

Přílohy:

P.1 Návrh chlazení pro diodový usměrňovač

Návrh chlazení pro jednocestný diodový usměrňovač osazený diodou BYW29-200, která má vnitřní tepelný odpor 3 K/W a maximální provozní teplotu systému 150°C. Diodou bude protékat stejnosměrný proud 4A, který na ní vytvoří úbytek napětí 0,85V. Zařízení bude pracovat v prostředí s maximální teplotou 45°C.

Nejprve spočteme ztrátový výkon diody podle vztahu (12).

$$P_Z = I_F \cdot U_F$$

$$P_Z = 4 \cdot 0,85$$

$$P_Z = 3,4W$$

Poté můžeme určit celkový tepelný odpor podle vztahu (17).

$$R_{g_{ja}} = \frac{(g_j - g_a)}{P}$$

$$R_{g_{ja}} = \frac{(150 - 45)}{3,4}$$

$$R_{g_{ja}} = 30,88K / W$$

Tepelný odpor chladiče vypočteme podle vztahu (18). Za tepelný odpor pouzdro chladič R_{sc} dosadíme podle Tab.3 hodnotu 0,2 K/W, pro přímý styk bez teplovodní pasty.

$$R_{g_{sa}} = \frac{(g_j - g_a)}{P_Z} - R_{g_{jc}} - R_{g_{sc}}$$

$$R_{g_{sa}} = \frac{(150 - 45)}{3,4} - 3 - 0,2$$

$$R_{g_{sa}} = 27,68K / W$$



obr. 23

Následně vybereme z katalogu chladič s nejbližší nižší hodnotou tepelného odporu. V našem případě chladič DO3A z katalogu GM elektronik s tepelným odporem 25 K/W. Pro tento chladič zkontrolujeme teplotu přechodu a chladiče (viz. vztah (10)).

$$g_j = g_a + R_{g_{ja}} \cdot P = 45 + (25 + 3 + 0,2) \cdot 3,4 = 140,88^\circ C$$

$$g_c = g_a + R_{g_{sa}} \cdot P = 45 + 25 \cdot 3,4 = 130^\circ C$$

Teplota přechodu bude $140,88^{\circ}\text{C}$, tudíž bezpečnostní rozdíl oproti maximální teplotě bude $9,22^{\circ}\text{C}$, v praxi se však doporučuje alespoň 20°C . Teplota povrchu chladiče (130°C) je taky značně vysoká.

P.2 Návrh chlazení pro zesilovač třídy A

Návrh chlazení pro jednostupňový zesilovač pracující v třídě A. Zesilovač je osazený tranzistorem BD437, který má vnitřní tepelný odpor $3,5^{\circ}\text{C/W}$ a maximální provozní teplotu 150°C . Zesilovač bude mít maximální ztrátový výkon $8,16\text{W}$. Zesilovač bude pracovat v prostředí s maximální teplotou 45°C .

Uurčíme celkový tepelný odpor podle vztahu (17).

$$R_{\theta_{ja}} = \frac{(\theta_j - \theta_a)}{P}$$

$$R_{\theta_{ja}} = \frac{(150 - 45)}{8,16}$$

$$R_{\theta_{ja}} = 12,87\text{K/W}$$

Tepelný odpor chladiče vypočteme podle vztahu (18). Za tepelný odpor pouzdro chladič R_{sc} dosadíme podle Tab.3 hodnotu $0,2\text{K/W}$, pro přímý styk bez teplovodní pasty.

$$R_{\theta_{sa}} = \frac{(\theta_j - \theta_a)}{P_z} - R_{\theta_{jc}} - R_{sc}$$

$$R_{\theta_{sa}} = \frac{(150 - 45)}{8,16} - 3,5 - 0,2$$

$$R_{\theta_{sa}} = 9,17\text{K/W}$$



obr. 24

Následně vybereme z katalogu chladič s nejbližší nižší hodnotou tepelného odporu. V našem případě chladič V7477Y z katalogu GM elektronik s tepelným odporem 9K/W . Pro tento chladič zkontrolujeme teplotu přechodu a chladiče.

$$\theta_j = \theta_a + R_{\theta_{ja}} \cdot P = 45 + (9 + 3,5 + 0,2) \cdot 8,16 = 148,63^{\circ}\text{C}$$

$$\theta_c = \theta_a + R_{\theta_{sa}} \cdot P = 45 + 9 \cdot 8,16 = 118,44^{\circ}\text{C}$$

Teplota přechodu bude 148,63°C, tudíž bezpečnostní rozdíl oproti maximální teplotě bude 1,37°C, což je pro praktické použití nedostačující. Teplota povrchu chladiče (118°C) je taky značně vysoká. Tento příklad slouží pouze jako ukázka návrhu na hraně možnosti, a to z důvodu následného měření. V praxi se však chladiče z bezpečnostních důvodů naddimenzovávají.

