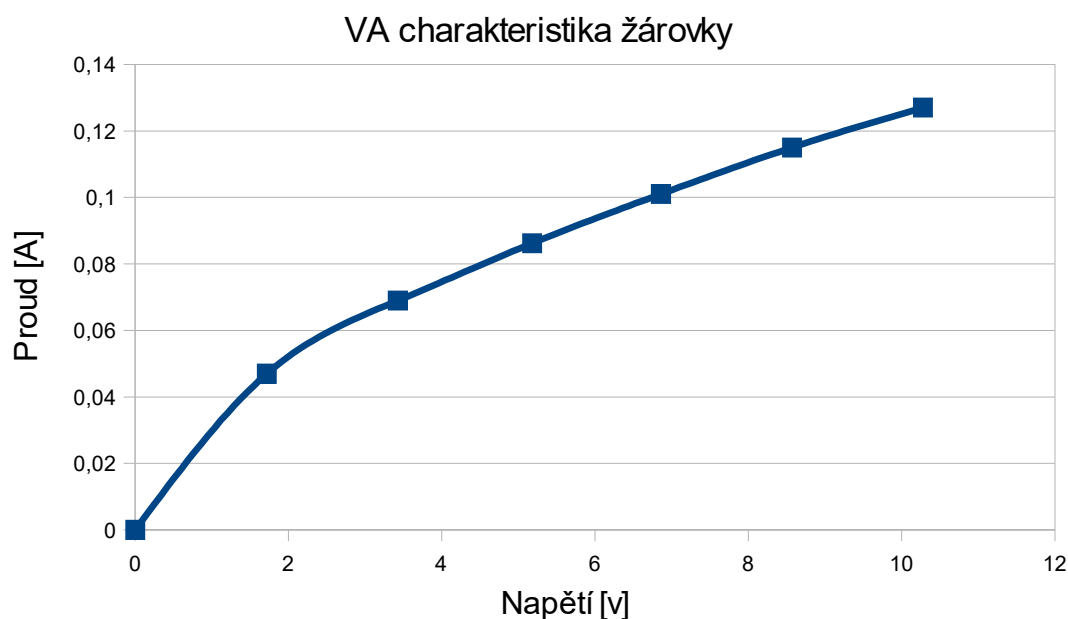


4.2.10 Závislost odporu kovového vodiče na teplotě

Předpoklady: 4208, délková a objemová roztažnost

VA charakteristika žárovky							
napětí [V]	0	1,72	3,43	5,18	6,86	8,57	10,28
proud [A]	0,000	0,047	0,069	0,086	0,101	0,115	0,127



Z grafu je vidět, že závislost proudu na napětí není lineární, proud stoupá čím dál pomaleji $\Rightarrow$ zřejmě se mění odpor žárovky.

Jak se odpor žárovky mění?

Proud přibývá čím dál pomaleji $\Rightarrow$ odpor žárovky se s napětím zvětšuje.

Př. 1: Dopln tabulku VA charakteristiky žárovky o řádek s hodnotami odporu.

VA charakteristika žárovky							
napětí [V]	0	1,72	3,43	5,18	6,86	8,57	10,28
proud [A]	0,000	0,047	0,069	0,086	0,101	0,115	0,127
odpor [ohm]		36,6	49,71	60,09	67,92	74,52	80,94

Předpoklad se potvrdil, odpor žárovky se nezanedbatelně (přibližně 2,2 x) zvětšil.

Čím se liší žárovka od rezistorů, jejichž odpor se neměnil?

Žárovka se velmi silně zahřívá (musí se rozžhavit, aby mohla svítit – 90% energie se u klasických žárovek spotřebuje na zahřívání, pouze 10% na svícení) $\Rightarrow$ odpor zřejmě závisí na teplotě.

Odpor kovového vodiče se s rostoucí teplotou zvyšuje.

Proč?

Odpor vzniká při nárazech elektronů do iontů krystalové mřížky. Při vyšších teplotách krystalová mřížka více kmitá $\Rightarrow$ je pravděpodobnější, že se s ní elektron srazí $\Rightarrow$ více srážek $\Rightarrow$ větší odpor.

