



Úloha č. 12

Hodnocení odvodu tepla z polovodičové součástky při použití chladiče

1 Zadání úlohy

V rámci laboratorní úlohy určete vliv typu chladiče a použití teplovodivé pasty na odvod tepla generovaného výkonovou světlo emitující diodou (LED) při konstantním výkonu. Porovnejte odvod tepla při použití dvou odlišných chladičů. Teplotu na povrchu chladiče a pouzdra LED měřte termokamerou po dobu 10 minut a hodnoty odečítejte přibližně každou minutu. Porovnejte nejen absolutní hodnoty teplot po uplynutí celé doby měření, ale zhodnoťte i získané průběhy změny teploty v daném časovém intervalu (shrňte do grafů). Měření teploty proveďte pro LED umístěnou (a) přímo na chladič s nižším tepelným odporem $R_{\theta(sa)} = 3,7 \text{ °C/W}$, (b) přímo na chladič s vyšším tepelným odporem $R_{\theta(sa)} = 15,2 \text{ °C/W}$, (c) na chladič s nižším $R_{\theta(sa)}$ s kontaktní plochou pokrytou teplovodivou pastou a (d) na chladič s vyšším $R_{\theta(sa)}$ s kontaktní plochou pokrytou teplovodivou pastou. Pro kontakt LED s chladičem bez použití teplovodivé pasty uvažujte $R_{\theta(cs)} = 0,5 \text{ °C/W}$ a při použití teplovodivé pasty uvažujte $R_{\theta(cs)} = 0,1 \text{ °C/W}$.

Z katalogového listu k použité LED zjistěte jmenovité hodnoty proudu a napětí v propustném směru, maximální teplotu PN přechodu, maximální celkový tepelný odpor $R_{\theta(ja)}$ s ohledem na teplotu okolí a vnitřní tepelný odpor $R_{\theta(jc)}$ (shrňte do tabulky).

Z naměřených teplot a nastaveného výkonu vypočítejte dle vztahu (1) tepelný odpor použitých chladičů a hodnoty porovnejte s výše uvedenými. Posuďte, zda jsou oba použité chladiče vhodně zvolené z hlediska nutnosti dostatečného odvodu tepla z použité LED. Posouzení proveďte na základě rovnice tepelných odporů (2). Na základě vztahu (3) proveďte výpočet teploty povrchu pouzdra světlo emitující diody pro všechny čtyři její umístění a porovnejte vypočítané teploty s teplotami zaznamenanými v desáté minutě měření.

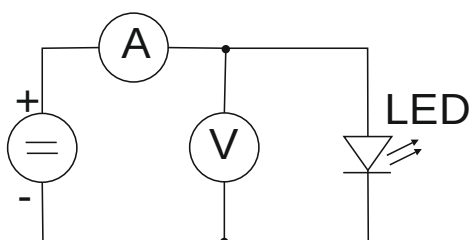
2 Teoretický rozbor problematiky

Vypracujte teoretický rozbor tématiky týkající se odvodu tepla z elektronických součástek při využití pasivního a případně i aktivního chlazení v rozsahu **2 normostrany** (1 normostrana = 1800 znaků včetně mezer). Pozornost lze věnovat používaným chladičům (tvary, rozměry, materiály), možnostem jejich připojení k elektronickým součástkám, teplovodivým pastám a teorii počítání s tepelnými odpory. Je možné zmínit také problematiku měření teploty pomocí termokamery (přesnost měření, nastavení emisivity). V textu **aktivně používejte** citace na použitou odbornou literaturu. Použitou literaturu formátujte v souladu s normou ČSN ISO 690 Informace a dokumentace – Pravidla pro bibliografické odkazy a citace informačních zdrojů.

