

Praktikum školských pokusů 2, Elektřina

Jarní semestr 2022



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Obsah 1.

- 1. Demontrace Faradayova zákona elektromagnetické indukce 1, 2, 3.
- 2. Demontrace přechodového děje na cívce s indukčností.
- 3. Frekvenční závislost impedance cívky s indukčností.
- 4. Demontrace průchodu střídavého proudu obvodem s komplexní impedancí v závislosti na frekvenci 1, 2, 3.
- 5. Demontrace průchodu střídavého proudu obvodem s kapacitancí v závislosti na frekvenci.
- 6. Demontrace činnosti paralelního rezonančního obvodu.
- 7. Demontrace přechodového jevu na transformátoru a vznik vysokonapěťové špičky 1, 2, 3, 4.
- 8. Demontrace Faradayova zákona el. max. indukce, Lenzova pravidla, přechodového jevu a silového působení na vodič s proudem 1, 2, 3, 4, 5, 6.

Obsah 2.

- 9. Demontrace činnosti sériového rezonančního obvodu 1, 2, 3, 4, 5, 6.
- 10. Demontrace funkce 3 fázového asynchronního elektromotoru s kotvou na krátko. Zapojení vinutí statoru do hvězdy.
- 11. Demontrace funkce 3 fázového asynchronního elektromotoru s kotvou na krátko. Zapojení vinutí statoru do trojúhelníku.
- 12. Demontrace funkce 3 fázového synchronního elektromotoru
- Zapojení vinutí statoru do hvězdy.
- 13. Demontrace funkce jedno fázového asynchronního elektromotoru s kotvou nakrátko s běhovým kondenzátorem.
- 14. Vysvětlení funkce asynchronního jednofázového elektromotoru s kotvou na krátko s pomocným rozběhovým závitem do zkratu 1, 2, 3.
- 15. Demontrace funkce jednofázového elektromotoru s pomocným závitem na krátko 1, 2, 3, 4.

Obsah 3.

- 16. Demontrace činného výkonu na cívce s ohmickým odporem a indukčností.
- 17. Demontrace činného výkonu na kondenzátoru s paralelním odporem.
- 18. Demontrace funkce Wattmetru 3.
- 19. Demontrace funkce transformátoru
- 20. Demontrace funkce transformátoru - indukční tavící pícka na cínovou pájku 1, 2.
- 21. Demontrace funkce magnetického obvodu 1, 2, 3, 4.
- 22. Demontrace funkce pomocného závitu na krátko u relé na střídavý proud 1, 2, 3, 4, 5, 6.
- 23. Demontrace vzniku střídavého napětí elektromagnetickou indukcí 1, 2, 3.
- 24. Demontrace trojfázové soustavy.

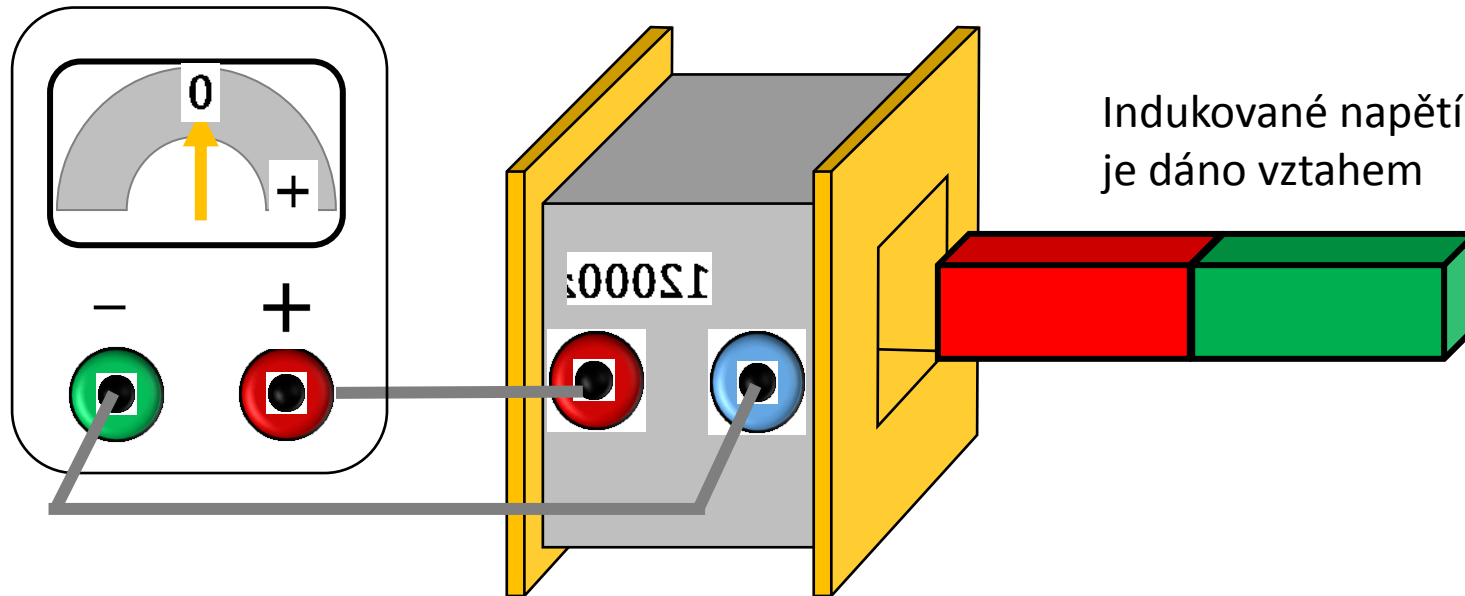
Obsah 4.

