

Vážení zákazníci,

dovolujeme si Vás upozornit, že na tuto ukázkou knihy se vztahují autorská práva, tzv. copyright.

To znamená, že ukáзка má sloužit výhradně pro osobní potřebu potenciálního kupujícího (aby čtenář viděl, jakým způsobem je titul zpracován a mohl se také podle tohoto, jako jednoho z parametrů, rozhodnout, zda titul koupí či ne).

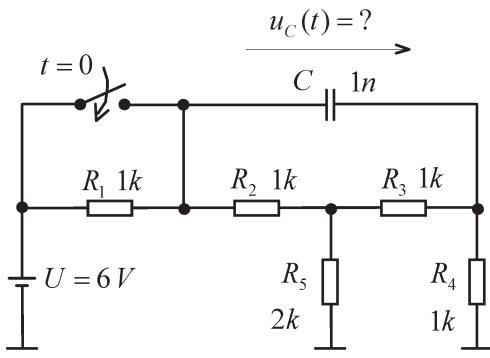
Z toho vyplývá, že není dovoleno tuto ukázkou jakýmkoliv způsobem dále šířit, veřejně či neveřejně např. umístováním na datová média, na jiné internetové stránky (ani prostřednictvím odkazů) apod.

redakce nakladatelství BEN – technická literatura
redakce@ben.cz



2.2.4 Řešení přechodných dějů v jednoduchých setrvačných obvodech

U obvodu na *obr. 2.14* předpokládejme, že před sepnutím spínače se obvod nachází v ustáleném stavu. Úkolem je nalézt časový průběh napětí $u_C(t)$ po sepnutí spínače.



Obr. 2.14 Obvod 1. řádu s analyzovaným přechodným dějem pro časy $t > 0$

Je zřejmé, že v čase $t = 0$ bude kondenzátor nabit na určité napětí a že v čase $t > 0$ bude přechodný děj záviset i na budicím napětí U . Jde tedy o analýzu úplné odezvy, skládající se z odezvy přirozené a vynucené (viz přílohu P1.3). Protože se jedná o obvod 1. řádu (jedinou stavovou veličinou je u_C), pokusíme se nejprve o jednoduché řešení, založené na základních poznatcích o obvodech 1. řádu. Poté ukážeme obecnější postup využívající operátorového počtu. Obě metody vyžadují výpočet počátečního napětí na kondenzátoru v čase $t = 0$.

Výpočet počátečního napětí na kondenzátoru v čase $t = 0$

Před sepnutím spínače se obvod nacházel ve stejnosměrném ustáleném stavu, kdy do kondenzátoru netekl proud. Počáteční napětí $u_C(0)$ tedy nalezneme analýzou obvodu na *obr. 2.15*.

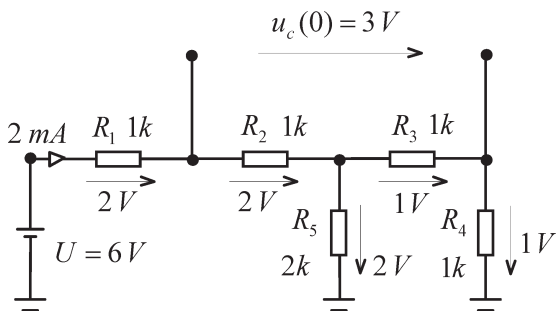
Řešení je

$$u_C(0) = 3V$$

Výsledný odpor působící mezi svorkami baterie je totiž

$$\{(1 + 1) \text{ paralelně } 2\} + 2\} \text{ k}\Omega = 3 \text{ k}\Omega$$

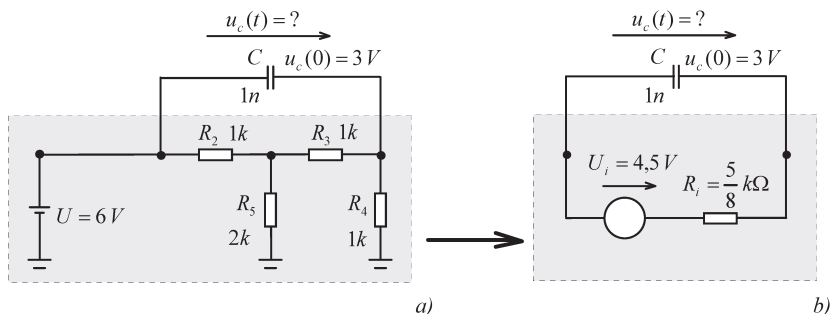
Proto proud tekoucí z baterie má velikost $6V/3k\Omega = 2 \text{ mA}$. Z toho pak lze snadno odvodit rozložení napětí, které je znázorněné na *obr. 2.15*.