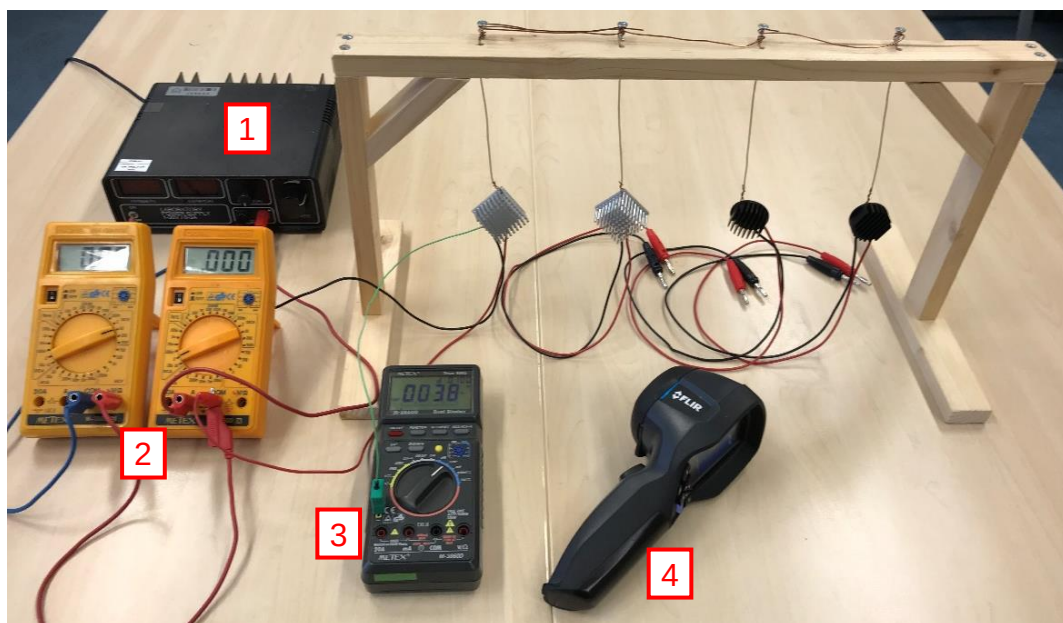


3 Používané laboratorní vybavení a jeho stručný popis

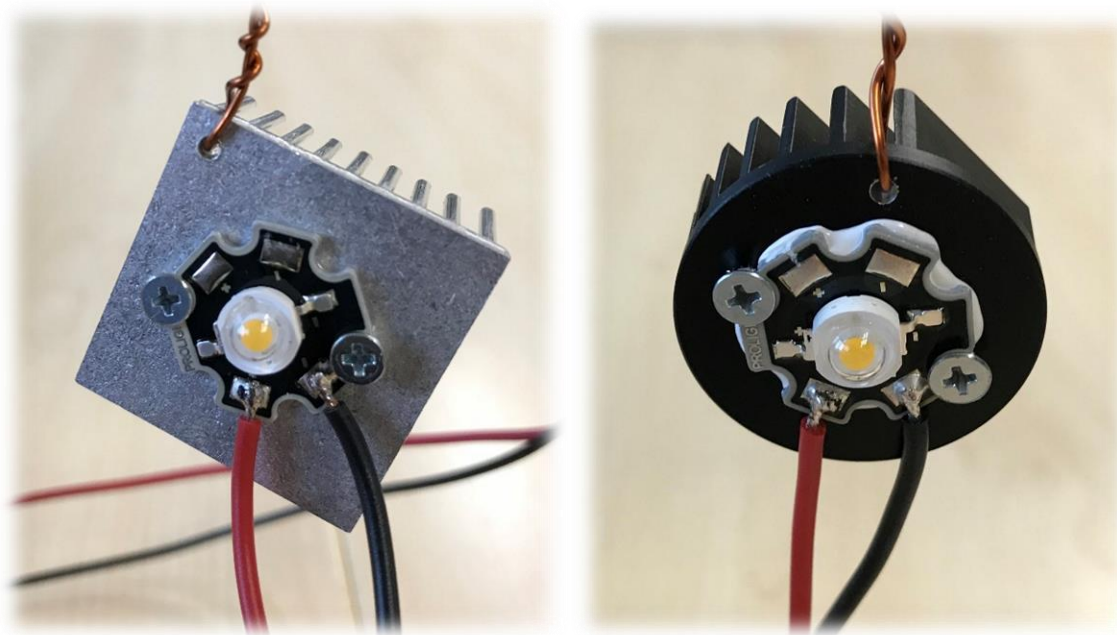
- Stejnoseměrný zdroj
- Multimetry ve funkci ampérmetru a voltmetru
- Multimetr ve funkci teploměru (s termočlánkem typu K)
- Termokamera
- Přípravek s výkonovými světlo emitujícími diodami s různými typy chladičů