Závislost odporu na teplotě se dá přibližně vyjádřit tímto vzorcem:

$$R = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta t) \quad (\text{podobný vzorec jako u délkové a objemové roztažnosti})$$

R_0 - počáteční odpor, α - materiálová konstanta, teplotní součinitel elektrického odporu v K^{-1} ,
 Δt - změna teploty v K

Odpor za určité teploty umíme spočítat z rozměrů vzorcem: $R = \frac{l}{S} \cdot \rho$

Stejně by se počítal odpor i za normální teploty t_0 : $R_0 = \frac{l_0}{S_0} \cdot \rho_0$

Předpokládáme, že rozměry odporu se podstatně nemění $\Rightarrow l = l_0$, $S = S_0$.

V rovnici pro teplotní závislost odporu dosadíme za oba odpory:

$$R = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta t)$$

$$\frac{l}{S} \cdot \rho = \frac{l_0}{S_0} \cdot \rho_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta t) \quad \text{použijeme: } l = l_0, \quad S = S_0$$

$$\frac{l}{S} \cdot \rho = \frac{l}{S} \cdot \rho_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta t)$$

$$\rho = \rho_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta t) \quad \Rightarrow \text{Změna odporu odpovídá změně měrného odporu látky.}$$

Př. 2: S pomocí tabulek nebo jiných informačních zdrojů doplň tabulku.

látká	Měrný elektrický odpor $\rho_0 \cdot 10^{-6} \Omega \cdot \text{m}$	teplotní součinitel elektrického odporu $\alpha \cdot 10^{-3} \cdot \text{K}^{-1}$
Cu (po stříbře nejlepší vodič)		
Al		
W (materiál na výrobu žárovek - má vysokou teplotu tání)		
Konstantan (54% Cu, 45% Ni, 1% Mn)		

Hodnoty měrného odporu se mění s teplotou $\Rightarrow$ musíme ji udávat při určité teplotě (většinou se používá pokojová teplota 20°C)

látká	Měrný elektrický odpor (při 20°C) $\rho_0 \cdot 10^{-6} \Omega \cdot \text{m}$	teplotní součinitel elektrického odporu $\alpha \cdot 10^{-3} \cdot \text{K}^{-1}$
Cu (po stříbře nejlepší vodič)	0,017	4,0
Al	0,027	4,0
W (z něj žárovky - má vysokou teplotu tání)	0,053	4,4

Konstantan (54% Cu, 45% Ni, 1% Mn)	0,5	0,03 $\Rightarrow$ Používá se v součástkách, které mají pracovat stejně za hodně rozdílných teplot.
---	-----	---

Dodatek: Pokud používáte MFCH tabulky pro střední školy, tabulka bude vyplněna následovně.

látká	Měrný elektrický odpor (při 0°C) $\rho_0 \cdot 10^{-6} \Omega \cdot m$	teplotní součinitel elektrického odporu $\alpha \cdot 10^{-3} \cdot K^{-1}$
Cu (po stříbře nejlepší vodič)	0,017	4,0
Al	0,027	4,0
W (z něj žárovky - má vysokou teplotu tání)	0,053	4,4
Konstantan (54% Cu, 45% Ni, 1% Mn)	0,5	0,05 $\Rightarrow$ Používá se v součástkách, které mají pracovat stejně za hodně rozdílných teplot.

Dodatek: Hledání teplotního součinitele pro konstantan je vyloženě zábava (stav 26. 3. 2014: tabulky MFCH pro střední školy 1988 $0,05 \cdot 10^{-3} K^{-1}$, wikipedie česká $0,05 \cdot 10^{-3} K^{-1}$, wikipedie anglická $0,008 \cdot 10^{-3} K^{-1}$, wikipedie německá $0,01 \cdot 10^{-3} K^{-1}$, Fyzika pro gymnázia – Elektřina a magnetismus 1992 $0,30 \cdot 10^{-3} K^{-1}$). Na internetu je možné najít i mnoho dalších hodnot, které kolísají od $0,007 \cdot 10^{-3} K^{-1}$ do $0,03 \cdot 10^{-3} K^{-1}$. Z tohoto pohledu se zdá hodnota uváděná v učebnici Fyzika pro gymnázium špatná, hodnota z tabulek pak reálnější, přesto zřejmě vyšší než skutečná hodnota (která se zřejmě značně liší kvůli nestejnému složení slitiny). Hodnoty konstant se u různých zdrojů liší také u wolframu (rozdíly jsou však podstatně menší).