- 25. Demontrace funkce jističe 1, 2, 3.
- 26. Komutátorový elektromotor 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7.
- 27. Dynamo 1, 2.

Tento materiál byl připraven v rámci projektu Zkvalitnění a inovace přípravy budoucích učitelů na MUNI (ZIP MUNI), reg. č. p.: CZ.02.3.68/0.0/0.0/19_068/0016170.

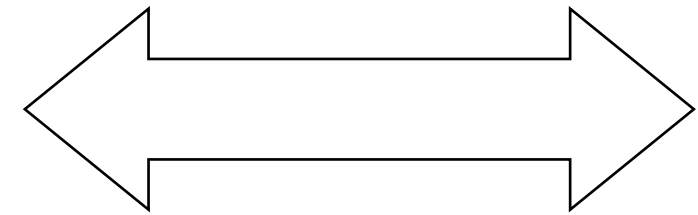
1. Demonstrace Faradayova zákona elektromagnetické indukce 1, a).

Voltmetr s nulou uprostřed



$$U = -\frac{d\Phi}{dt}$$

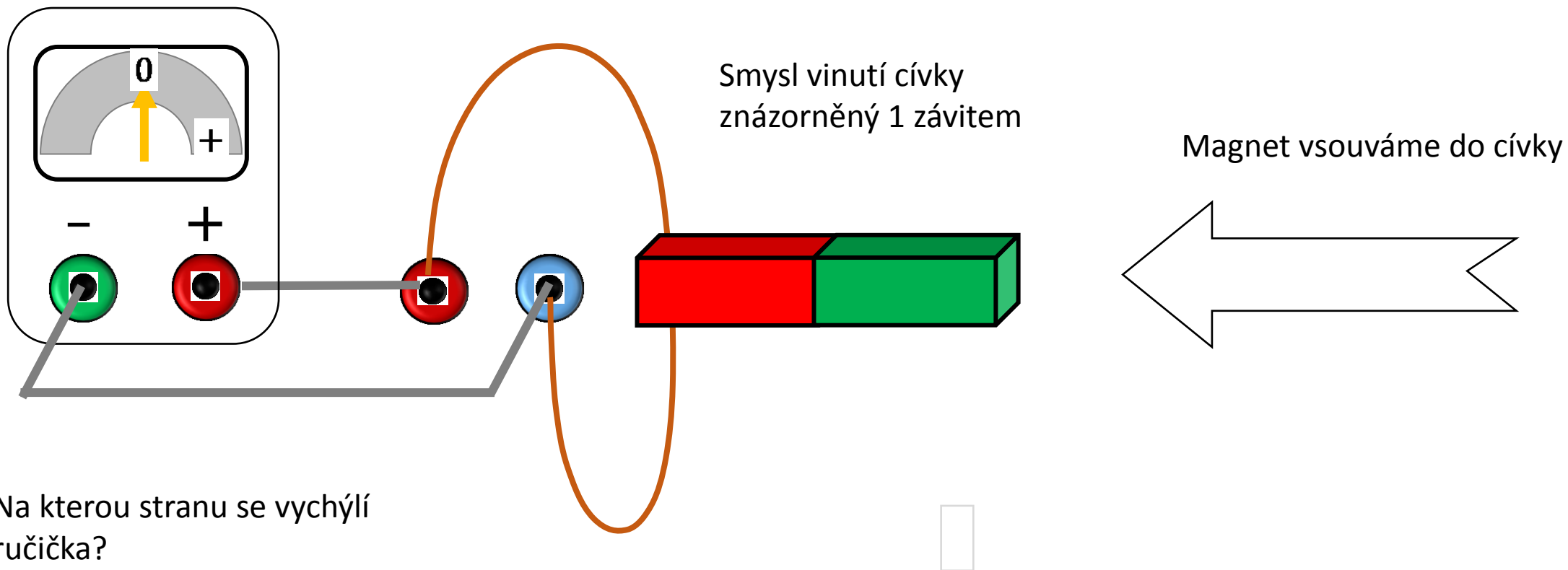