P.3 Návrh chlazení pro zesilovač třídy B

Návrh chlazení pro jednostupňový zesilovač pracující v třídě B. Zesilovač je osazený tranzistorem BD437, který má vnitřní tepelný odpor 3,5 °C/W a maximální provozní teplotu 150°C. Zesilovač bude mít maximální ztrátový výkon 8,57W. Zesilovač bude pracovat v prostředí s maximální teplotou 30°C a jeho chladič bude umístěn na vnější straně přístroje tzn. že teplota chladiče nesmí přesáhnout 60°C.

Určíme celkový tepelný odpor podle vztahu (17).

$$R_{gja} = \frac{(g_j - g_a)}{P}$$

$$R_{gja} = \frac{(150 - 30)}{8,57}$$

$$R_{gja} = 14K / W$$

Za tepelný odpor pouzdro chladič R_{sc} dosadíme podle Tab.3 hodnotu 0,2 K/W, pro přímý styk bez teplovodní pasty. Tepelný odpor chladiče vypočteme podle vztahu:

$$g_c = g_a + R_{gja} \cdot P \Rightarrow R_{gja} = \frac{g_c - g_a}{P}$$

$$R_{gja} = \frac{60 - 30}{8,57}$$

$$R_{gja} = 3,5K / W$$



obr. 26

Následně vybereme z katalogu chladič s nejbližší nižší hodnotou tepelného odporu. V našem případě chladič V5224C z katalogu GM elektronik s tepelným odporem 3,5 K/W. Pro tento chladič zkontrolujeme teplotu přechodu a chladiče.

$$g_c = g_a + R_{gja} \cdot P = 30 + 3,5 \cdot 8,57 = 59,99^\circ C$$

$$g_j = g_a + R_{gja} \cdot P = 30 + (3,5 + 3,5 + 0,2) \cdot 8,57 = 91,7^\circ C$$

P.4 Měření navržených chlazení

Pro kontrolní měření musíme nejprve přepočítat všechny hodnoty na klimatické podmínky, které panovaly v laboratoři, tj. teplota 25°C

Usměrňovač:

$$\vartheta_j = 120,88^\circ\text{C}$$

$$\vartheta_c = 110^\circ\text{C}$$

Zesilovač A:

$$\vartheta_j = 128,63^\circ\text{C}$$

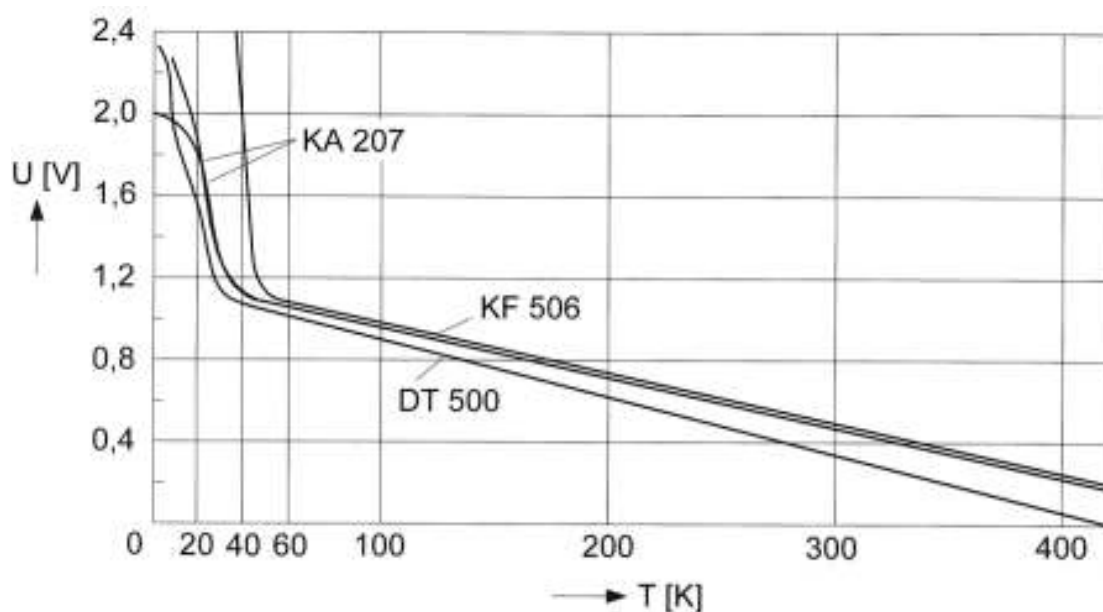
$$\vartheta_c = 98,44^\circ\text{C}$$

Zesilovač B:

