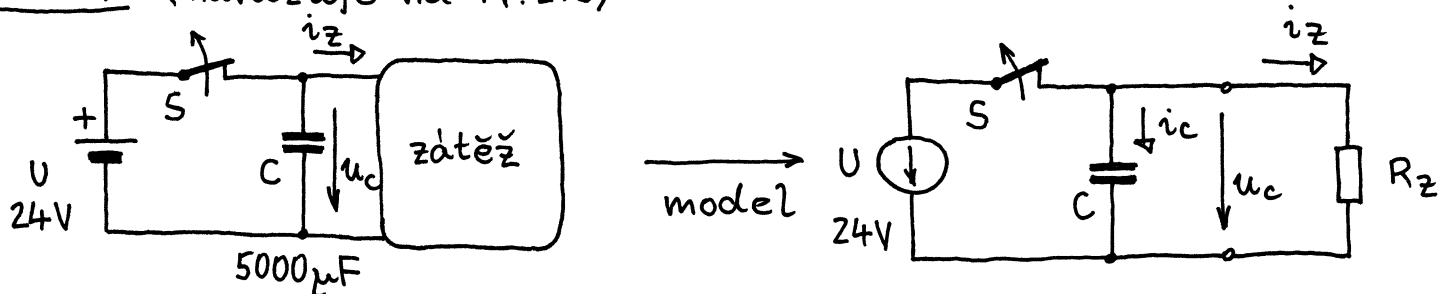


Přechodné děje 1. řádu se stejnosměrnými zdroji - řešení v časové oblastiPř. 11.1: (navazuje na Př. 2.3)

Na baterii s napětím $U = 24\text{V}$ je přes spínač S připojen spotřebič, který při jmenovitém napětí 24V odebírá konstantní proud $I_z = 0,3\text{A}$. Paralelně ke svorkám spotřebiče (zátěže) je připojen filtrační kondenzátor $C = 5000\text{ }\mu\text{F}$. Zátěž budeme přibližně modelovat pomocí lineárního rezistoru R_z . Další podrobnosti viz Př. 2.3.

a) obvod se nachází ve stacionárním ustáleném stavu (po zapnutí spínače S jsme počkali dostatečně dlouho, aby se poměry v obvodu ustálily); všechny napětí i proudy jsou konstantní (stejnosměrné); vypočítejte hodnotu lin. rezistoru R_z , který modeluje chování zátěže pro jmenovité hodnoty napětí a proudu; jaké je ustálené napětí u_c na filtračním kondenzátoru?; jaký je proud i_c tekoucí do kondenzátoru?

b) v čase $t = 0$ dojde k rozeptnutí spínače S (odpojení zátěže a kapacitoru od baterie; pro $t < 0$ byl obvod v SUS (viz a)); vypočítejte časový průběh napětí $u_c(t)$ v průběhu přechodného děje vyvolaného odpojením zdroje; vypočítejte časové průběhy veličin $i_c(t)$ a $i_z(t)$;

c) časové průběhy znázorněte graficky pro čas $t \geq 0$ i $t < 0$; vyznačte časovou konstantu τ ;

d) vypočítejte čas t_0 , po který může být spotřebič po odpojení zdroje napájen z kondenzátoru aniž by to ovlivnilo jeho správnou funkci; spotřebič je schopen správně fungovat při napájecím napětí s maximální odchylkou $+10\%$ až -25% od jmenovité hodnoty 24V .

e) navrhnete hodnotu filtračního kondenzátoru

EOS

cvičení

11

$C = ?$ tak, aby bylo připojené zařízení (zátěž)

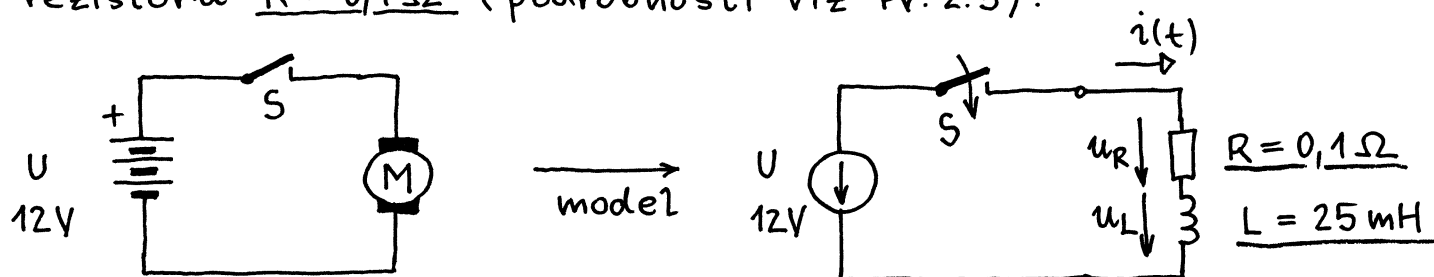
2011 - 2/11

schopno pracovat ještě alespoň 2 s po odpojení

napájecího zdroje; jaká nejbližší vyšší kapacita je v praxi k dispozici?

