

Efektivní hodnoty harmonických průběhů

Úloha číslo 1629

Na rezistor R je přivedeno harmonické napětí

$$u(t) = U_0 \sin \omega t.$$

a) Určete jeho efektivní hodnotu U_{ef} a dále efektivní hodnotu I_{ef} rezistorem protékajícího proudu.

b) Nechť průběh $u(t)$ představuje napětí v elektrické zásuvce a rezistorem je topné těleso spotřebiče. Jaká je maximální hodnota napětí na spotřebiči? Jaká je maximální hodnota proudu v přívodní šňůře, jestliže jsme multimetrem naměřili proud 4,3 A?

Teorie

Připomeňme si, jak zavádíme efektivní hodnoty napětí a proudu.

Máme zdroj napětí periodického průběhu $u(t)$ s periodou T . K němu připojíme odporovou zátěž R . Okamžitý výkon obvodu je

$$p(t) = u(t)i(t) = \frac{u^2(t)}{R}.$$

Střední výkon je tedy

$$\bar{p} = \frac{1}{T} \int_0^T \frac{u^2(t)}{R} dt = \frac{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt}{R}. \quad (1)$$

Zdroj s konstantním průběhem napětí U má na stejné odporové zátěži výkon

$$P = UI = \frac{U^2}{R},$$

který dosáhne přesně středního výkonu v rovnici (1), jestliže je jeho napětí

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt} \equiv U_{\text{ef}}. \quad (2)$$

Toto napětí je ono kýžené efektivní napětí, které přiřadíme zkoumanému průběhu $u(t)$.

Vztah (2) říká, že efektivní hodnota napětí je odmocnina ze střední hodnoty kvadrátu jeho průběhu.

Podobně efektivní hodnota proudu je odmocnina ze střední hodnoty kvadrátu jeho průběhu. Odvození bychom provedli podobně, pro úplnost jej bez komentáře provedme

$$\bar{p} = \frac{1}{T} \int_0^T u(t)i(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T Ri^2(t) dt = R \overbrace{\frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) dt}^{I_{\text{ef}}^2} \equiv RI_{\text{ef}}^2 = P,$$

kde jsme příslušnou část označili I_{ef} , čímž vznikl na pravé straně vztah pro výkon P při konstantním proudu.

a) Náповěda – výpočet efektivních hodnot

Určete efektivní hodnoty $U_{\text{ef}}, I_{\text{ef}}$. Efektivní hodnotu napětí lze určit jako

$$U_{\text{ef}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt}.$$

Efektivní hodnotu proudu určete z analogie výpočtu efektivního napětí.

a) Řešení náповědy – výpočet efektivních hodnot

Do vztahu pro U_{ef} dosadíme harmonický průběh napětí a upravíme

$$U_{\text{ef}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T U_0^2 \sin^2 \omega t dt} = \sqrt{\frac{U_0^2}{T} \int_0^T \sin^2 \omega t dt}.$$

Integrál pod odmocninou vypočítáme zvlášť

$$\int_0^T \sin^2 \omega t dt = \int_0^T \frac{1}{2}(1 - \cos 2\omega t) dt = \left[\frac{1}{2}t - \frac{\sin 2\omega t}{4\omega} \right]_0^T = \frac{T}{2}.$$

Integrovali jsme od 0 do T , což je perioda. Druhý člen se tedy odečetl, resp. je v obou časech nulový.

Vypočítaný integrál dosadíme

$$U_{\text{ef}} = \sqrt{\frac{U_0^2}{T} \int_0^T \sin^2 \omega t dt} = \sqrt{\frac{U_0^2}{T} \frac{T}{2}} = \frac{U_0}{\sqrt{2}}$$

Připojíme-li napětí daného průběhu na odporovou zátěž R , bude jí protékat proud

$$i(t) = \frac{1}{R} u(t) = \underbrace{\frac{U_0}{R}}_{I_0} \sin \omega t = I_0 \sin \omega t.$$

Vidíme, že průběh je formálně stejný, jako pro napětí. Celý výpočet by probíhal stejně, pouze s jinými písmeny. Tedy

$$I_{\text{ef}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T I_0^2 \sin^2 \omega t dt} = \sqrt{\frac{I_0^2}{T} \frac{T}{2}} = \frac{I_0}{\sqrt{2}}.$$

b) Náповěda – efektivní hodnoty v síti

Jaká je efektivní hodnota napětí v elektrické zásuvce pro běžné domácí spotřebiče? Určete maximální hodnotu napětí.