Př. 3: Urči, jakou teplotu má vlákno žárovky za provozu, když je na ní uvedeno: $U=6 V$, $I=0,1 A$. Nepřipojená žárovka má při měření ohmmetrem odpor $R_0=6,2 \Omega$. Předpokládej, že vlákno žárovky je vyrobeno z wolframu a že vlákno má při měření ohmmetrem stejnou teplotu jako okolí $t_0=20^\circ C$.

$$U=6 V, \quad I=0,1 A, \quad R_0=6,2 \Omega, \quad t_0=20^\circ C, \quad t=?$$

Ze jmenovitých hodnot proudu a napětí můžeme určit odpor vlákna při svícení.. Pak můžeme dosadit do vztahu pro teplotní změnu odporu.

$$R = \frac{U}{I} = \frac{6}{0,1} = 60 \Omega \quad - \text{odpor zahřátého vlákna}$$

$$R = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta t)$$

$$R = R_0 + R_0 \cdot \alpha \cdot \Delta t$$

$$R - R_0 = R_0 \cdot \alpha \cdot \Delta t$$

$$\frac{R - R_0}{R_0 \cdot \alpha} = \Delta t$$

$$\Delta t = \frac{R - R_0}{R_0 \cdot \alpha} = \frac{(60 - 6,2)}{(6,2 \cdot 4,4 \cdot 10^{-3})} K \approx 2000 K \quad \Rightarrow \quad t = t_0 + \Delta t = 20 + 2000^\circ C \approx 2000^\circ C$$

Vlákno žárovky za provozu má teplotu $2000^\circ C$.

Pedagogická poznámka: Studenti odhadují teplotu vlákna daleko nižší a získaná hodnota je překvapí.

Př. 4: Urči, jakou provozní teplotu má vlákna žárovky s parametry $U=6\text{ V}$, $I=0,3\text{ A}$. Nepřipojená žárovka má při měření ohmmetrem odpor $R_0=1,5\ \Omega$. Předpokládej, že vlákno žárovky je vyrobeno z wolframu a že vlákno má při měření ohmmetrem stejnou teplotu jako okolí $t_0=20^\circ\text{C}$.

Využijeme vztahy z předchozího příkladu.

$$U=6\text{ V} , \quad I=0,3\text{ A} , \quad R_0=1,5\ \Omega , \quad t_0=20^\circ\text{C} , \quad t=?$$

$$\text{Odpor zahřátého vlákna: } R = \frac{U}{I} = \frac{6}{0,3} = 20\ \Omega .$$

$$\Delta t = \frac{R - R_0}{R_0 \cdot \alpha} = \frac{(20 - 1,5)}{(1,5 \cdot 4,4 \cdot 10^{-3})} \text{ K} \approx 2800\text{ K} \Rightarrow \Delta t = t_0 + \Delta t = 20 + 2800^\circ\text{C} \approx 2800^\circ\text{C}$$

Vlákno žárovky za provozu má teplotu 2800°C .

Př. 5: Najdi způsob, jak pomocí tabulek ověřit, zda vypočtené hodnoty nejsou příliš vysoké. Které jiné prvky by bylo možné pro výrobu tohoto vlákna použít?

Vlákno je pevné, při zahřívání se může roztavit $\Rightarrow$ musíme zkontrolovat, zda teplota tání je vyšší než 2800°C .

Teplota tání wolframu: 3410°C $\Rightarrow$ wolframové vlákno je možné zahřát na teplotu 2800°C .

Další látky s teplotou tání vyšší než 2800°C : uhlík (3652°C teplota sublimace, netaje), tantal (2996°C), rhenium (3180°C), osmium (3045°C).