Př. 11.2: (navazuje na Př. 2.5)

Stejnoseměrný elektromotor (startér v automobilu) se připojuje k akumulátorové baterii o napětí $U = 12V$ spínačem S . Baterii zjednodušeně modelujeme nezávislým zdrojem napětí U (neuvažujeme vnitřní odpor baterie). Chování motoru zjednodušeně modelujeme sériovým spojením induktoru $L = 25mH$ a rezistoru $R = 0,1\Omega$ (podrobnosti viz Př. 2.5).

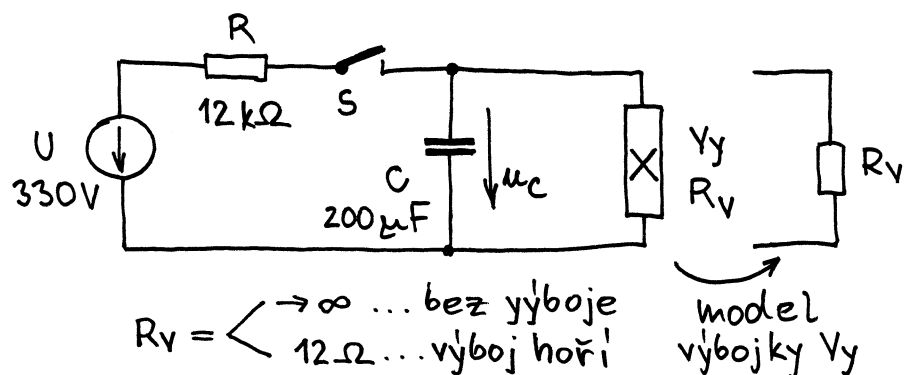


a) pro čas $t < 0$ je obvod v ustáleném stavu, spínač S je rozepnut; v čase $t = 0$ připojíme motor k baterii (spínač S se sepne); vypočítejte časový průběh proudu $i(t)$ procházejícího vinutím motoru během vzniklého přechodného děje; vypočítejte čas. průběhy napětí $u_L(t)$ indukovaného na indukčnosti vinutí a úbytku napětí $u_R(t)$ na odporu vinutí;

b) časové průběhy $i(t)$, $u_L(t)$ a $u_R(t)$ znázorněte graficky pro čas $t \geq 0$ i $t < 0$; vyznačte časovou konstantu τ ;

c) vypočítejte časy t_1 a t_2 v nichž dosáhne proud $i(t)$ 50% respektive 95% své ustálené hodnoty.

Př. 11.3: obvod xenonového fotoblesku lze zjednodušeně nakreslit zapojením dle obrázku. Při sepnutém spínači S



se kondenzátor C nabíjí ze zdroje napětí U přes rezistor R . Nabíjení je automaticky ukončeno při dosažení 99% napětí napájecího (nabíjecího) zdroje.

2011 - 3/11

Kondenzátor je k výbojce V_y připojen trvale, neboť „zápalné napětí“ výbojky je výrazně vyšší než napětí, na které je nabíjen kondenzátor. Výboj musí být iniciován (zapálen) vysokonapětovým impulzem přivedeným na pomocnou startovací (zapalovací) elektrodu výbojky. (Tato elektroda ani pomocné vn obvody nejsou na obrázku zachyceny.) Výboj při svém „hoření“ spotřebovává energii nahromaděnou v kondenzátoru. Jakmile napětí na výbojce poklesne na tzv. „zhasací napětí“ $U_{\min} = 80V$, výboj zhasne. Pokud ve výbojce nehoří výboj (před jeho zapálením a po jeho zhasnutí) lze ji považovat za nekonečně velký odpor $R_y \rightarrow \infty$. Pokud výboj hoří, lze ho přibližně modelovat lineárním rezistorem s odporem $R_v = 12 \Omega$ (ve skutečnosti ale výboj vykazuje nelineární voltampérovou charakteristiku).

a) vypočítejte, za jak dlouho se kapacitor nabije na 99% napětí zdroje ($U = 330V$) za předpokladu, že byl před začátkem nabíjení zcela bez náboje;

b) vypočítejte, jak dlouho bude po zapálení hořet ve výbojce výboj (výboj zhasne při poklesu napětí na $80V$;

c) vypočítejte, jak dlouho bude trvat opětové nabití kondenzátoru (na $99\% U$) ze stavu, kdy zůstal nabitý na napětí rovném zhasacímu napětí výbojky ($U_{\min} = 80V$) po zhasnutí předcházejícího výboje;

d) nakreslete časový průběh napětí $u_c(t)$ na kapacitoru v průběhu přechodných dějů podle bodů a) až c)

e) vypočítejte energii W_c , která byla uložena v kapacitoru C při jeho nabití na 99% napětí napájecího zdroje;

f)* vypočítejte energii ΔW , která se spotřebuje ve výbojce během hoření výboje.