$$\Phi = \iint \vec{B} d\vec{S}$$



1. Střídavý pohyb magnetu rychlostí \vec{v} (cívka je vůči laboratorní soustavě pevně)

1. Demonstrace Faradayova zákona elektromagnetické indukce – směr indukovaného napětí 1, b).

Nahradíme cívku jedním závitem



1. Demonstrace Faradayova zákona elektromagnetické indukce – směr indukovaného napětí 1, c).

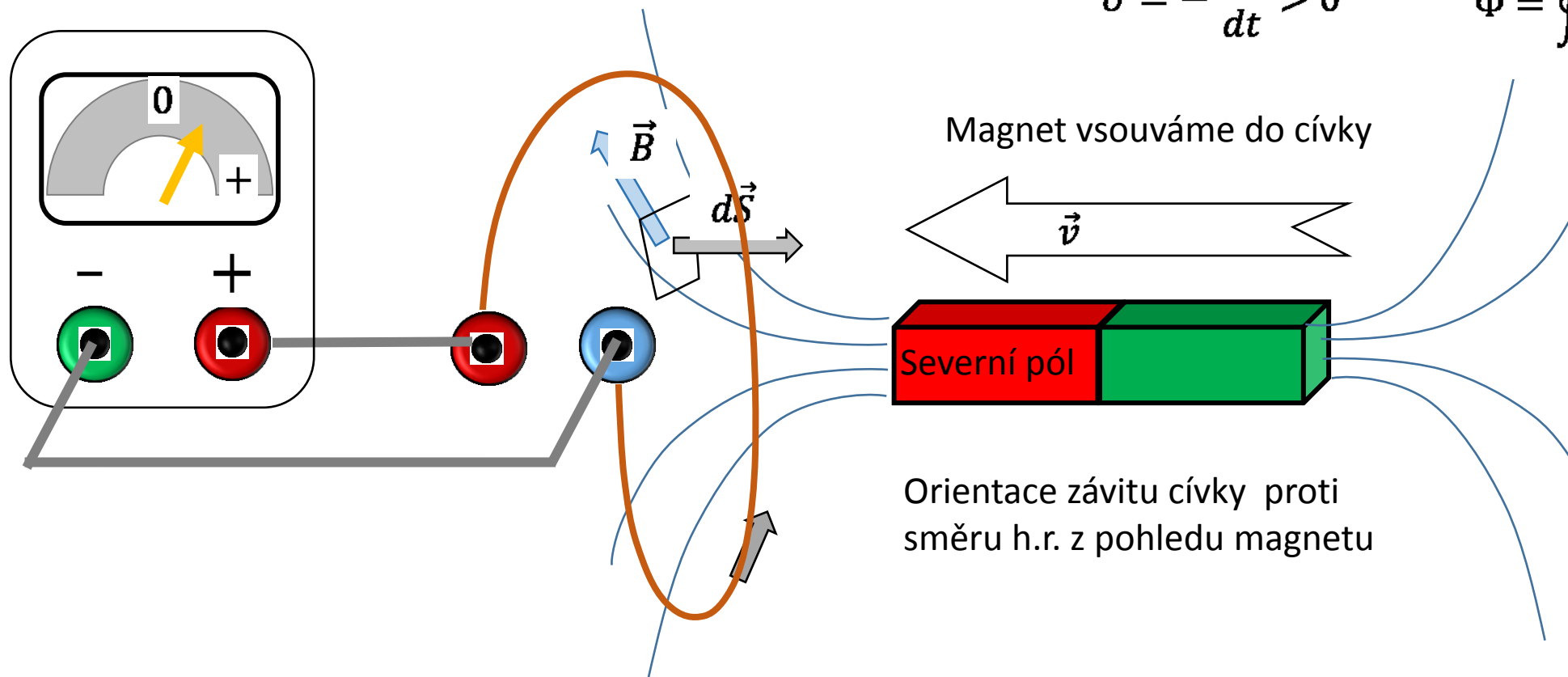
Cívka je v klidu

V této situaci $\vec{B} \neq \text{const.}$ a $\vec{E} \neq 0$. a napětí $U = \int \vec{E} d\vec{l}$,