$$\vartheta_j = 86,7^\circ\text{C}$$

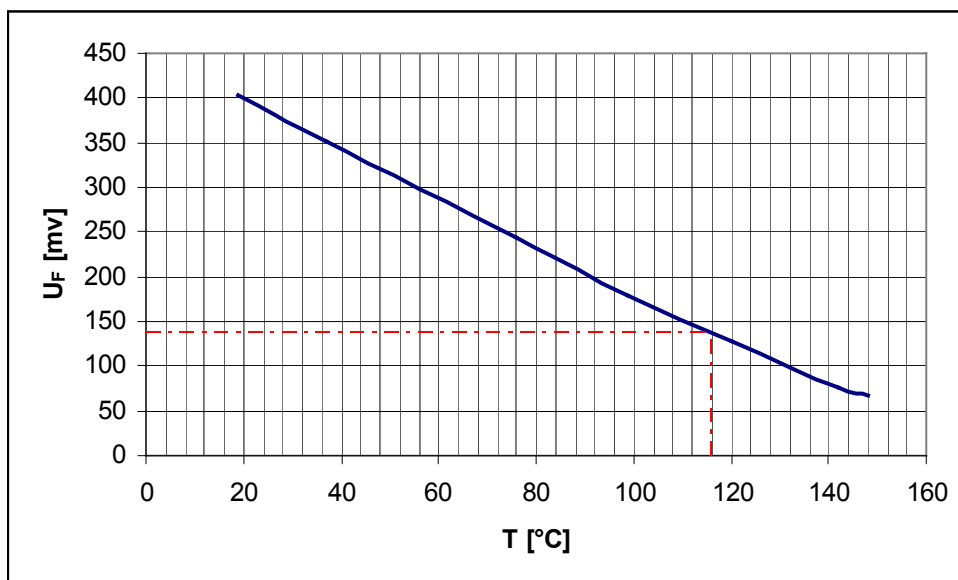
$$\vartheta_c = 54,99^\circ\text{C}$$

Pro měření teploty povrchu chladiče jsem použil digitální multimetr s teplotní sondou. Pro zjištění vnitřní teploty systému jsem využil teplotní závislosti úbytku napětí na přechodu PN. U tranzistoru jsem měřil úbytek mezi bází a emitorem. Pro tuto metodu je však nutné napřed změřit cejchovní křivku dané součástky. To provedeme pomocí konstantní teploty okolí. Teploty volíme v rozsahu součástky. Nemusí jich být mnoho (teoreticky by stačili dvě), protože závislost je v širokém rozsahu lineární viz. obr. 23.