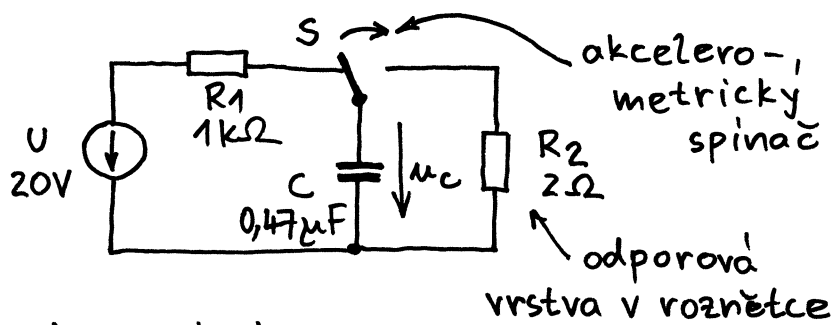
* „nepovinné“ otázky pro zvidavé a náročné

Př. 11.4: Na obrázku je obvod sloužící

k aktivaci airbagu. V klidovém stavu je kondenzátor $C = 0,47 \mu\text{F}$ udržován nabitý na napětí 20V. V případě havárie je kapacitor pomocí

2011 - 4/11

akcelerometrického spínače připojen na pyrotechnickou roznětku vybavovacího mechanismu airbagu (nelze spoléhat na akumulátor automobilu, ten může být již poškozen nebo může být přerušeno elektrické vedení). Roznětku je aktivována zahřátím tenké vrstvy odporového materiálu (např. Ta_2N) průchodem el. proudu z kapacitoru C . Odporová vrstva v roznětce je modelována lineárním rezistorem $R_2 = 2 \Omega$.



a) v čase $t < 0$ se obvod nacházel v ustáleném stavu (spínač S „vlevo“); v čase $t = 0$ dojde k aktivaci akcelerometrického spínače (S přepne „vpravo“);

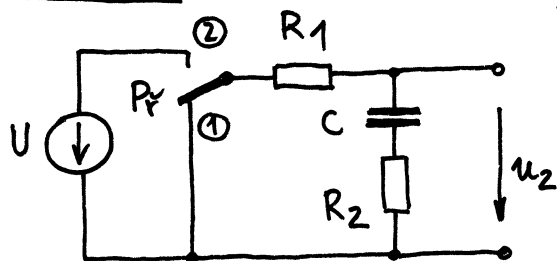
b) vypočítejte časový průběh energie $w_c(t)$ uložené v kondenzátoru během jeho vybíjení do roznětky airbagu;

vypočítejte časový průběh napětí $u_c(t)$ pro přech. děj v $t \geq 0$;

c) vypočítejte čas Δt , který uplyne mezi sepnutím akcelerometrického spínače a aktivací roznětky; pro aktivaci je třeba, aby se na odporové vrstvě vyvinulo teplo $50 \mu\text{J}$ (= el. energie přeměněná na teplo); při vyvinutí uvedeného množství tepla dosáhne teplota v roznětce tzv. „teploty vznícení“ zápalné směsi (cca 400°C); (teplotní závislost odporu odporové vrstvy lze zanedbat);

d)* vypočítejte časový průběh energie $w(t)$ přeměněné na odporové vrstvě v teplo od začátku vybíjení kapacitoru (lze počítat pomocí okamžitého výkonu $p_2(t)$ na rezistoru R_2 nebo z energetické bilance s využitím znalosti $w_c(t)$); průběhy energií $w_c(t)$ a $w(t)$ znázorňte graficky; na průběhu $w(t)$ vyznačte aktivací energii $50 \mu\text{J}$ a časový interval Δt (viz c))

Př. 11.5:



$U = 10V$; $R_1 = 2k\Omega$;
 $C = 0,25\mu F$; $R_2 = 2k\Omega$
 (zapojení viz Př. 10.8)

a) pro $t < 0$ je obvod

v ustáleném stavu (US); spinač Př v poloze ①;

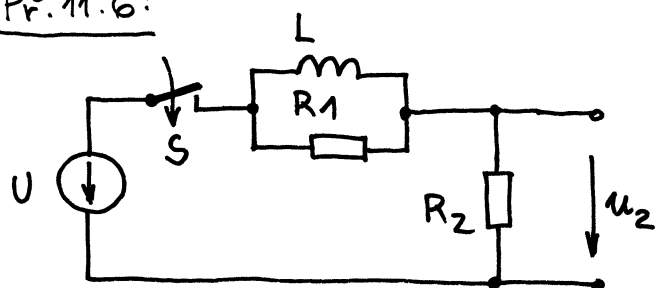
v $t = 0$ přepne Př z polohy ① do ②;
 vypočítejte čas. průběh napětí $u_2(t)$
 pro $t \geq 0$; průběh $u_2(t)$ znázorněte
 graficky $u_2(t)$ pro $t \geq 0$ i pro $t < 0$;

b) pro $t < 0$ obvod v US, Př v poloze ②;
 v $t = 0$ Př přepne z ② do ①; vypočítejte
 a znázorněte $u_2(t)$ (podobně jako v a));

c)* zamyslete se nad souvislostmi chování tohoto obvodu
 v časové oblasti (zde) a v kmitočtové oblasti (v Př. 10.8);

např. pro a) platí: $\lim_{t \rightarrow \infty} \frac{u_2(t)}{U} = \lim_{\omega \rightarrow 0} |\hat{P}(j\omega)|$; $\frac{u_2(0+)}{U} = \lim_{\omega \rightarrow \infty} |\hat{P}(j\omega)|$
 a také $\gamma = 1/\omega_z$...