Voltmetr s nulou uprostřed

$$U = -\frac{d\Phi}{dt} > 0$$

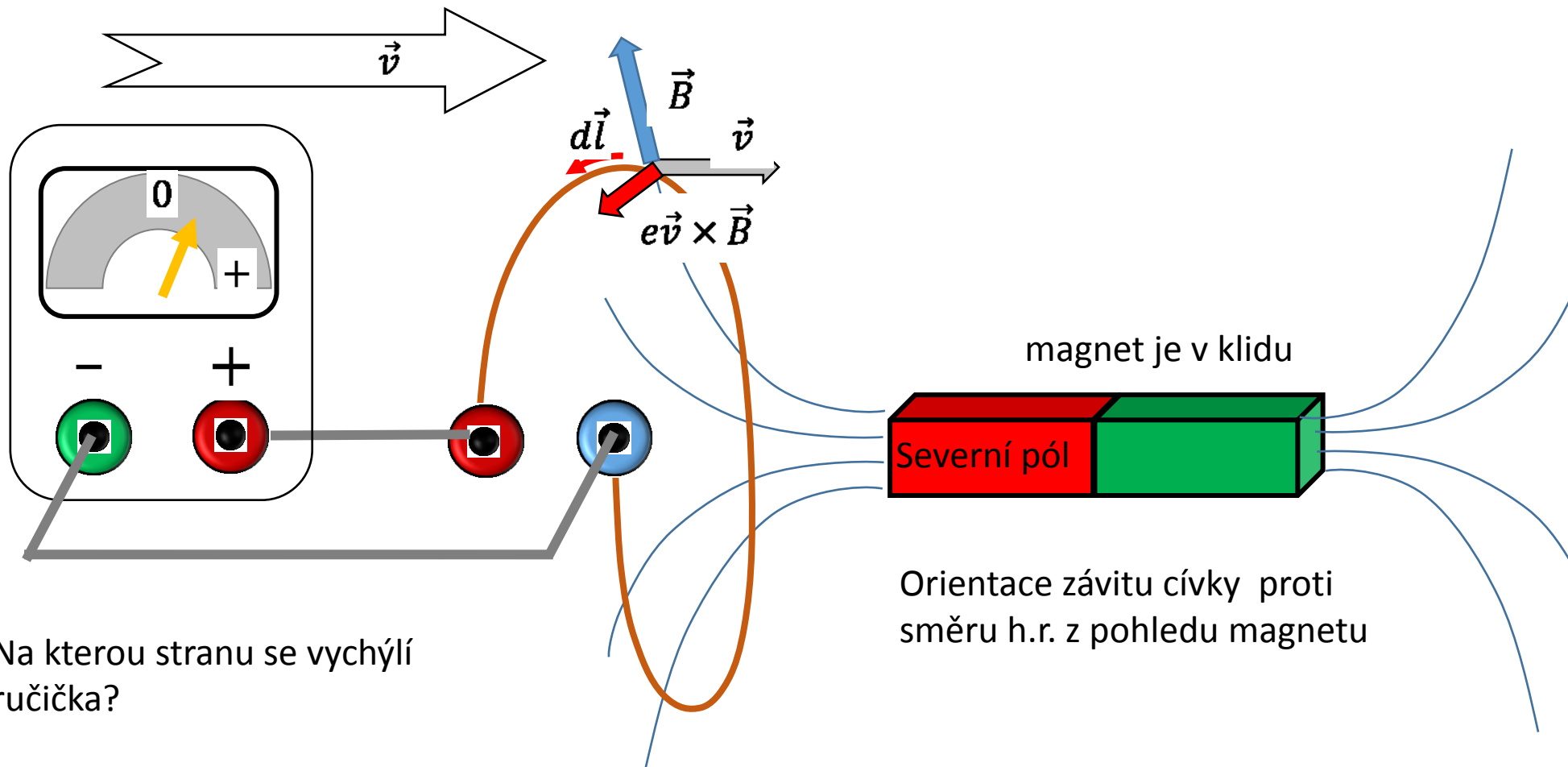
$$\Phi = \iint \vec{B} d\vec{S} < 0$$



1. Demonstrace Faradayova zákona elektromagnetické indukce – směr indukovaného napětí 1, d).

Cívka je v pohybu

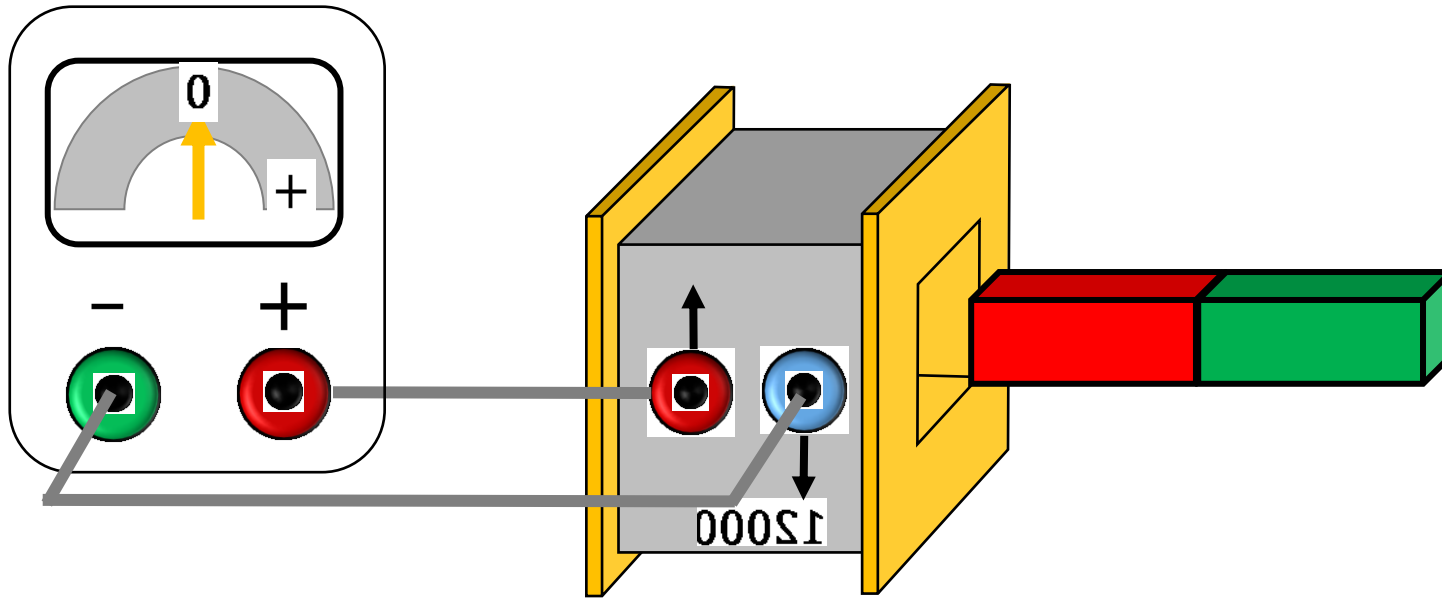
V této situaci $\vec{B} = \overrightarrow{const.}$ a $\vec{E} = 0$. a napětí $U = \int (\vec{v} \times \vec{B}) d\vec{l}$



1. Demonstrace Faradayova zákona elektromagnetické indukce, shrnutí 1, e).

1. Střídavý pohyb magnetu rychlostí \vec{v} (cívka je vůči laboratorní soustavě pevně)

V situaci 1. platí, že $\vec{B} \neq \overline{const.}$ a $\vec{E} \neq 0$. a napětí $U = \int \vec{E} d\vec{l}$,