Obr. 2.15 Rozložení napětí v obvodu z obr. 2.14 před sepnutím spínače

Zjednodušení obvodu pro $t > 0$

Pro $t > 0$, kdy nás zajímá přechodný děj, tj. kdy je spínač sepnut, zkusíme obvod maximálně zjednodušit. Zjednodušení provedeme tak, že celý obvod vyjma kapacitoru nahradíme jeho Théveninovým modelem vzhledem ke svorkám, k nimž je kapacitor připojen. Tím převedeme celý problém na jednoduchou úlohu nabíjení kapacitoru ze zdroje přes rezistor.



Obr. 2.16 Náhrada nesetřvačně části obvodu Théveninovým modelem

Na obr. 2.16a je model obvodu pro čas $t > 0$, kdy sepnutý spínač vyřazuje z činnosti rezistor R_1 (není tedy již zakreslen). Na obr. 2.16b je Théveninův model příslušného podobvodu. Vidíme, že kapacitor o kapacitě 1 nF a počátečním napětí 3 V je nabíjen ze zdroje napětí 4,5 V přes rezistor o odporu $5/8$ k Ω . Časový průběh nabíjení odvodíme nejprve „intuitivní metodou“ a posléze pomocí operátorového počtu.

Intuitivní metoda řešení přechodných dějů v obvodech 1. řádu

Co potřebujeme k řešení:

- počáteční hodnotu stavové veličiny;
- konečnou – ustálenou hodnotu stavové veličiny;
- časovou konstantu přechodného děje $\tau = RC$, resp. L/R .

Postup řešení:

1. Nakreslíme souřadnou soustavu: čas na vodorovné ose, svislá osa je osa stavové veličiny.
2. V čase $t = 0$ vyznačíme na svislé ose bod, odpovídající počáteční hodnotě stavové, resp. jiné analyzované veličiny.
3. Na časové ose vyznačíme bod, odpovídající časové konstantě přechodného děje.
4. Rovnoběžkou s časovou osou vyznačíme úroveň ustáleného stavu.
5. Bodem, odpovídajícím časové konstantě, vedeme kolmicí k časové ose, a vyznačíme její průsečík s úrovní ustáleného stavu.
6. Průsečík spojíme přímkou s bodem, zkonstruovaným v kroku 2. Získáme tečnu k exponenciální křivce přechodného děje.
7. Přibližně načrtne exponenciální křivku přechodného děje, vymezenou jejím počátečním bodem, tečnou v tomto bodě, a úrovní jejího ustáleného stavu.

Křivka přechodného děje je popsána rovnicí:

$$s(t) = s(0) + [s(\infty) - s(0)](1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$$

kde $s(0)$ a $s(\infty)$ jsou počáteční a ustálená hodnota stavové veličiny.