Př. 11.6:



$U = 20V$; $L = 0,6H$;
 $R_1 = 300\Omega$; $R_2 = 200\Omega$

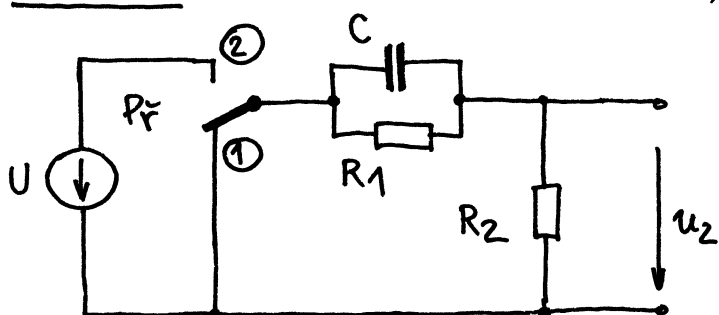
a) pro $t < 0$ je obvod v US (SUS);

v $t = 0$ sepne S; vypočítejte
 průběh $u_2(t)$ pro $t \geq 0$; znázorněte
 graficky pro $t \geq 0$ i $t < 0$;

b) srovnajte průběh $u_2(t)$
 s průběhem $u_2(t)$ podle Př. 11.5 a);
 lze popis chování obou obvodů
 společně zobecnit?

c)* odvoďte přenos obvodu $\hat{P} = \hat{U}_2 / \hat{U}_1$ (popis chování v kmitočtové
 oblasti shodného obvodu); na vstup připojen zdroj harmonického
 napětí \hat{U}_1 (přímo bez spinače S); zkoumejte souvislosti chování
 obvodu v kmitočtové a v časové oblasti (viz Př. 11.5 c)*).

Př. 11.7: (zapojení viz též Př. 10.6)



$U = 20V$; $C = 2,7nF$; $R_1 = 18k\Omega$; $R_2 = 2k\Omega$

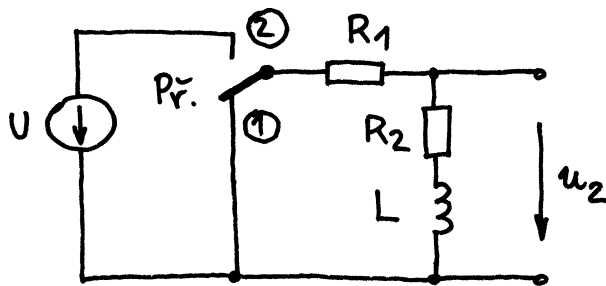
a) pro $t < 0$ obvod v US; přepi-
 nač Př v poloze ①; v $t = 0$ Př
 přepne z ① do ②; vypočítejte
 a nakreslete průběh $u_2(t)$;

b) $t < 0$ obvod v US; Př ve ②;
 v $t = 0$ Př přepne z ② do ①;
 vypočítejte a nakreslete $u_2(t)$;

2011 - 6/11

c)* promyslete souvislosti chování tohoto obvodu v časové (zde) a v kmitočtové oblasti (viz Př. 10.6 ve srovnání s Př. 11.7a)); detaily viz Př. 11.5 c)*.

Př. 11.8: (viz též Př. 10.7)



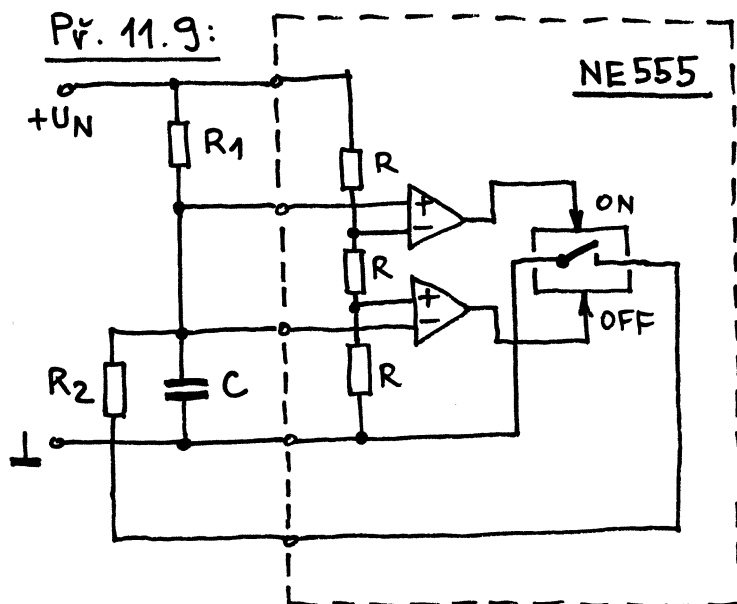
$$U = 56 \text{ V}; R_1 = 980 \, \Omega; R_2 = 140 \, \Omega; L = 56 \text{ mH}$$