Dodatek: První žárovky vyráběl T.A. Edison z uhlíku (zuhlennatělé uhlíkové vlákno).

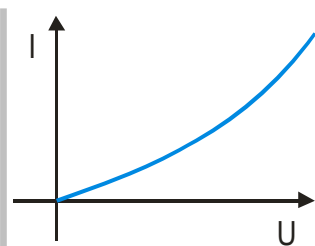
Dodatek: Teplotu vlákna žárovky můžeme určit také pomocí barvy, kterou vlákno svítí. Barva každého rozžhaveného předmětu se s jeho chladnutím mění $\Rightarrow$ podle barvy je možné určit přibližně teplotu (takto se určuje teplota hvězd). V případě wolframu je situace trochu složitější, protože vyzařuje jasněji než by odpovídalo jeho teplotě.

Př. 6: Najdi v tabulkách měrný elektrický odpor a teplotní součinitel elektrického odporu uhlíkového vlákna. Nakresli VA charakteristiku žárovky s uhlíkovým vláknem. Jaký odpor by mělo vlákno žárovky z uhlíkového vlákna při pokojové teplotě, kdyby po zahřátí na 2800°C mělo odpor $20\ \Omega$ jako vlákno z wolframu.

Měrný elektrický odpor: $\rho = 60 \cdot 10^{-6}\ \Omega\text{ m}$, teplotní součinitel elektrického odporu:

$$\alpha = -0,2 \cdot 10^{-3}\text{ K}^{-1} \text{ (dolní hranice udávaná v tabulkách), } t = 2800^\circ\text{C} , \quad t_0 = 20^\circ\text{C} , \\ R = 20\ \Omega , \quad R_0 = ?$$

Teplotní součinitel elektrického odporu je záporný $\Rightarrow$ s rostoucí teplotou odpor vlákna klesá $\Rightarrow$ s rostoucím napětím proud roste stále rychleji.



$$R = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta t)$$

$$R_0 = \frac{R}{1 + \alpha \cdot \Delta t} = \frac{20}{1 - 0,2 \cdot 10^{-3} \cdot (2800 - 20)} \Omega = 45 \Omega$$

Odpor uhlíkového vlákna se s teplotou zmenšuje, při pokojové teplotě by měl odpor 45 Ω.

Př. 7: Vysvětli, proč se hodnoty odporů naměřené v hodině 040206 v paralelním obvodu liší od hodnot uvedených na rezistorech. Proč se hodnoty naměřené v sériovém obvodu shodují?

V paralelním obvodu procházel přes rezistory značně velký proud, rezistory se zahřívaly a tím se zvětšil jejich odpor. Proud procházející sériovým obvodem byl podstatně menší, proto se rezistory nezahřívaly a neměnil se jejich odpor.

Př. 8: Urči teplotu vlákna žárovky ve chvíli, kdy začíná žhnout.

Teplotu žárovky určíme pokud budeme znát její odpor ve chvíli, kdy začíná svítit. Musíme tedy změřit v tomto okamžiku napětí a proud, který přes ní prochází.

Poté dosadíme do vzorců z příkladu 3.

$$U = 0,86 \text{ V} \quad , \quad I = 0,0342 \text{ A} \quad , \quad R_0 = 6,2 \Omega \quad , \quad t_0 = 20^\circ \text{C} \quad , \quad t = ?$$

$$\text{Odpor žhnoucího vlákna: } R = \frac{U}{I} = \frac{0,86}{0,0342} = 25 \Omega$$

$$\Delta t = \frac{R - R_0}{R_0 \cdot \alpha} = \frac{(25 - 6,2)}{(6,2 \cdot 4,4 \cdot 10^{-3})} \text{ K} = 690 \text{ K}$$

Vlákno žárovky začíná žhnout při teplotách okolo 700 °C.

Pedagogická poznámka: Výsledek je velmi přibližný, teplota vlákna není všude stejná.

Shrnutí: Odpor vodiče závisí na teplotě podobně jako délka nebo objem.