Jaký proud zřejmě naměřil měřící přístroj? Určete maximální hodnotu.

b) Řešení nápovědy – efektivní hodnoty v síti

Efektivní hodnota napětí v zásuvce pro běžné domácí spotřebiče je přibližně 230 V. Maximální hodnota na spotřebiči je

$$U_0 = U_{ef}\sqrt{2} = 230\sqrt{2} \text{ V} \doteq 325 \text{ V}.$$

Měřící přístroje obvykle naměří efektivní hodnotu proudu, tj. $I_{ef} = 4,3 \text{ A}$. Maximální hodnota v přívodní šňůře je

$$I_0 = I_{ef}\sqrt{2} = 4,3\sqrt{2} \text{ A} \doteq 6,1 \text{ A}.$$

V praxi se ve většině případů operuje právě s efektivními hodnotami. Je-li prodlužovací přívod označen max 10 A, je tím myšleno, že tuto mez nesmí překročit právě hodnota efektivní. Maximální hodnota by tuto mez překročila již při efektivním proudu přibližně 7,1 A.

Odpověď

Při harmonických průbězích platí mezi efektivními U_{ef} , I_{ef} a maximálními U_0 , I_0 hodnotami napětí a proudu vztahy

$$U_{ef} = \frac{U_0}{\sqrt{2}}, \quad I_{ef} = \frac{I_0}{\sqrt{2}},$$

Maximální hodnota napětí na spotřebiči je

$$U_0 \doteq 325 \text{ V}.$$

Maximální hodnota proudu v přívodní šňůře je

$$I_0 \doteq 6,1 \text{ A}.$$

Jaké teplo spirála předala?

Úloha číslo 1665

Laborantka Eva ohřívala vodu v kalorimetru topnou spirálou, kterou napájela stejnosměrným zdrojem. Chtěla zjistit, jaké teplo spirála vodě dodá za čas t , proto multimetry měřila napětí U na spirále a proud I jí tekoucí.

Hodnoty pak bez rozmyslu dosadila do vzorečku

$$Q = UIt.$$

S tímto teplem pak dále počítala a zjistila, že například pro měrnou tepelnou kapacitu vody jí nevychází správná hodnota.

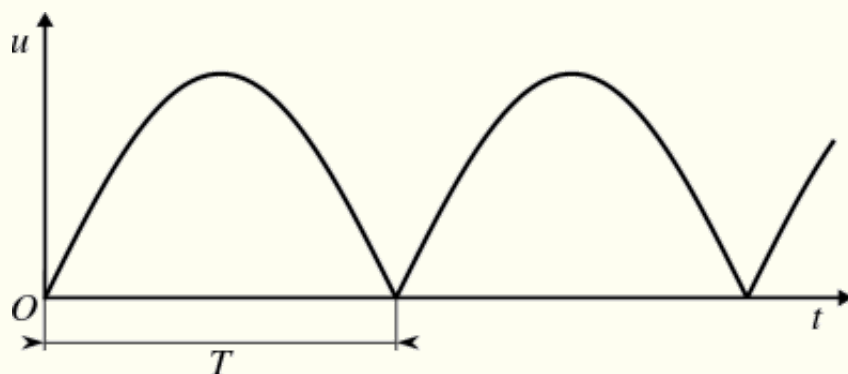
Dokázali byste její výsledky zkorigovat, víte-li, že stejnosměrný zdroj nedával napětí konstantní, ale jednalo se o dvoucestně usměrněný harmonický průběh?

Určete kolikrát více nebo méně tepla spirála vodě předala!

Rozbor

Eva při měření předpokládala, že stejnosměrný zdroj dává konstantní napětí. Pokud by tomu tak bylo, pak by naměřené hodnoty napětí a proudu byly hodnotami efektivními a bylo by vše v pořádku.