a) pro $t < 0$ je obvod v US, Př v poloze ①; v $t = 0$ přepne Př z polohy ① do ②; vypočítejte a nakreslete $u_2(t)$ pro $t \geq 0$ i $t < 0$;

b) pro $t < 0$ obvod v US; Př v poloze ②; v $t = 0$ přepne Př z polohy ② do ①; vypočítejte a nakreslete časový průběh $u_2(t)$ pro $t \geq 0$ i $t < 0$;

c)* zamyslete se nad souvislostmi chování obvodu v časové (zde dle a)) a kmitočtové oblasti (viz Př. 10.7); podrobnosti viz Př. 11.5 c)*.

Př. 11.9:

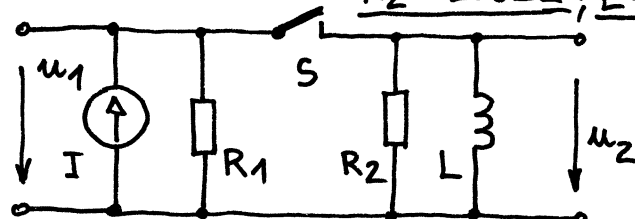


Univerzální „časovač“ 555 v zapojení pro generátor periodického napětí.

① Příklad č. 11.9 je obsažen v dodatku k sadě příkladů č. 11.

Př. 11.10:

$$I = 0,1 \text{ A}; R_1 = 300 \, \Omega; R_2 = 200 \, \Omega; L = 0,6 \text{ H}$$



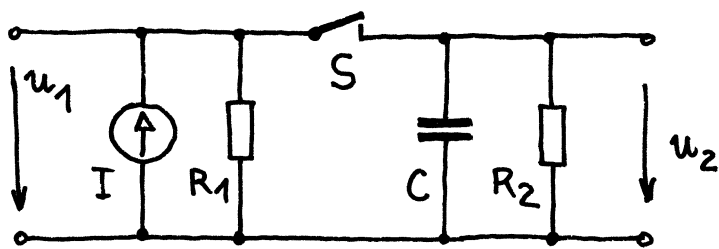
a) pro $t < 0$ je spínač S rozepnut a obvod je v US; v $t = 0$ sepne S; vypočítejte časový průběh $u_2(t)$ (případně také $u_1(t)$) během vzniklého přechodného děje pro $t \geq 0$; průběhy nakreslete;

2011 - 7/11

b) pro $t < 0$ je spínač S sepnut, obvod se nachází v US; v $t = 0$ rozepneme S ; vypočítejte a nakreslete časový průběh napětí $u_2(t)$ (případně také $u_1(t)$);

c)* je nějaká souvislost nebo podobnost mezi obvodem v tomto příkladu a obvodem z Př. 11.6 ?

Př. 11.11:



$$I = 2,5 \text{ mA}; R_1 = 18 \text{ k}\Omega;$$

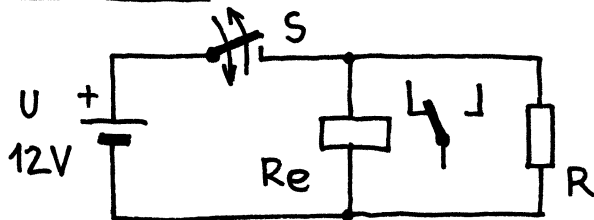
$$C = 2,7 \text{ nF}; R_2 = 2 \text{ k}\Omega$$

a) pro $t < 0$ je spínač S rozepnut, obvod je v US; v $t = 0$ dojde k sepnutí spínače S ; vypočítejte a nakreslete časový průběh napětí $u_2(t)$ (případně také napětí $u_1(t)$);

b) pro $t < 0$ je S sepnut a obvod je v US; v $t = 0$ dojde k rozepnutí S ; vypočítejte $u_2(t)$ (případně $u_1(t)$);

c)* je nějaká souvislost nebo podobnost mezi obvodem v tomto příkladu a obvodem z Př. 11.7 ?

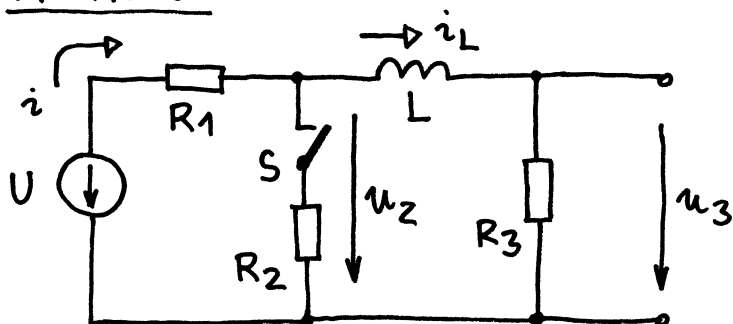
Př. 11.12: (navazuje na příklad Př. 2.7)



Spínání a rozpinání obvodu ovládací cívky elektromagnetického relé; vznik přepětí při rozpinání obvodu s induktorem.