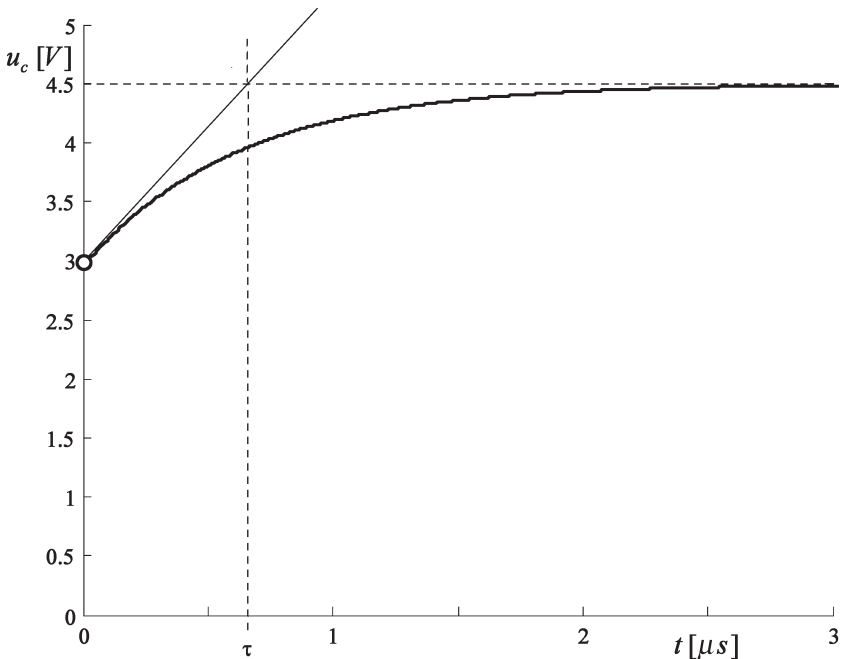
Poznámka: *Popsaný postup je platný i při uvažování jiných obvodových veličin než „klasických“ stavových veličin – napětí na kapacitorech a proudů induktory. Protože pak není zaručena spojitost těchto veličin v čase 0, je třeba rozlišovat mezi limitami zleva a zprava $s(0-)$ a $s(0+)$. Popsaný postup platí při uvažování limit **zprava**.*

Vraťme se ke konkrétnímu obvodu na *obr. 2.16b*. Vstupními údaji jsou:

$$u_C(0) = 3 \text{ V}, u_C(\infty) = 4,5 \text{ V}, \tau = R_i C = \frac{5}{8} \cdot 10^3 \cdot 10^{-9} = 0,625 \mu\text{s}$$

Aplikací výše uvedeného postupu dospějeme k výslednému průběhu, který je na *obr. 2.17*. Přechodný děj je pro $t \geq 0$ popsán rovnicí

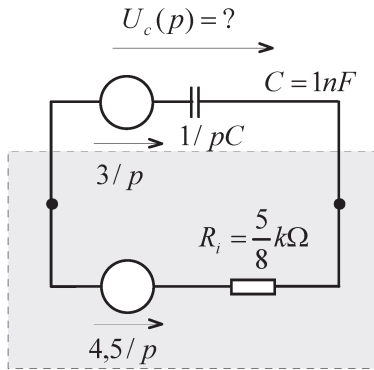
$$u_C(t) = 3 + 1,5(1 - e^{-\frac{t}{0,625 \cdot 10^{-6}}}) [\text{V}, \text{s}]$$



Obr. 2.17 Časový průběh analyzovaného přechodného děje v obvodu z *obr.2.14*

Řešení operátorovou metodou

Zapojení z *obr. 2.16b* je převedeno na operátorové schéma na *obr. 2.18* (viz přílohu P2.2.1). Zdroj stejnosměrného napětí 4,5 V, působící v obvodu v čase $t \geq 0$, je uvažován jako jednotkový skok násobený hodnotou 4,5 V. V operátorovém schématu je reprezentován zdrojem, jehož „hodnota“ je Laplaceův obraz tohoto skoku $4,5/p$. Kapacitor je nahrazen jeho operátorovou reaktancí $1/pC$, jeho počáteční podmínka $u_c(0) = 3$ V je respektována sériovým zdrojem napětí o Laplaceově obrazu $3/p$.



Obr. 2.18 Operátorové schéma pro řešení přechodného děje v obvodu z obr. 2.14

Řešením obvodu z obr. 2.18 dostáváme

$$U_C(p) = \frac{3}{p} + \frac{4,5-3}{p} \frac{\frac{1}{pC}}{\frac{1}{pC} + R_i} = \frac{3}{p} + \frac{1,5}{\tau} \frac{1}{p} \frac{1}{p + \frac{1}{\tau}}, \quad \tau = R_i C = 0,625 \mu\text{s}$$

