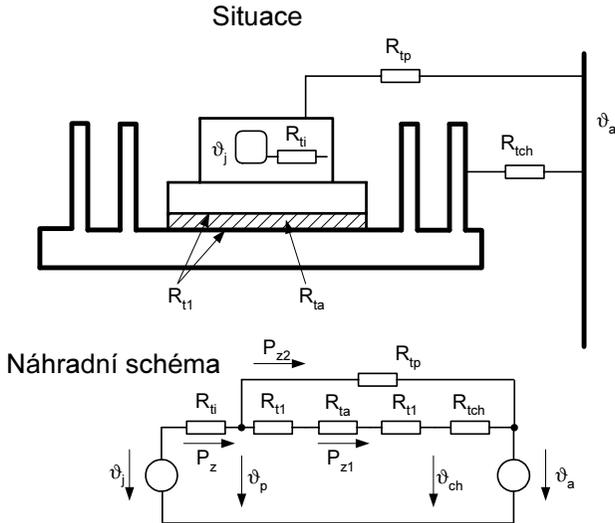


*Výpočet tepelného odporu tranzistoru: tranzistor v pouzdře TO5 bez chladiče.*



*Výpočet tepelného odporu tranzistoru: tranzistor v pouzdře TO5 s radiálním chladičem.*

U tohoto typu chladičů se většinou tepelný odpor  $R_t$  (mezi pouzdrem tranzistoru a chladičem) neuvažuje, protože převážná část plochy pouzdra je kryta chladičem. Pouzdro se většinou natírá pro spolehlivý tepelný kontakt silikonovým tukem (vazelinou).



*Výpočet tepelného odporu tranzistoru: výkonový tranzistor v kovovém pouzdře umístěný na plošném chladiči*

Při použití plošného chladiče nemusí být přechodový tepelný odpor  $R_t$  zanedbatelný, a to především tehdy, když požadavky na chlazení málo převyšují možnosti samotného pouzdra tranzistoru, a proto použitý chladič je „malý“.

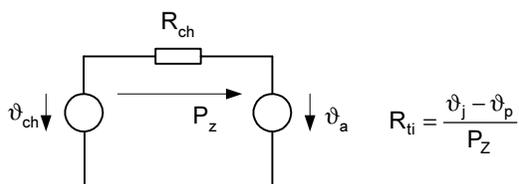
*Legenda k příkladům:*

- $R_{t1}$  je tepelný odpor mezi pouzdrem a chladičem, respektive podložkou (viz tab. 6)
- $R_{tp}$  je tepelný odpor mezi pouzdrem a okolím
- $R_{tch}$  je tepelný odpor mezi chladičem a okolím
- $R_{ta}$  je tepelný odpor izolační podložky
- $R_{ti}$  je tepelný odpor přechodu čip–pouzdro tranzistoru
- $\vartheta_p$  je teplota pouzdra
- $\vartheta_{ch}$  je teplota chladiče
- $\vartheta_j$  je teplota čipu
- $\vartheta_a$  je teplota okolí

Tab. 11 Korekční faktory podle plochy chladičí desky

Tvar desky	Korekční faktor C
vodorovná plochá deska, povrch čistý	1,0
svislá plocha, povrch čistý	0,85
vodorovná plochá deska, povrch černěn	0,50
svislá plocha, povrch černěn	0,43

V literatuře se často vyskytuje výraz „**ideální chlazení**“. Tímto pojmem se rozumí takové uspořádání chladičího obvodu, kde chladič zajistí na pouzdře součástky takovou teplotu, jakou má okolí. To znamená, že všechny tepelné odpory od pouzdra vně mají hodnoty blížící se nule. V tomto případě má obvod uspořádání podle následujícího obrázku. Součástka může být zatížena nejvyšším ztrátovým výkonem  $P_z = (\vartheta_{ch} - \vartheta_a) \cdot R_{ti}$ .

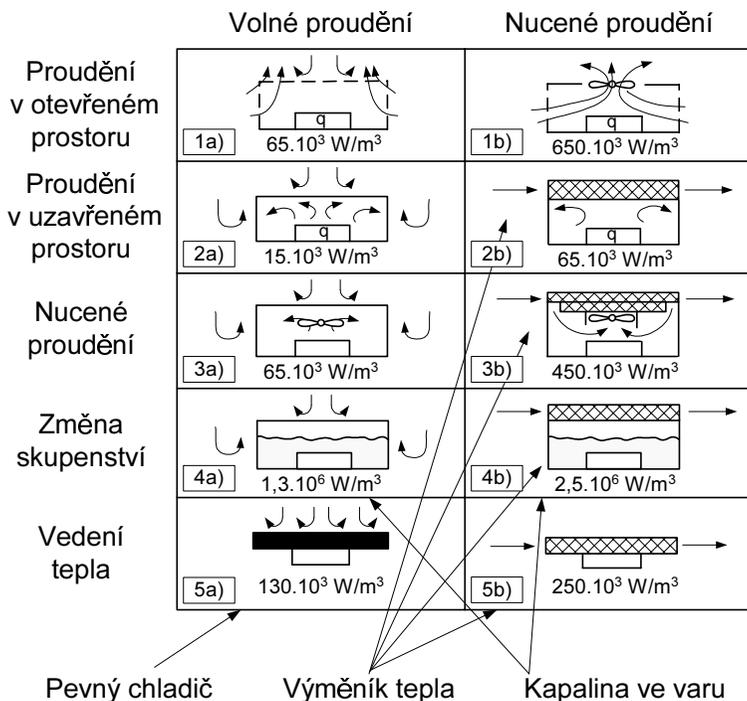


*Výpočet tepelného odporu tranzistoru: výkonový tranzistor v kovovém pouzdře umístěný na plošném chladiči*

# 7 RŮZNÉ ZPŮSOBY CHLAZENÍ POUŽÍVANÉ V ELEKTRONICE (VIZ TĚŽ PŘÍLOHU 1)

Na obr. 4 [6] jsou uvedeny přibližné hodnoty tepelného toku, který lze odvést při teplotním rozdílu  $\Delta\vartheta = 40$  K mezi elektronickým zařízením a okolním prostředím.

V dalším budou jednotlivé způsoby chlazení podrobněji probrány.



Obr. 4 Přibližné hodnoty tepelného toku, který lze odvést při teplotním rozdílu  $\Delta\vartheta = 40$  K mezi elektronickým zařízením a okolním prostředím [6].