❶ Příklad č. 11.12 je obsažen v dodatku k sadě příkladů č. 11.

Př. 11.13:



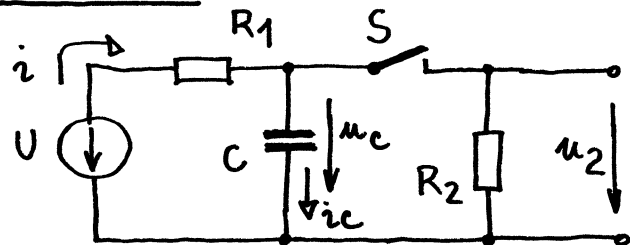
a) spínač S je rozepnut a obvod je v US pro $t < 0$; v $t = 0$ dojde k sepnutí spínače S ; vypočítejte a nakreslete časové průběhy veličin $i_L(t)$, $i(t)$, $u_3(t)$ a $u_2(t)$ během

$U = 18 \text{ V}; R_1 = 1,2 \text{ k}\Omega; R_2 = 400 \Omega; L = 0,18 \text{ H}; R_3 = 600 \Omega$ vzniklého přech. děje;

2011 - 8/11

b) spínač S je pro $t < 0$ sepnut a obvod je v US; v $t = 0$ dojde k rozeptnutí S ; vypočítejte a nakreslete časové průběhy veličin $i_L(t)$, $i(t)$, $u_3(t)$ a $u_2(t)$ během přech. děje.

Př. 11.14:

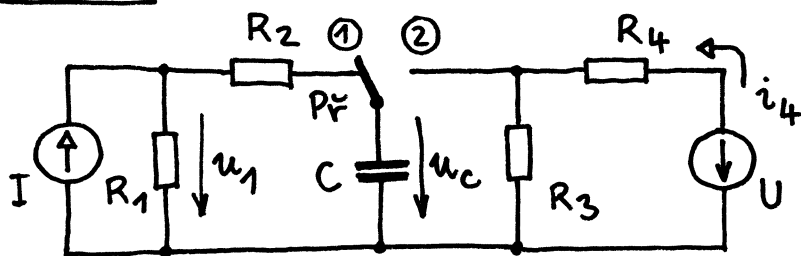


$$U = 27V; R_1 = 18k\Omega; C = 0,5\mu F; R_2 = 9k\Omega$$

a) $t < 0$... S rozeptnut, obvod v US
 $t = 0$... S sepne; vypočítejte čas. průběhy $u_c(t)$, $i_c(t)$, $u_2(t)$, $i(t)$ a graficky znázorněte;

b) $t < 0$... S sepnut, obvod v US
 $t = 0$... S rozeptne; vypočítejte čas. průběhy $u_c(t)$, $i_c(t)$, $i(t)$ a nakreslete.

Př. 11.15:

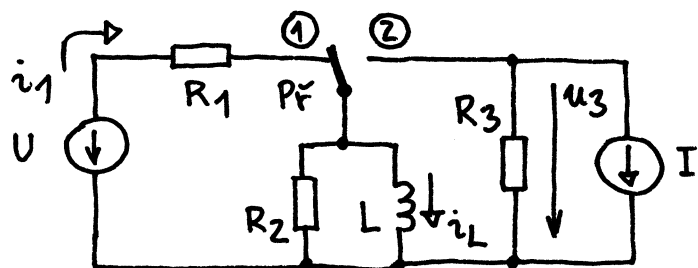


$$I = 12mA; C = 5\mu F; U = 25V; \\ R_1 = 5k\Omega; R_2 = 3k\Omega; R_3 = 20k\Omega; R_4 = 5k\Omega$$

a) $t < 0$... přepínač Př v poloze ①, obvod je v US;
 $t = 0$... Př přepne ① → ②; vypočítejte a nakreslete průběhy veličin $u_c(t)$ a $i_4(t)$;

b) $t < 0$... Př v poloze ②, obvod v US; $t = 0$... Př přepne ② → ①; vypočítejte a nakreslete průběhy veličin $u_c(t)$ a $u_1(t)$.

Př. 11.16:

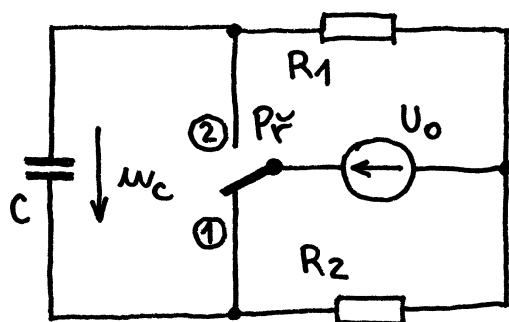


$$U = 24V; R_2 = 20k\Omega; L = 0,3H; \\ R_1 = 12k\Omega; R_3 = 30k\Omega; I = 3mA$$

a) $t < 0$... přepínač Př v pol. ①, obvod je v US;
 $t = 0$... Př přepne ① → ②; vypočítejte a nakreslete průběhy veličin $i_L(t)$ a $u_3(t)$;

b) $t < 0$... přepínač Př v poloze ②, obvod je v US;
 $t = 0$... Př přepne ② → ①; vypočítejte a nakreslete průběhy veličin $i_L(t)$ a $i_1(t)$.