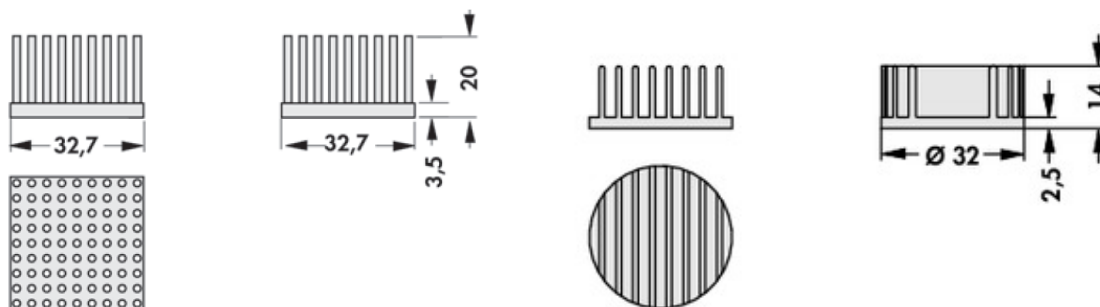
Obr. 1: Základní schéma zapojení obvodu s připojenou LED.



Obr. 2: Znáznornění kompletního stanoviště pro měření teploty pouzdra LED a připojeného chladiče (1 – stejnosměrný zdroj, 2- voltmetr a ampérmetr, 3 – teploměr s termočlánkem, 4 – termokamera).



Obr. 3: Světlo emitující diody připevněné na chladičích: LED na čtvercovém chladiči bez teplovodivé pasty (vlevo) a LED na kruhovém chladiči s teplovodivou pastou (vpravo).



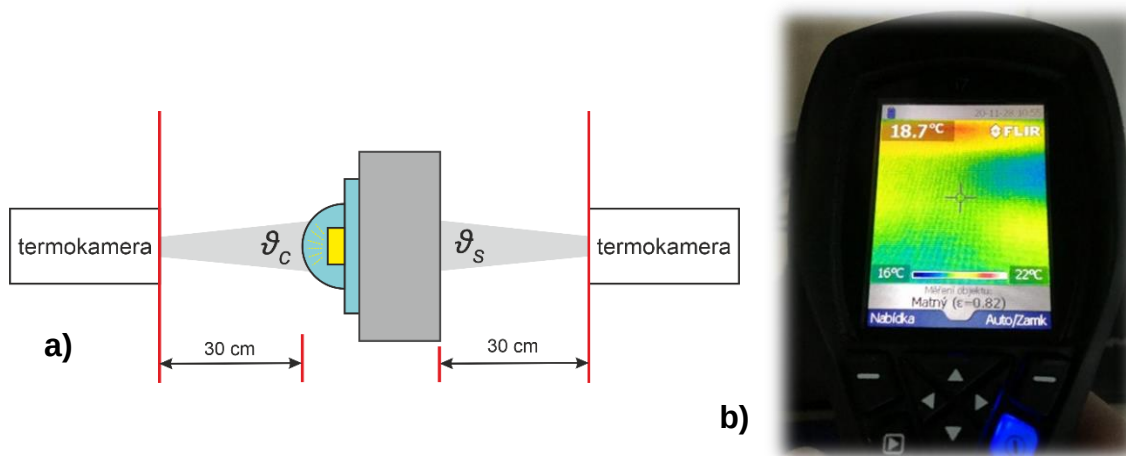
Obr. 4: Výkresy použitých chladičů: čtvercový chladič s nižším tepelným odporem (vlevo) a kruhový chladič s vyšším tepelným odporem (vpravo).