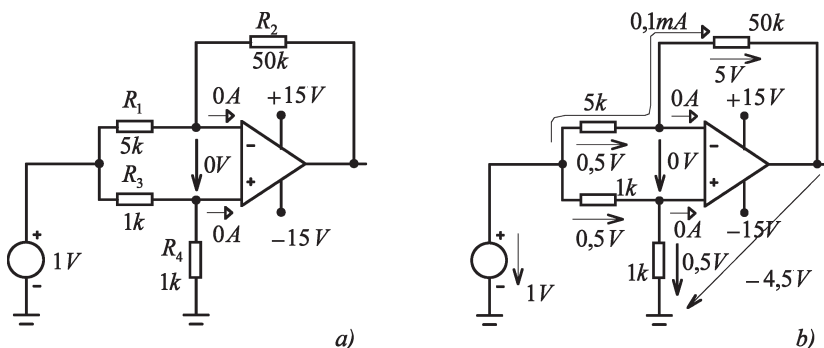
Po provedení zpětné Laplaceovy transformace (viz přílohu P6, položky 2 a 10) obdržíme výsledný časový průběh:

$$u_C(t) = [3 + 1,5(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})]1(t) [V]$$

který je ve shodě s výsledkem získaným „intuitivní“ metodou.

2.2.5 Analýza odporových obvodů s operačními zesilovači VFA

Je dán obvod s ideálním operačním zesilovačem (ideálním OZ, IOZ) typu VFA (Voltage Feedback Amplifier, viz přílohu P5) podle obr. 2.19. Úkolem je nalézt velikost výstupního napětí.



Obr. 2.19 a) Analyzovaný obvod s vyznačením nulového diferenčního napětí a nulových vstupních proudů operačního zesilovače; b) výsledné rozložení napětí a proudů

K analýze použijeme „intuitivní“ metodu.

Intuitivní metoda řešení obvodů s ideálními operačními zesilovači

Vychází z tří **základních vlastností IOZ**:

1. Nekonečný vstupní odpor, jehož důsledkem jsou **nulové proudy tekoucí do vstupů**.
2. Nekonečné napěťové zesílení, které v kombinaci se zápornou zpětnou vazbou v obvodu způsobuje **nulové diferenční napětí** mezi vstupy operačního zesilovače.
3. Nulový výstupní odpor, který způsobuje, že výstup IOZ se chová jako ideální zdroj napětí. Velikost tohoto **napětí tedy nebude záviset na zátěži**, připojené k výstupu.

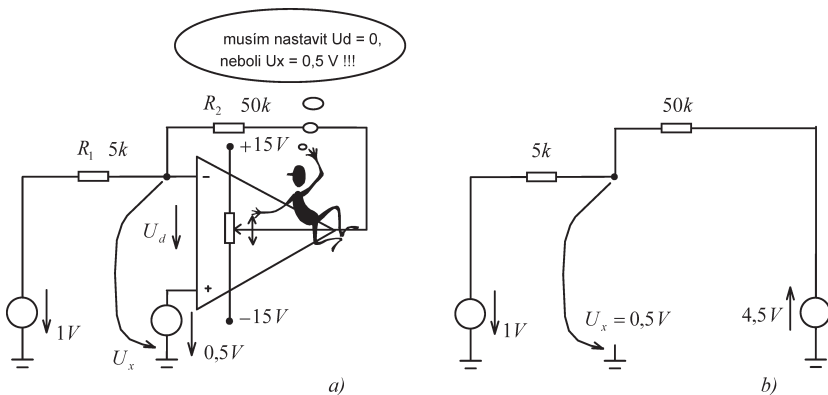
*Před použitím této metody je vhodné se přesvědčit, že **celková zpětná vazba působící v obvodu je záporná**. Pokud tomu tak není, nelze použít poučku 2 o nulovém diferenčním napětí.*

Postup:

1. Ve schématu vyznačíme, že diferenční napětí IOZ je nulové a že do vstupů IOZ netečou proudy.
2. Na zbylou část obvodu aplikujeme Kirchhoffovy zákony, Ohmův zákon a případně další známé teoremy a poučky.

Konkrétní řešení vidíme na obr. 2.19b. Rezistory R_3 a R_4 tvoří nezatížený dělič napětí. Protože jejich odpory jsou shodné, bude na každém z nich napětí 0,5 V. Napětí 0,5 V musí být rovněž na rezistoru R_1 jako důsledek nulového diferenčního napětí. Proud rezistorem R_1 vychází z Ohmova zákona 0,1 mA. Celý teče do rezistoru R_2 , protože vstupní odpor IOZ je nekonečný. Na R_2 vyvolá podle Ohmova zákona úbytek napětí 5 V. Nyní již můžeme podle 2. Kirchhoffova zákona „sečíst“ napětí na R_2 , diferenční napětí a napětí na R_4 a získáme výstupní napětí: $-5 + 0 + 0,5 = -4,5$ V.

