

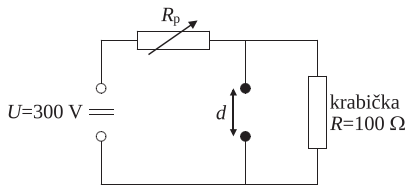
## Úloha VI.4 ... Byl to ten slavný den... 6 bodů; průměr 5,00; řešilo 12 studentů

Z toho slavného dne, kdy byl do Julčiny vesnice zaveden elektrický proud, našla Julča ve sklepe záhadnou černou bakelitovou krabičku. Ta měla dva vývody na připojení ke zdroji a na sobě upozornění „ $I_{\max} = 1 \text{ A}$ ,  $R = 100 \Omega$ “. I když byla Julča moc zvědavá, co zařízení umí, chtěla si dát velký pozor, aby ho nepoškodila příliš velkým proudem. Neměla k dispozici mnoho kvalitních součástek, a proto musela improvizovat.

Abý mohla přímo regulovat proud procházející krabičkou, zapojila mezi ní a zdroj ( $U = 300 \text{ V}$ ) sériově reostat, což je zařízení, kterému lze měnit elektrický odpor. Jeho odpor si označme  $R_p$ <sup>1</sup>. Jak jsme ale již řekli – reostat je nekvalitní a kdyby se vše pokazilo, chtěla Julča omezit proud i shora, jenže žádnou funkční pojistku po ruce neměla, než dostala nápad!

K vyrobení pojistky jí stačí, když paralelně s krabičkou připojí přerušovaný drát s úzkou mezerou o délce  $d$ . Vzduch má průrazné napětí  $V \approx 20 \text{ kV} \cdot \text{cm}^{-1}$ , což znamená, že pokud by bylo na  $1 \text{ cm}$  dlouhé mezeře napětí  $V \cdot d = 20 \text{ kV}$ , zapálil by se elektrický oblouk a mezerou by začal procházet proud. Pokud tedy tuto „bleskojistku“ zapojí paralelně s krabičkou, může její zapálení snížit (svět) nadměrný proud od krabičky<sup>2</sup>.

Jaký musí Julča na reostatu nastavit odpor, aby proud snížila na  $I_{\max}$ ? Jakou podmínku<sup>3</sup> musí splňovat délka  $d$ , pokud chceme, aby za těchto podmínek, tedy pokud reostat dobře funguje, procházel krabičkou jistě proud a pojistka se nespustila? Na obr. 1 je zapojení vyobrazeno.



Obr. 1: Julči zapojení.

Po prvním pohledu na obvod ze zadání si musíme uvědomit, jak se dvě důležité veličiny, elektrický proud a napětí, chovají v jednotlivých částech obvodu. Elektrický proud si můžeme představit jako proud elektronů (nebo jiných nosičů náboje). Ty vycházejí ze zdroje a přes reostat na křižovatku (uzel), kde se cesty dělí. Proud může zamířit dolů přes přerušovaný drát nebo pokračovat rovně přes Julčinu krabičku. Říkáme, že se proud dělí paralelně. Elektronové preferují, tak jako většina z nás, cestu nejmenšího odporu a na něm právě závisí, jaký proud krabičkou nebo drátem poteče.

Elektrické napětí se ovšem chová v jistém smyslu opačně než elektrický proud. Nezáleží mu na tom, kolikrát se obvod větví, ale kolik součástek je zapojených za sebou. Napětí je totiž přesně definováno jako rozdíl elektrického potenciálu mezi dvěma body, takže mu nezáleží na cestě samotné, nýbrž jen na jejím začátku a konci. Dělí se tedy sériově, a to znovu v závislosti na odporu součástky.

Elektrický proud a napětí na sobě závisí a jejich vztah vyjadřuje Ohmův zákon, který říká:

$$R = \frac{U}{I},$$

kde  $R$  značí elektrický odpor součástky,  $U$  značí napětí a  $I$  proud. Je důležité si uvědomit, že hodnoty těchto tří veličin se vztahují pouze na jednu součástku nebo část obvodu. Když jsme si už vysvětlili základy chování těchto dvou veličin, můžeme se pustit do výpočtů. Už víme, že se

<sup>1</sup>Index  $p$  od slova „předřazený“, které se v elektrotechnice často používá.

<sup>2</sup>Samozřejmě má oblouk samotný také daný odpor, ale u něj můžeme jen předpokládat, že je dostatečně malý, aby jistojistě snížil  $I$  pod  $I_{\max}$ .

<sup>3</sup>vyjádřenou nerovnicí

napětí v obvodu rozdělí mezi reostat a krabičku spolu s přerušeným drátem. To tedy znamená, že na krabičce i drátu bude stejné napětí, které můžeme zjistit dosazením hodnot z upozornění do zmíněného Ohmova zákona. Zjistíme tím tedy maximální možné napětí při maximálním povoleném proudu.

$$U_K = R \cdot I_{\max} = 100 \Omega \cdot 1 \text{ A} = 100 \text{ V}.$$

Z tohoto výsledku se dozvíme, že na krabičce (a tedy i drátu) nesmí být napětí vyšší než 100 V. Z tohoto zjištění už je jasné, že mezera mezi drátem bude:

$$d = \frac{U}{V} = \frac{100}{20\,000} \text{ cm} = 0,005 \text{ cm} = 0,05 \text{ mm}.$$

Pokud by byla mezera větší, povolila by větší proud a krabičku zničila, a pokud menší, pojistka by se spouštěla už při nižším napětí, což je nežádoucí.

Vraťme se ale k situaci, kdy krabičkou prochází proud  $I = 1 \text{ A}$ , a „bleskojistka“ není v provozu. V tuto chvíli si ji můžeme odmyslet, jelikož jí neprochází proud, a zbývá nám jednoduchá situace, kdy je za sebou sériově zapojen pouze reostat a krabička. Jak víme, na krabičce má být napětí  $U_K = 100 \text{ V}$  a proud  $I_{\max} = 1 \text{ A}$ . Proud se při vypnuté pojistce nemá jak dělit a nemůže se v průběhu „cesty“ obvodem nikde ztratit ani objevit, tedy reostatem bude procházet rovněž  $I_p = 1 \text{ A}$ . Napětí je rozdíl potenciálů, který si můžeme představit jako rozdíl výšek při proudu vody, tedy napětí na zdroji  $U = 300 \text{ V}$  (rozdíl na začátku a na konci), musí být součet napětí na obou součástkách, tedy na reostatu bude napětí  $U_p = U - U_K = 200 \text{ V}$ .

Z těchto hodnot už snadno vypočítáme potřebný odpor, který musíme nastavit:

$$R_p = \frac{U_p}{I_p} = \frac{200 \text{ V}}{1 \text{ A}} = 200 \Omega.$$

Julča musí na reostatu nastavit odpor  $200 \Omega$  a dráty dát konci do vzájemné vzdálenosti  $0,05 \text{ mm}$ . K jejímu nastavení by musela nejspíše použít mikroskopu a ani tak by nejspíš nedosáhla potřebné vzdálenosti přesně. Pravděpodobně to také není příliš bezpečný nápad.

*Miroslav Jarý*

Jason@vyfuk.mff.cuni.cz

Korespondenční seminář Výfuk je organizován studenty a přáteli MFF UK. Je zastřešen Oddělením propagace a mediální komunikace MFF UK a podporován Katedrou didaktiky fyziky MFF UK, jejími zaměstnanci a Jednotou českých matematiků a fyziků.

Toto dílo je šířeno pod licencí Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported. Pro zobrazení kopie této licence navštivte <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>.