4 Postup měření

1. Seznamte se s ovládáním termokamery a proveďte její základní nastavení před měřením teploty chladiče (ϑ_s) a teploty pouzdra LED (ϑ_c). Kontaktním teploměrem (multimetr s termočlánekem) zjistěte teplotu chladiče a na termokameře nastavte takovou hodnotu emisivity, aby teplota ve středu zobrazované oblasti na displeji termokamery odpovídala teplotě změřené s využitím termočlátku. Stejné nastavení termokamery používejte i při



- měření teploty pouzdra LED. Na detailnější informace o zacházení s termokamerou se zeptejte vedoucí cvičení. Zapište si počáteční teplotu (obecně shodná s teplotou okolí).
2. Sestavte měřicí obvod dle schématu na Obr. 1 a nastavte pomocí regulovatelného zdroje takové napětí a proud, aby byl dosažen výkon přibližně 2,5 W (hodnoty napětí a proudu blízké maximálním hodnotám dle katalogového listu použité LED).
 3. Začněte měřit teploty ϑ_s a ϑ_c v daných časech. Konkrétně zjišťujte termokamerou dané teploty každou minutu po dobu 10 minut. Termokameru umísťujte vždy do přibližně stejné vzdálenosti od světlo emitující diody s chladičem (viz Obr. 5) a odečítejte teploty zobrazené v levém horním rohu displeje. Jedná se o teplotu v bodě umístění kurzoru.



Obr. 5: Měření termokamerou: a) znázornění umístění termokamery při měření, b) displej termokamery s kurzorem uprostřed displeje a se zobrazenou hodnotou emisivity ($\epsilon = 0,82$).

4. Proveďte měření teplot pro všechny LED s chladičem a případně s teplovodivou pastou umístěných na dřevěném přípravku viditelném na Obr. 2.
5. Do společných grafů (pro první typ chladiče a pro druhý typ chladiče) vyneste časovou závislost teplot ϑ_s a ϑ_c pro případ bez a s teplovodivou pastou. Na základě těchto grafů srovnajte dynamiku odvodu tepla z LED pomocí chladiče. Zhodnoťte také, jak moc se liší teploty na pouzdře LED a na chladiči po deseti minutách.
6. Na základě teploty chladiče a teploty okolí po deseti minutách zapnutí LED, kdy lze považovat stav přenosu tepla za relativně ustálený, vypočítejte tepelný odpor chladičů.



7. Z katalogového listu světlo emitující diody zjistíte její vnitřní tepelný odpor $R_{\theta(jc)}$ (*Thermal Resistance Junction to Board*) a maximální celkový tepelný odpor (nejvyšší hodnota $R_{\theta(ja)}$ v grafu závislosti proudu v propustném směru na teplotě okolí). $R_{\theta(ja)}$ lze také vypočítat z maximální teploty PN přechodu diody, z teploty okolí a maximálního výkonu (3 W pro použitou LED). Na základě vztahu (2) zjistíte, zda jsou oba použité chladiče vhodné, případně vyberte z použitých chladičů ten vhodnější.
8. Na základě vztahu (3) realizujte výpočty teploty povrchu pouzdra LED pro všechny testované případy a v závěru porovnejte vypočítané hodnoty se změřenými.

Nezapomeňte si poznamenat parametry prostředí!

- Teplota ($^{\circ}\text{C}$):
- Vlhkost (%RH):
- Tlak (mbar nebo kPa):

5 Vztahy nutné k výpočtům

Vztah pro výpočet tepelného odporu chladiče $R_{\theta(sa)}$

$$R_{\theta(sa)} = \frac{\vartheta_s - \vartheta_a}{P} \text{ (}^{\circ}\text{C/W)}, \quad (1)$$

kde ϑ_s ($^{\circ}\text{C}$) je teplota chladiče, ϑ_a ($^{\circ}\text{C}$) je teplota okolí a P (W) je výkon dosažený při nastavení určitého napětí a proudu pomocí regulovatelného zdroje.