2011 - 9/11

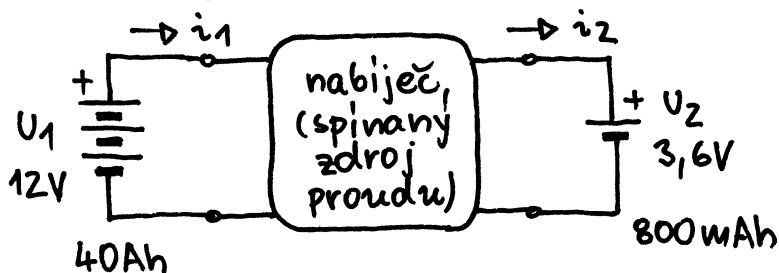


$$C = 2 \mu F; R_1 = 5 k\Omega; U_0 = 5V; R_2 = 10 k\Omega$$

a) $t < 0$... Př v poloze ①, obvod v US; v $t = 0$ Př přepne ① \rightarrow ②; vypočítejte a nakreslete $u_c(t)$;

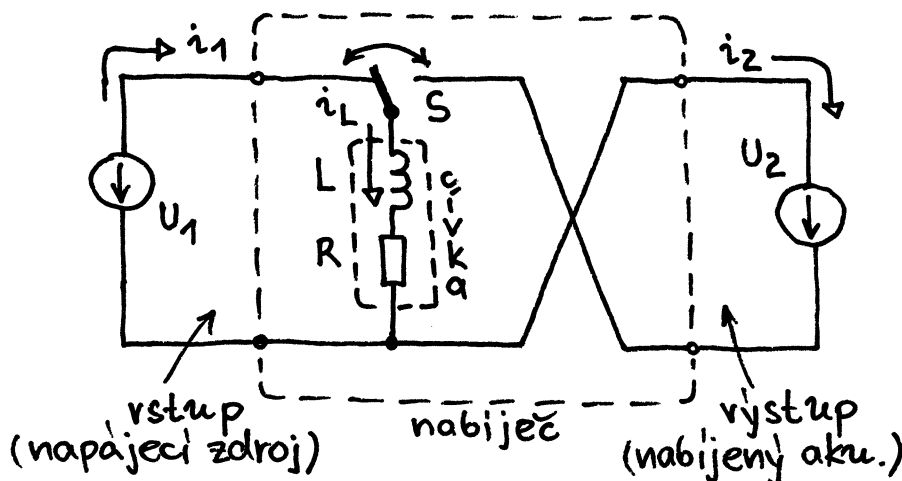
b) $t < 0$... Př v poloze ②, obvod v US; v $t = 0$ Př přepne ② \rightarrow ①; vypočítejte a nakreslete $u_c(t)$.

Př. 11.18: (navazuje na Př. 2.6)



Nabíječ na principu spínaného zdroje je napájen z akumulátoru o napětí $U_1 = 12$ a s kapacitou $40Ah$. Úkolem nabíječe je nabít akumulátor o napětí $U_2 = 3,6V$ (např. 3 články NiCd) s kapacitou $800mAh$.

Nabíjení má probíhat přerušovaně, kdy se má nabíjecí proud i_2 v aktivní části nabíjecího cyklu pohybovat v rozmezí $I_{2min} = 0,09A$ až $I_{2max} = 0,11A$. Nabíječ obsahuje cívku s indukčností



$L = 7,2mH$ a sériovým ztrátovým odporem $R = 12\Omega$ (odpor vinutí, ztráty v jádře atd.).

V příkladu 2.6 jsme uvažovali (ideální) induktor, zde pracujeme s reálným prvkem – cívkou. Dále nabíječ

obsahuje elektronicky řízený přepínač S a řídící elektroniku. V základním stavu je cívka připojena na vstup (napájecí zdroj U_1). Pokud proud cívkou i_L překročí hodnotu $I_{Lmax} = I_{2max} = 0,11A$, cívka je přepojena na výstup (nabíjený akumulátor U_2). Pokud i_L klesne pod hodnotu $I_{Lmin} = I_{2min} = 0,09A$, je cívka přepojena zpět na vstup nabíječe. V ustáleném stavu (PNVS) dochází k periodickému přepínání cívky mezi vstupem a výstupem. (Viz též popis k Př. 2.6.)

Tento typ ustáleného stavu (PNUS -
-periodický neharmonický ustálený stav)

2011 - 10/11

je v tomto případě tvořen dvojicí periodicky se opakujících
přechodných dějů (magnetování cívky při připojení na napá-
jecí zdroj a demagnetování cívky při připojení na nabíjený
akumulátor).