Zdroj však poskytoval pouze dvoucestně usměrněný harmonický průběh (bez filtrace), viz obrázek.



<http://fyzikalniulohy.cz>

Měřicí přístroje na stejnosměrných rozsazích obvykle ukazují hodnoty střední. Tyto střední hodnoty Eva dosadila do vztahu, který je určen pro hodnoty efektivní.

Abychom zjistili, o kolik při výpočtu předaného tepla chybila, vypočítáme pro průběh na obrázku výše postupně

- střední hodnoty napětí (a proudu),
- efektivní hodnoty napětí (a proudu),
- správné teplo předané spirálou vodě

a toto teplo porovnáme s chybně určeným teplem Evou.

Nápověda 1 – střední hodnoty

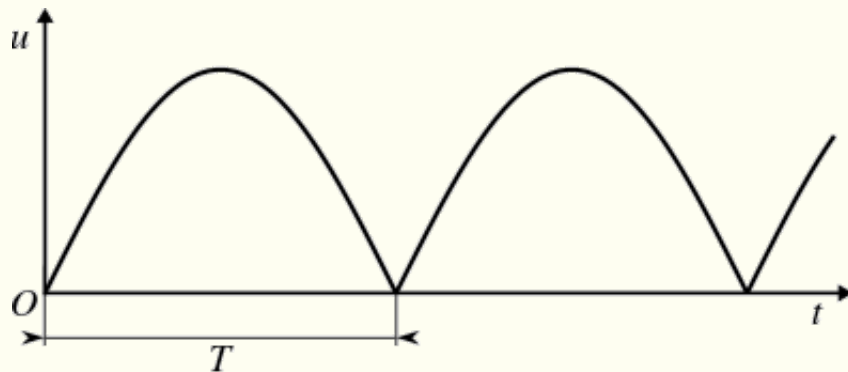
Vypočtete střední hodnotu napětí a proudu.

Střední hodnotu napětí počítáme jako

$$\bar{u} = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt.$$

Řešení nápovědy 1 – střední hodnoty

Spirála je napájena dvoucestně usměrněným harmonickým napětím, tj. napětím o průběhu



s parametrizací

$$u(t) = u_0 |\sin \omega t|,$$

kde u_0 značí maximální hodnotu napětí.

Úhlové periodě π odpovídá časová perioda průběhu

$$T = \frac{\pi}{\omega}.$$

Vypočítáme střední hodnotu napětí

$$\begin{aligned} \bar{u} &= \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt = \frac{1}{\pi/\omega} \int_0^{\pi/\omega} u_0 |\sin \omega t| dt = \frac{u_0 \omega}{\pi} \int_0^{\pi/\omega} \sin \omega t dt = \\ &= \frac{u_0 \omega}{\pi} \left[-\frac{\cos \omega t}{\omega} \right]_0^{\pi/\omega} = \frac{u_0 \omega}{\pi} \frac{2}{\omega} = \frac{2}{\pi} u_0. \end{aligned}$$

Máme tedy

$$\bar{u} = \frac{2}{\pi} u_0. \quad (1)$$

podobně pro střední hodnotu proudu

$$\bar{i} = \frac{2}{\pi} i_0, \quad (2)$$

kde i_0 značí maximální hodnotu proudu.

Nápověda 2 – efektivní hodnoty

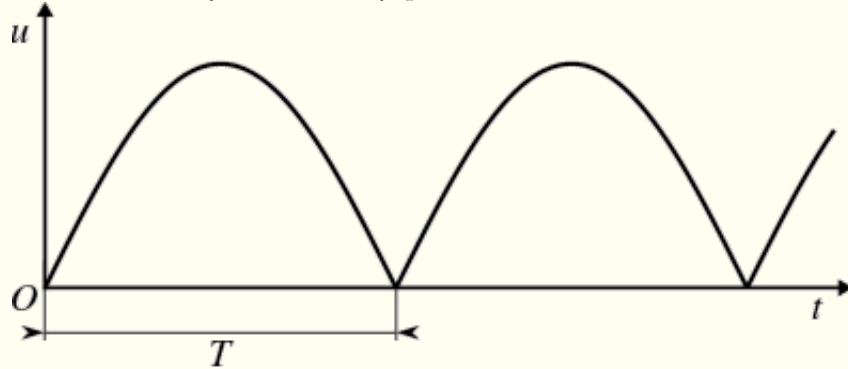
Vypočtěte efektivní hodnotu napětí a proudu.