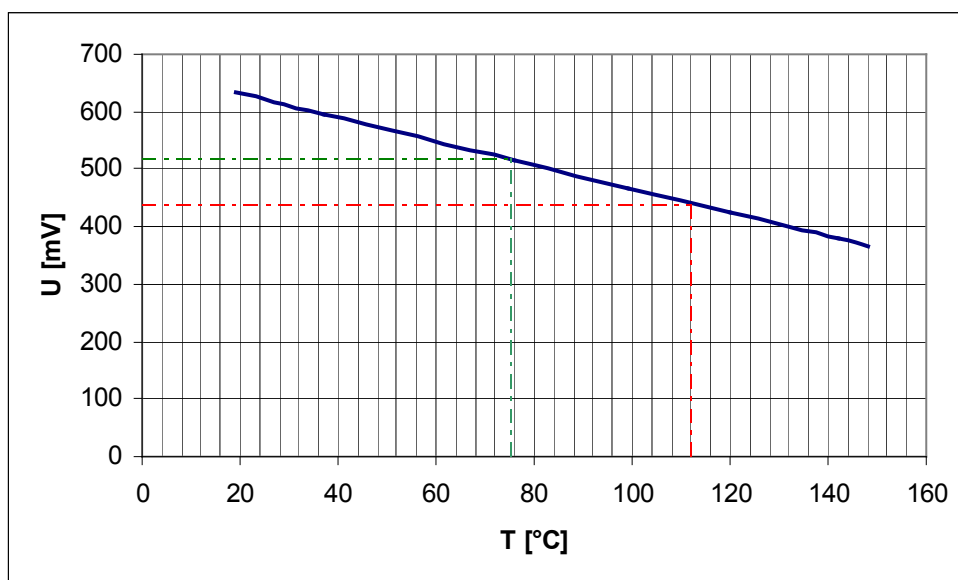


obr. 27: Úbytek napětí na diodách v závislosti na teplotě

Poté můžeme přistoupit k vlastnímu měření. Součástku zahříváme daným ztrátovým výkonem a po ustálení přepínáme na měření. Změřenou hodnotu úbytku napětí porovnáme z cejchovní křivkou a tak zjistíme přibližnou teplotu systému uvnitř pouzdra.



obr. 28: Cejchovní křivka pro diodu BYW29-200 s vynesným úbytkem napětí pro daný návrh chlazení



obr. 29: Cejchovní křivka pro tranzistor BD437 s vynesnými úbytky napětí pro dané návrhy chlazení.

Teploty systémů tedy jsou: (pro přehlednost uvádím s teoretickou spočítanou hodnotou)

Usměrňovač:

$$\vartheta_j = 120,88^{\circ}\text{C}$$

$$\vartheta_{j \text{ změř.}} = 116^{\circ}\text{C}$$

Zesilovač A:

$$\vartheta_j = 128,63^{\circ}\text{C}$$

$$\vartheta_{j \text{ změř.}} = 112^{\circ}\text{C}$$

Zesilovač B:

$$\vartheta_j = 86,7^{\circ}\text{C}$$

$$\vartheta_{j \text{ změř.}} = 75^{\circ}\text{C}$$

Z naměřených výsledků je patrné, že naměřená teplota přechodu byla vždy nižší než spočítaná teoretická hodnota. Tento jev připisuji velice rychlému odvodu tepla ze systému jehož rozměry jsou malé a tudíž se velice rychle ochlazuje. V případě přepínání ze stavu zahřívání do stavu měření dojde k malé časové prodlevě, která však už stačí na ovlivnění výsledku. To dokládá i to, že doba nutná pro přepnutí byla při měření zesilovačů delší než u měření diody, proto byla u zesilovačů větší chyba.

Dále jsem změřil tepelné časové konstanty přechod – okolní prostředí pro jednotlivá zapojení. Konstanty jsem určoval podle doby chladnutí, kdy po zahřátí do ustáleného stavu jsem odpojil součástku a měřil, za jak dlouho dosáhne teplota systému teploty okolí.

Usměrňovač: $\tau_{ja} = 8,2\text{min.} = 492\text{s}$

Zesilovač A: $\tau_{ja} = 17,8\text{min.} = 1068\text{s}$

Zesilovač B: $\tau_{ja} = 19,5\text{min.} = 1170\text{s}$

Použité přístroje:

Laboratorní zdroj typ2229

Generátor NF FG2002C

Dig. Multimetr UT33C v.č.1090022955

Dig. Multimetr M3900 v.č.20011145122

P.5 Tabulky hodnot pro různé materiály

Tab. 7: Hodnoty měrné tepelné kapacity pro různé látky

Materiál	C_p [$J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$]	C_p [$kcal \cdot kg^{-1} \cdot ^\circ C^{-1}$]
Stříbro	235	0,055
Železo	450	0,11
Cín	227	0,052
Hliník	896	0,21
Křemík	703	0,168
Měď	383	0,091
Led	2092	0,43
Alkohol	2495	0,58
Olej	cca 2000	cca 0,5
Petrolej	2095	0,51
Rtuť	139	0,033
Voda	4198	0,998
Vzduch	1006	0,235
Vodní pára	1952	0,466
Helium	5230	1,249

Tab. 8: Koeficienty tepelné vodivosti látek

Materiál	λ [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$]	
Kovy	Ag	422
	Cu	384
	Al	201
	Dural	140 – 190
	Kovar	167
	Pb	34
	Fe	80
Izolanty	BeO	208
	Al_2O_3	19
	Slída	0,5
	Sklo	0,7 – 1,2
	Epoxid	0,26
	Azbest	0,11
	PVC	0,44
	Křemík	0,83
Chladící média	Voda	0,651
	Vzduch	0,01 – 0,02
	Dusík	0,0238
	Helium	0,1444
	Oxid uhličitý CO_2	0,01491
	Argon	0,01638
Stavební materiály	Cihly	0,465
	Cihly venkovní	0,87
	Cihly vnitřní	0,69
	Železobeton	1,51
	Šamot	1,05