„Intuitivní“ metoda řešení obvodů s operačními zesilovači je dovedena téměř k dokonalosti v tzv. **teorii trpaslíka**. Podle této teorie je uvnitř každého operačního zesilovače, který je zapojen ve smyčce záporné zpětné vazby, trpaslík, který neustále sleduje diferenční napětí a reguluje výstupní napětí IOZ tak, aby diferenční napětí bylo stále nulové. Pohledem na obr. 2.19b zjistíme, že napětí mezi neinvertujícím vstupem IOZ a zemí je trvale 0,5 V. Toto napětí je nezávislé na činnosti IOZ, protože je nastaveno nezatíženým odporovým děličem R_3 – R_4 . Jinými slovy, trpaslík se snaží nastavovat napětí mezi invertujícím vstupem a zemí na 0,5 V. Situace je znázorněna na obr. 2.20.



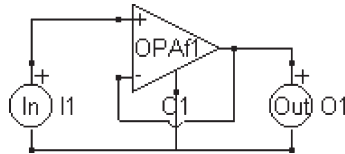
Obr. 2.20 K teorii trpaslíka

Výpočtem se můžeme snadno přesvědčit, že pokud chce trpaslík nastavit napětí U_x na 0,5 V, musí nastavit výstupní napětí na $-4,5$ V.

Pokud se napětí v obvodu mění v čase, má to trpaslík s dostavováním nulového diferenčního napětí náročnější. Při rychlých změnách signálu již nestačí pružně reagovat. Operační zesilovač je v podstatě zesilovač nízkofrekvenční.

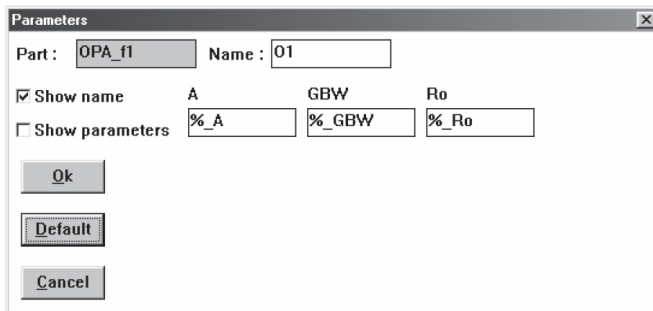
4.5.3.2 OBVOD SE SOUČÁSTKAMI, KTERÉ JSOU POPSÁNY NĚKOLIKA PARAMETRY

Doporučujeme nejprve prostudovat úvod k části 4.5.2.3 Lekce 3. Předpokladem k práci na tomto příkladu je i průchod předchozím příkladem v části 4.5.3.1.



Nakreslete schéma napěťového sledovače podle obrázku (viz též ukázkový příklad *demopa1.cir*). Aktivní součástkou „OPAf1“ je jednopólový model operačního zesilovače, popsáný stejným zesílením otevřené smyčky A , tranzitním kmitočtem GBW a výstupním odporem R_o . Těmto parametrům přiřadíte hodnoty typické pro operační zesilovač typu 741: $A = 200000$, $GBW = 1$ MHz, $R_o = 50 \Omega$. Dále se pokuste získat přenos napětí pro ideální operační zesilovač, tj. pro $A = \infty$, $GBW = \infty$, $R_o = 0$.

Nejprve nakreslete schéma podle zásad, vysvětlených v části 4.5.3.1. Poté v režimu *Select* dvakrát klikneme na značku operačního zesilovače a prohlédneme si okno parametrů.



Jméno operačního zesilovače je O1. Zápisy $\%_A$, $\%_GBW$ a $\%_Ro$ znamenají označení parametrů A , GBW a R_o zesilovače O1. V případě více zesilovačů stejného typu v obvodu je tak zajištěna jednoznačná identifikace jejich parametrů.