Efektivní hodnotu napětí počítáme jako

$$U_{\text{ef}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt}.$$

Řešení nápovědy 2 – efektivní hodnoty

Dvoucestně usměrněný harmonický průběh



<http://fyzikalniulohy.cz>

má parametrizaci

$$u(t) = u_0 |\sin \omega t|.$$

Úhlové periodě π odpovídá časová perioda průběhu $T = \frac{\pi}{\omega}$.

Nyní vypočítáme efektivní hodnotu napětí

$$U_{\text{ef}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt} = \sqrt{\frac{\omega u_0^2}{\pi} \int_0^{\pi/\omega} \sin^2 \omega t dt} =$$

Integrál pod odmocninou vypočítáme zvlášť užitím goniometrické identity $\sin^2 \alpha = \frac{1}{2}(1 - \cos 2\alpha)$:

$$\begin{aligned} \int_0^{\pi/\omega} \sin^2 \omega t dt &= \int_0^{\pi/\omega} \frac{1}{2}(1 - \cos 2\omega t) dt = \\ &= \frac{1}{2} \left[t - \frac{\sin 2\omega t}{2\omega} \right]_0^{\pi/\omega} = \frac{\pi}{2\omega}. \\ &= \sqrt{\frac{\omega u_0^2}{\pi} \frac{\pi}{2\omega}} = \frac{u_0}{\sqrt{2}}. \end{aligned}$$

Máme tedy

$$U_{\text{ef}} = \frac{u_0}{\sqrt{2}}. \quad (3)$$

Podobně efektivní hodnota proudu

$$I_{\text{ef}} = \frac{i_0}{\sqrt{2}}. \quad (4)$$

Nápověda 3 – porovnání tepel

Určete správné teplo, které bylo spirálou za čas t vodě předáno a porovnejte

s chybným výpočtem Evy.

Řešení nápovědy 3 – porovnání tepel

Spirála se chová jako rezistor, proud a napětí je tedy ve fázi a pro výkon lze psát

$$P = U_{\text{ef}} I_{\text{ef}}.$$

Za čas t předá spirála vodě teplo

$$Q_{\text{spravne}} = U_{\text{ef}} I_{\text{ef}} t.$$

Dosaďme za efektivní hodnoty z (3), (4)

$$Q_{\text{spravne}} = \frac{u_0}{\sqrt{2}} \frac{i_0}{\sqrt{2}} t = \frac{1}{2} u_0 i_0 t.$$

Maximální hodnoty vyjádříme pomocí hodnot středních z (1), (2)

$$Q_{\text{spravne}} = \frac{1}{2} \left(\frac{\pi}{2} \bar{u} \right) \left(\frac{\pi}{2} \bar{i} \right) t = \frac{\pi^2}{8} \bar{u} \bar{i} t. \quad (5)$$

Eva dosazovala do vztahu pro efektivní hodnoty hodnoty střední, vypočítala tak chybné teplo

$$Q_{\text{chybne}} = \bar{u} \bar{i} t. \quad (6)$$

Porovnáním (5) a (6) máme

$$Q_{\text{spravne}} = \frac{\pi^2}{8} Q_{\text{chybne}} \doteq 1,23 Q_{\text{chybne}}.$$

Reálně předané teplo je oproti Evině chybnému výpočtu cca o 23 % větší.

Odpověď

Reálně předané a chybně určené teplo jsou ve vztahu

$$Q_{\text{spravne}} = \frac{\pi^2}{8} Q_{\text{chybne}} \doteq 1,23 Q_{\text{chybne}}.$$

Tj. reálně předané teplo je oproti chybnému výpočtu cca o 23 % větší.