(akumulátor U_2 již připojen)
a) ve výchozím stavu je zdroj U_1 odpojen a cívka je připo-
jena na vstup nabíječe (vlevo). Poté připojíme na vstup
nabíječe napájecí zdroj U_1 ; vypočítejte časový průběh
proudu cívkou $i_L(t)$ během vzniklého přechodného děje;
za jak dlouho od okamžiku připojení zdroje dosáhne proud
 $i_L(t)$ hodnoty $I_{Lmax} = 0,11 \text{ A}$? (označme jako interval $\Delta t_0 = ?$);

b) po dosažení proudu I_{Lmax} řídicí elektronika přepojí
cívku na nabíjený akumulátor (U_2); vypočítejte časový průběh
proudu $i_L(t)$ od okamžiku přepojení; za jak dlouho poklesne
proud $i_L(t)$ na hodnotu $I_{Lmin} = 0,09 \text{ A}$? (interval $\Delta t_1 = ?$);

c) po poklesu proudu i_L pod hodnotu I_{Lmin} elektronika
přepojí cívku zpět na napájecí zdroj U_1 ; vypočítejte časový
průběh proudu $i_L(t)$ od okamžiku přepojení zpět; za jak
dlouho dosáhne proud $i_L(t)$ opět hodnoty I_{Lmax} ? (interval $\Delta t_2 = ?$)

d) po dosažení proudu I_{Lmax} se již periodicky opakuje sled
dějů b) \rightarrow c); jaká bude perioda přepínání spínače S ? ($T = ?$)
Jaký bude (opakovací) kmitočet funkce spínaného nabíječe?
($f = ?$) Nakreslete časový průběh $i_L(t)$ pro čas v rozmezí $[-\Delta t_0, 2T]$.
Srovnajte výsledky s řešením Př. 2.6 (zvláště $\Delta t_0, \Delta t_1, \Delta t_2, T$ a f).

e)* nakreslete čas. průběh proudu $i_1(t)$ odebíraného
z napájecího zdroje U_1 a čas. průběh proudu $i_2(t)$, kterým
je nabíjen akumulátor U_2 ;

f)* jaký je okamžitý výkon $p_1(t)$ odebíraný z napájecího
zdroje U_1 ? jaký je okamž. výkon $p_2(t)$, který je dodáván
do nabíjeného akumulátoru U_2 ? jaký je okamž. „ztrátový“
výkon na ztrátovém odporu cívky? ($p_R(t) = ?$)

2011 - 11/11

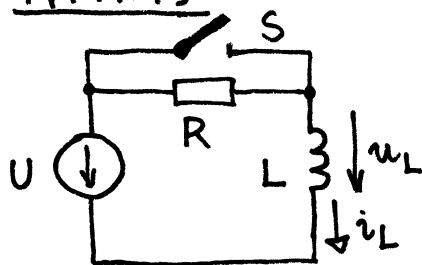
g)* jaké činné výkony P_1, P_2 a P_R (průměrné výkony za periodu) odpovídají okamžitým výkonům $p_1(t), p_2(t)$ a $p_R(t)$ z bodu f)*? zkontrolujte výkonovou bilanci (zákon zachování energie).

Pozn.: uvažte, zda budete výkon P_2 (týká se i $p_2(t)$!) uvažovat a počítat jako „dodávaný“ nebo „spotřebovávaný“. (výpočty dle f)* a g) je možno doplnit i pro Př. 2.6 a dosažené výsledky srovnat)

h)* jak velký náboj ΔQ_2 bude dodán do nabíjeného akumulátoru během jedné periody činnosti nabíječe? (za $\Delta t = T$) za jak dlouho dodá nabíječ do akumulátoru náboj odpovídající 100% jeho kapacity? Výsledky srovnajte s Př. 2.6.

i)* jak velkým konstantním (stejnoseměrným) proudem $I = ?$ bychom museli akumulátor U_2 nabíjet tak, abychom dosáhli 100% nabití za stejnou dobu, za jakou bude akumulátor nabit uvažovaným impulzním nabíječem?

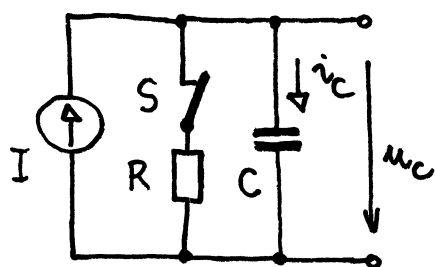
Př. 11.19:



$$U = 15V; R = 30\Omega; \\ L = 0,6H$$

Pro $t < 0$ byl S rozepnut a obvod byl v ustáleném stavu. V čase $t = 0$ dojde k sepnutí spínače S a po uplynutí času $t_0 = 0,1s$ bude spínač znovu rozepnut. Vypočítejte a nakreslete časové průběhy $i_L(t)$ a $u_L(t)$ během vzniklých dějů.

Př. 11.20:



$$I = 2mA; R = 10k\Omega; \\ C = 1\mu F$$

Pro $t < 0$ byl spínač S sepnutý a obvod byl v ustáleném stavu. V čase $t = 0$ dojde k rozepnutí spínače a po uplynutí času $t_0 = 0,1s$ spínač S opět sepne. Vypočítejte a nakreslete časové průběhy veličin $u_C(t)$ a $i_C(t)$ během vzniklých dějů.