Analýza přenosu napětí SNAPem dá pouze symbolický výsledek

$$\begin{aligned} & \text{symbolic} \\ & \text{6.28319*O1_A*O1_GBW} \\ & \text{-----} \\ & \text{6.28319*O1_A*O1_GBW +6.28319*O1_GBW} \\ & \text{+s*(O1_A)} \end{aligned}$$

který odpovídá vzorci

$$K_V = \frac{2\pi \cdot A \cdot GBW}{2\pi \cdot A \cdot GBW + 2\pi \cdot GBW + sA}$$

Dlouhé symboly O1_A, O1_GBW a O1_Ro mohou činit symbolické výsledky nepřehlednými. Navíc v případě jediného zesilovače ve schématu je takovýto zápis parametrů zbytečně složitý. Změňte označení parametrů například tak, jak je naznačeno na obrázku.

Part :	<input type="text" value="OPA_f1"/>	Name :	<input type="text" value="O1"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Show name	A	GBW	Ro
<input type="checkbox"/> Show parameters	<input type="text" value="A"/>	<input type="text" value="ft"/>	<input type="text" value="Ro"/>

Namísto dlouhého výrazu GBW je použit kratší ft (tranzitní kmitočet). Pak spusťte analýzu. Symbolický výsledek nyní bude přehlednější:

$$\begin{aligned} & \text{symbolic} \\ & \text{6.28319*A*ft} \\ & \text{-----} \\ & \text{6.28319*A*ft +6.28319*ft} \\ & \text{+s*(A)} \end{aligned}$$

Nyní přiřadíme symbolickým parametrům číselné hodnoty:

<input checked="" type="checkbox"/> Show name	A	GBW	Ro
<input type="checkbox"/> Show parameters	<input type="text" value="A=200k"/>	<input type="text" value="ft=1meg"/>	<input type="text" value="Ro=50"/>

Výsledky symbolické analýzy se pochopitelně nezmění, přibudou však výsledky semisymbolické analýzy, nulové body a póly a vzorce impulzní a přechodové charakteristiky.

P8 PRVKY Z KNIHOVNY PROGRAMU SNAP 2.6.

Schematické značky jsou definovány v souboru SNAP.LIB.

Matematické modely jsou definovány v souboru SNAP.CDL.

Maticový popis je vyjádřen zkráceným schématem dle vzoru:

I_a	I_b	I_c	I_d	0	a	b	c	d	e
V_a	V_b	V_c	V_d	I_2	f	g	h	i	j

=

I_a	I_b	I_c	I_d	0	a	b	c	d	e
V_a	V_b	V_c	V_d	I_2	f	g	h	i	j

⇒

I_a	I_b	I_c	I_d	0	a	b	c	d	e
V_a	V_b	V_c	V_d	I_2	f	g	h	i	j

prvek	označení	značka	parametry	model	maticový popis								
vstup	input		-										
výstup	output		-										
rezistor	R		R – odpor		<table style="border-collapse: collapse; margin: auto;"> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">V_a</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">V_b</td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">I_a</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">I_b</td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">$1/R$</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">$-1/R$</td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">$-1/R$</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">$1/R$</td> </tr> </table>	V_a	V_b	I_a	I_b	$1/R$	$-1/R$	$-1/R$	$1/R$
V_a	V_b												
I_a	I_b												
$1/R$	$-1/R$												
$-1/R$	$1/R$												
konduktor	G		G – vodivost		<table style="border-collapse: collapse; margin: auto;"> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">V_a</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">V_b</td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">G</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">$-G$</td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">$-G$</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">G</td> </tr> </table>	V_a	V_b	G	$-G$	$-G$	G		
V_a	V_b												
G	$-G$												
$-G$	G												
kapacitor	C		C – kapacita		<table style="border-collapse: collapse; margin: auto;"> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">V_a</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">V_b</td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">sC</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">$-sC$</td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">$-sC$</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">sC</td> </tr> </table>	V_a	V_b	sC	$-sC$	$-sC$	sC		
V_a	V_b												
sC	$-sC$												
$-sC$	sC												
induktor	L		L – indukčnost		<table style="border-collapse: collapse; margin: auto;"> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">V_a</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">V_b</td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">$1/sL$</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">$-1/sL$</td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">$-1/sL$</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">$1/sL$</td> </tr> </table>	V_a	V_b	$1/sL$	$-1/sL$	$-1/sL$	$1/sL$		
V_a	V_b												
$1/sL$	$-1/sL$												
$-1/sL$	$1/sL$												