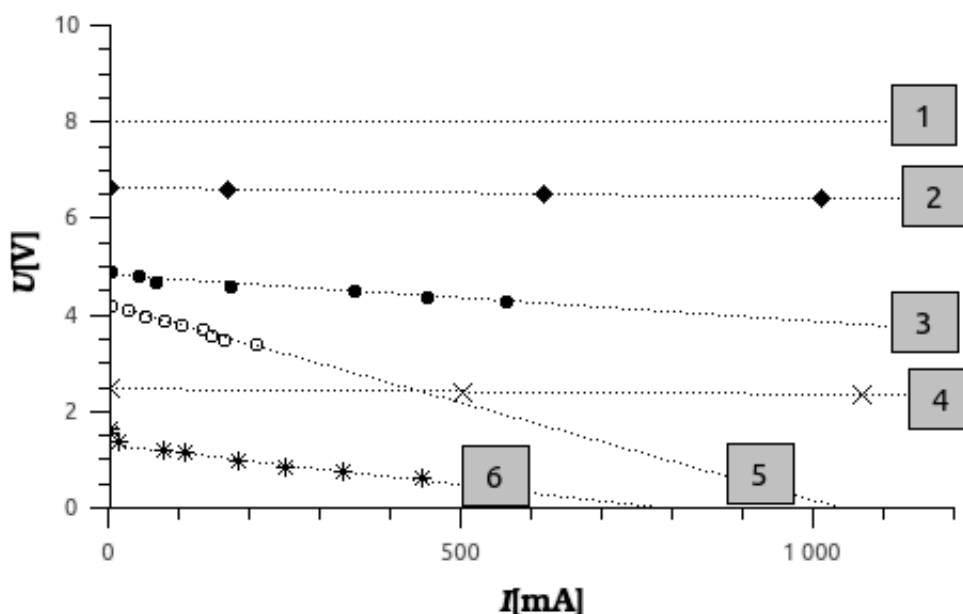
Charakteristiky zdrojů

Úloha číslo 1633

V následujícím grafu jsou zakresleny zatěžovací charakteristiky šesti zdrojů napětí, konkrétně

- NiFe akumulátoru s napětím přibližně 6,6 V,
- čerstvé ploché 4,5 V baterie
- starší ploché 4,5 V baterie
- výstupu ze školního transformátoru s označením 2 V
- usměrněného výstupu z transformátoru s označením 2 V
- ideálního zdroje napětí.

Zatěžovací charakteristiky vybraných zdrojů



<http://fyzikalniulohy.cz>

Při měření si laborant nepoznačil, která data odpovídají kterým zdrojům. Pomozte mu přiřadit průběhy 1 až 6 zdrojům a) až f).

Teorie

Ideální zdroj poskytuje napětí, které se nemění se zvětšováním odebíraného proudu. Ideálním zdrojům se mohou blížit tzv. *tvrdé zdroje*, jejichž vnitřní odpor a tedy i příslušný úbytek napětí je malý. K nim patří například olověný akumulátor – při startování automobilu musí dodávat velké proudy, dále výstupy z transformátoru apod.

Naopak *měkké zdroje* mají vnitřní odpor větší, což znamená znatelnější úbytek napětí při zatížení. Mezi ně patří různé galvanické články, přičemž se stárnutím se stávají měkčími, tj. hůře „drží napětí“.

Na téměř vybité baterii lze naměřit až její plné napětí, avšak při zatížení (např. žárovkou) napětí znatelně poklesne, někdy až k nule.

Nápověda

Nejprve si všimněte elektromotorických napětí a proveďte první rozřazení.

Dále porovnávejte tvrdost zdrojů, tj. jak moc rychle napětí klesá.

Řešení nápovědy

Ideální zdroj s napětím 8 V dává toto napětí nezávisle na proudu. Tedy **1f**.

Akumulátoru s napětím přibližně $6,6\text{ V}$ odpovídá dle hodnoty elektromotorického napětí charakteristika 2. Proto **2a**.

Elektromotorická napětí kolem $4,5\text{ V}$ mají charakteristiky 3 a 5.

Charakteristika 3 klesá pomaleji, patří tedy čerstvé ploché baterii, zatímco 5 baterii starší. Tedy **3b** a **5c**.