Pozn.: Pro zjednodušení výpočtu tepelných odporů je uvažován celkový elektrický výkon P a je zanedbáno snížení výkonu o výkon vyzářený. Vyzářený výkon obvykle představuje u daného typu LED přibližně 25 % celkového výkonu. V katalogovém listu dané světlo emitující diody však tato informace uvedena není.

Vztah pro hodnocení vhodného výběru jednotlivých komponentů z hlediska přenosu tepla

$$R_{\theta(jc)} + R_{\theta(cs)} + R_{\theta(sa)} \leq R_{\theta(ja)} \text{ (}^{\circ}\text{C/W)}, \quad (2)$$

kde $R_{\theta(jc)}$ je vnitřní tepelný odpor LED, $R_{\theta(cs)}$ je tepelný odpor styku s chladičem, $R_{\theta(sa)}$ je tepelný odpor chladiče a $R_{\theta(ja)}$ je celkový tepelný odpor (standardně uvažován jako maximální přípustný pro danou LED). $R_{\theta(ja)}$ se značí také R_{θ} obecně pro případy, kdy je nastavený výkon nižší než maximální.

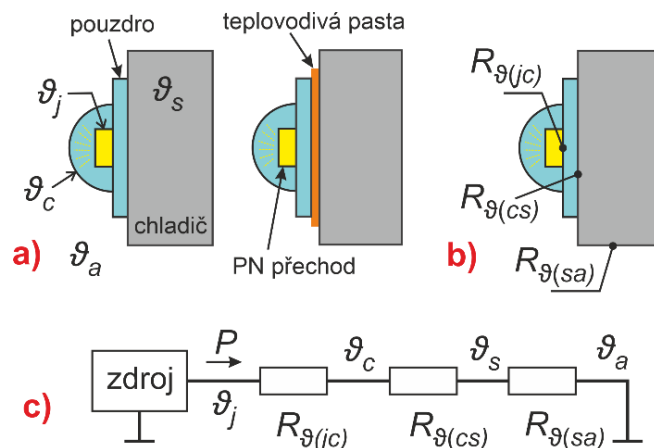


Vztah pro výpočet teploty povrchu pouzdra diody ϑ_c

$$R_{\vartheta(ca)} = R_{\vartheta(sa)} + R_{\vartheta(cs)} \rightarrow \vartheta_c = (R_{\vartheta(sa)} + R_{\vartheta(cs)}) \cdot P + \vartheta_a \text{ (}^\circ\text{C)}, \quad (3)$$

kde $R_{\vartheta(ca)}$ ($^\circ\text{C/W}$) je tepelný výkon pouzdra (přechodu mezi pouzdrem a okolím), $R_{\vartheta(cs)}$ je tepelný odpor styku s chladičem, $R_{\vartheta(sa)}$ je tepelný odpor chladiče (přechodu mezi chladičem a okolím), ϑ_a ($^\circ\text{C}$) je teplota okolí a P (W) je výkon dosažený při nastavení určitého napětí a proudu pomocí regulovatelného zdroje.

Pozn.: Jedná se o zjednodušený vztah pro výpočet teploty povrchu pouzdra LED. Přesnějšího výsledku lze dosáhnout na základě výpočtu celkového tepelného odporu R_ϑ pro nastavený výkon, dále s využitím výpočtu teploty PN přechodu LED pro nastavený výkon ($\vartheta_j = \vartheta_a + R_\vartheta \cdot P$) a následně z výpočtu $\vartheta_c = \vartheta_j - R_{\vartheta(jc)} \cdot P$.



Obr. 6: Grafická interpretace počítání s tepelnými odpory v rámci dimenzování prvků sestavy pro správný odvod tepla: a) znázornění teplot na jednotlivých částech sestavy, b) znázornění jednotlivých tepelných odporů, c) znázornění analogie k elektrickému obvodu.