Na výstup z transformátoru a usměrněný výstup zbývají charakteristiky 4 a 6. Na usměrňovači dojde zřejmě k úbytku napětí a v počátku se projeví nelinearita plynoucí z voltampérové charakteristiky diod. Proto **4d** a **6e**.

Odpověď

Přiřazení zdrojů a jejich charakteristik

- 1f,
- 2a,
- 3b,
- 4d,
- 5c,
- 6e.

Úbytek napětí na prodlužováku

Úloha číslo 1648

Z elektrické zásuvky 230 V má být odebírán proud 10 A přes prodlužovací přívod s parametry

- a) 40 m, 1,5 mm², měď,
- b) 10 m, 1,0 mm², měď,
- c) 5 m, 0,75 mm², měď,
- d) 2 m, 0,5 mm², měď

Určete výsledné napětí na spotřebiči při použití jednotlivých přívodů.

Rozbor

Zapojíme-li spotřebič ke zdroji přes prodlužovací šňůru, pak je potřeba jak na její fázový tak střední vodič nahlížet jako na rezistory zapojené spolu se spotřebičem v sérii.

Je-li l délka prodlužovacího přívodu, je odpor jedné žíly

$$R = \rho \frac{l}{S},$$

kde S je průřez a ρ rezistivita vodiče žíly.

Proud teče „tam a zpět“, proto je celkový úbytek napětí na prodlužovacím přívodu dvojnásobný, tj.

$$\Delta U = 2RI.$$

Napětí na spotřebiči je tedy napětí zásuvky zmenšené o tento úbytek, tj.

$$U = U_0 - \Delta U = U_0 - 2RI.$$

Nápověda

Jak vypočítáme úbytek napětí na prodlužovacím přívodu?

Hodnotu rezistivity ρ mědi vyhledejte v tabulkách.

Řešení nápovědy

Spotřebič je spolu s žílami prodlužovacího přívodu v sérii. Teče-li jím proud I , pak je výsledné napětí na spotřebiči

$$U = U_0 - 2RI, \quad (1)$$

kde U_0 je napětí v zásuvce a R odpor jedné žíly, který je

$$R = \rho \frac{l}{S}. \quad (2)$$

Dosazením (2) do (1) máme

$$U = U_0 - \frac{2\rho l I}{S}$$

Číselně pro jednotlivé případy

- a) $U = \left(230 - \frac{2 \cdot 0,0169 \cdot 40 \cdot 10}{1,5} \right) \text{ V} \doteq 221 \text{ V},$
- b) $U = \left(230 - \frac{2 \cdot 0,0169 \cdot 10 \cdot 10}{1,0} \right) \text{ V} \doteq 227 \text{ V},$
- c) $U = \left(230 - \frac{2 \cdot 0,0169 \cdot 5 \cdot 10}{0,75} \right) \text{ V} \doteq 228 \text{ V},$
- d) $U = \left(230 - \frac{2 \cdot 0,0169 \cdot 2 \cdot 10}{0,5} \right) \text{ V} \doteq 229 \text{ V},$

kde jsme dosazovali rezistivitu mědi $\rho = 0,0169 \Omega \text{ mm}^2 \text{ m}^{-1}$ z tabulek.

Odpověď

Napětí na spotřebiči při použití jednotlivých prodlužovacích přívodů jsou

- a) $U = 221 \text{ V},$
- b) $U = 227 \text{ V},$
- c) $U = 228 \text{ V},$
- d) $U = 229 \text{ V}.$

Čím je prodlužovací přívod delší a průřez žil menší, tím je napětí na konci přívodu nižší (úbytek napětí na přívodu je větší).

Odběr žárovek v automobilu

Úloha číslo 1663

Automobilový akumulátor s napětím 12 V napájí paralelně zapojené žárovky dvou potkávacích světel s odporem $R_1 = 2,5 \Omega$, dvou mlhových světel s odporem $R_2 = 4 \Omega$ a žárovku osvětlení SPZ $R_3 = 30 \Omega$.

Určete celkový odpor zapojení a odebíraný proud, jestliže jsou společně s osvětlením SPZ zapnuta

- a) pouze potkávací světla,
- b) potkávací i mlhová světla.

V obou případech vypočítejte proudy odebírané jednotlivými žárovkami.

Odpory žárovek jsou uvedeny za tepla. Proud ostatními spotřebiči neuvažujte.

Teorie

Budeme potřebovat Ohmův zákon pro část obvodu

$$U = RI,$$

kde U je napětí na části vodiče o odporu R , kterým protéká proud I .

Jsou-li rezistory (příp. žárovky) řazeny sériově, pak se jejich odpory sčítají

$$R_v = R_1 + R_2 + \dots + R_n,$$

jestliže jsou řazeny paralelně, sčítají se jejich převrácené hodnoty

$$\frac{1}{R_v} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n},$$

Vzhledem k značné tvrdosti automobilového akumulátoru a poměrně malému odběru žárovek (např. vzhledem ke startovacím proudům) jej považujeme za ideální zdroj, tj. $U \neq U(I)$.

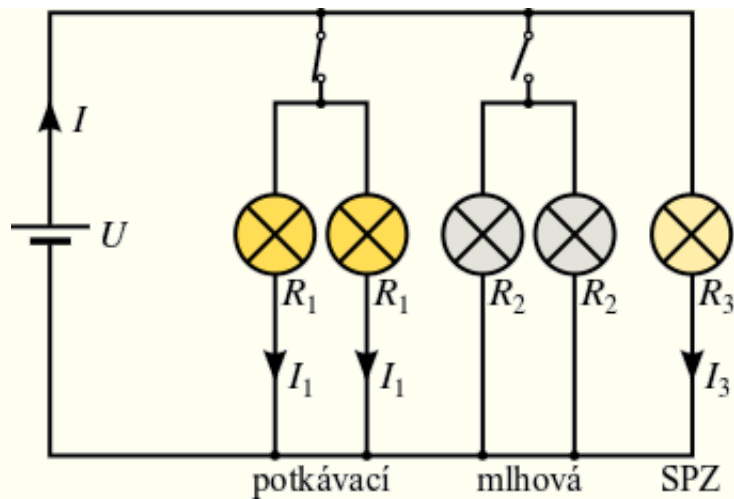
a) Náповěda – potkávací světla

Nakreslete schéma zapojení pro případ, kdy máme zapnuta potkávací světla. Žárovky jsou zapojeny paralelně, jak vypočítáme výsledný odpor takového zapojení?

Dále určete celkový proud a proudy jednotlivými žárovkami.

a) Řešení náповědy – potkávací světla

Schéma zapojení žárovek pro tuto situaci je na následujícím obrázku.



<http://fyzikalniulohy.cz>

Schéma je zjednodušené – světelné okruhy jsou jištěny např. pojistkami. Vypínače nebudou ovládat přímo silová vedení, ale příslušná spínací relé.

Nejprve vypočítáme celkový odpor. V tomto případě jsou zapojeny paralelně dvě potkávací žárovky R_1 a žárovka osvětlení SPZ R_3 .

Pro výsledný odpor R_v lze psát

$$\frac{1}{R_v} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{2,5 \Omega} + \frac{1}{2,5 \Omega} + \frac{1}{30 \Omega} = \frac{1}{1,2 \Omega},$$

tedy

$$R_v = 1,2 \Omega.$$

Celkový proud obvodem je proto

$$I = \frac{U}{R_v} = \frac{12 \text{ V}}{1,2 \Omega} = 10 \text{ A}.$$

Všechny žárovky jsou připojeny na napětí akumulátoru U . Proto proud žárovkou potkávacího světla je jednoduše

$$I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{12 \text{ V}}{2,5 \Omega} = 4,8 \text{ A},$$

a proud žárovkou osvětlení SPZ

$$I_3 = \frac{U}{R_3} = \frac{12 \text{ V}}{30 \Omega} = 0,4 \text{ A}.$$

Pro kontrolu sečteme všechny proudy, které žárovky odebírají

$$I = 2I_1 + I_3 = 2 \cdot 4,8 \text{ A} + 0,4 \text{ A} = 10 \text{ A},$$

a dostáváme samozřejmě proud vypočítaný výše.

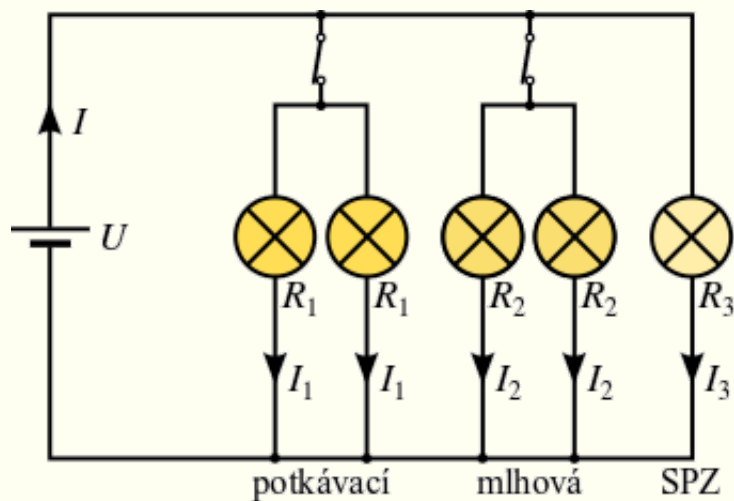
b) Náповěda – zapnutí mlhových světel

Nakreslete schéma zapojení pro případ, kdy jsme navíc zapnuli mlhová světla. Všechny žárovky jsou opět zapojeny paralelně – jak vypočítáme výsledný odpor takového zapojení?

Dále určete celkový proud a proudy jednotlivými žárovkami.

b) Řešení nápovědy – zapnutí mlhových světel

Schéma zapojení žárovek pro tuto situaci je na následujícím obrázku.



<http://fyzikalniulohy.cz>

Schéma je zjednodušené – světelné okruhy jsou jistěny např. pojistkami. Vypínače nebudou ovládat přímo silová vedení, ale příslušná spínací relé.

Nejprve vypočítáme celkový odpor. V tomto případě jsou zapojeny paralelně dvě potkávací žárovky R_1 , dvě mlhové žárovky R_2 a žárovka osvětlení SPZ R_3 .

Pro výsledný odpor R_v lze psát

$$\begin{aligned}\frac{1}{R_v} &= \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \\ &= \frac{1}{2,5\ \Omega} + \frac{1}{2,5\ \Omega} + \frac{1}{4\ \Omega} + \frac{1}{4\ \Omega} + \frac{1}{30\ \Omega} = \frac{1}{0,75\ \Omega},\end{aligned}$$

tedy

$$R_v = 0,75\ \Omega.$$

Celkový proud obvodem je proto

$$I = \frac{U}{R_v} = \frac{12\ \text{V}}{0,75\ \Omega} = 16\ \text{A}.$$

Všechny žárovky jsou připojeny na napětí akumulátoru U . Proud žárovkou potkávacího světla je opět

$$I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{12\ \text{V}}{2,5\ \Omega} = 4,8\ \text{A},$$

stejný zůstává i proud žárovkou osvětlení SPZ

$$I_3 = \frac{U}{R_3} = \frac{12\ \text{V}}{30\ \Omega} = 0,4\ \text{A}.$$

Žárovka mlhového světla bude odebírat proud

$$I_2 = \frac{U}{R_2} = \frac{12 \text{ V}}{4 \Omega} = 3 \text{ A}.$$

Pro kontrolu sečteme všechny proudy, které žárovky odebírají

$$I = 2I_1 + 2I_2 + I_3 = 2 \cdot 4,8 \text{ A} + 2 \cdot 3 \text{ A} + 0,4 \text{ A} = 16 \text{ A},$$

a dostáváme samozřejmě proud vypočítaný výše.

Odpověď

Svítí-li společně s žárovkou SPZ pouze potkávací světla, je celkový odpor $1,2 \Omega$. Jestliže navíc zapneme mlhovky, klesne odpor zapojení na $0,75 \Omega$.

Po zapnutí mlhových světel vzroste odebíraný proud z 10 A na 16 A .

Žárovka potkávacího světla odebírá proud $4,8 \text{ A}$, žárovka mlhového světla 3 A a žárovka osvětlení SPZ $0,4 \text{ A}$.