Indukované napětí je dáno vztahem

$$U = -\frac{d\Phi}{dt} \quad \Phi = \iint \vec{B} d\vec{S}$$

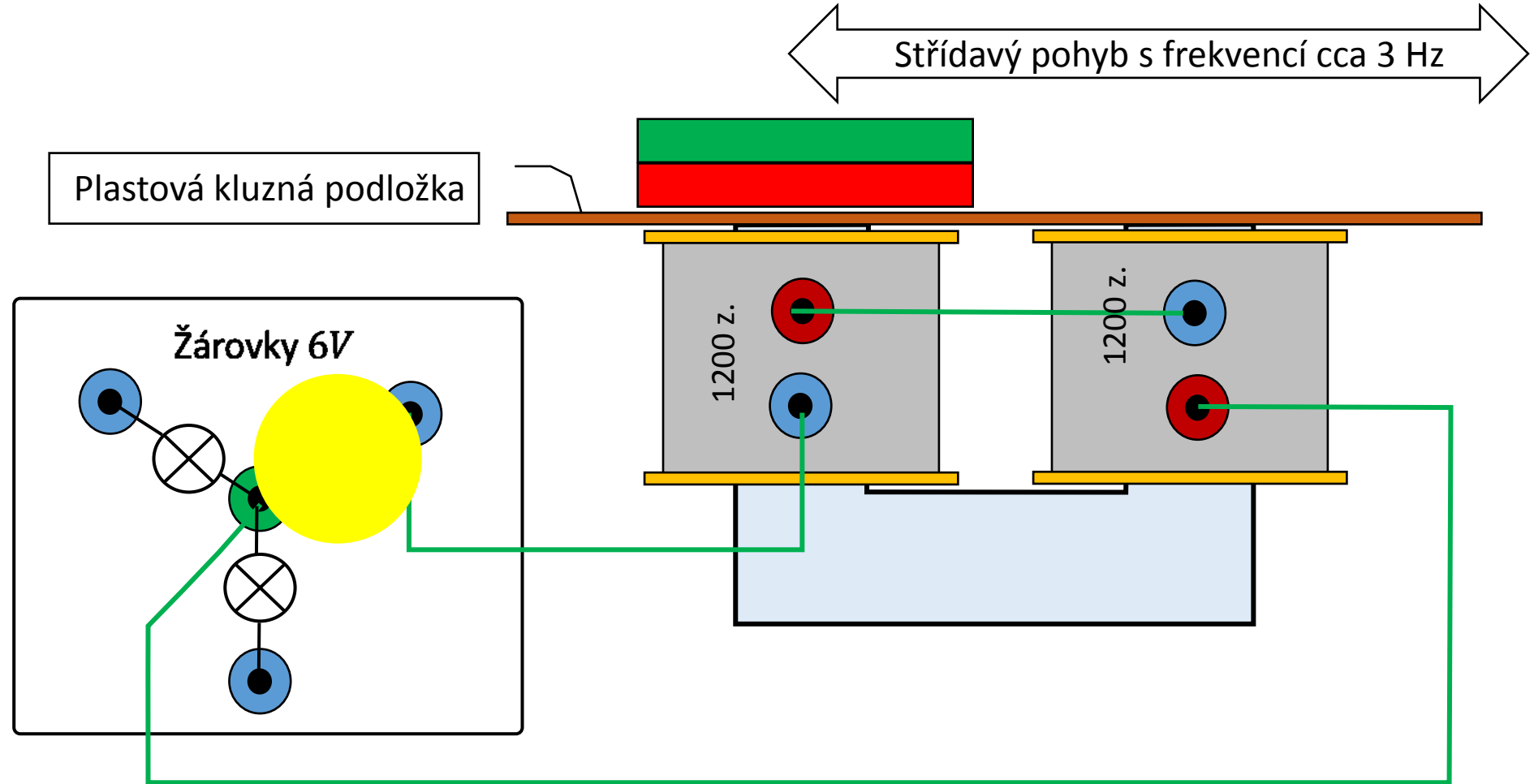
V situaci 2. platí, že $\vec{B} = \overline{const.}$ a $\vec{E} = 0$. a napětí $U = \int (\vec{v} \times \vec{B}) d\vec{l}$,⁽²⁾

Faradayův zákon el. mag. indukce popisuje situaci nezávisle na volbě vztažné soustavy

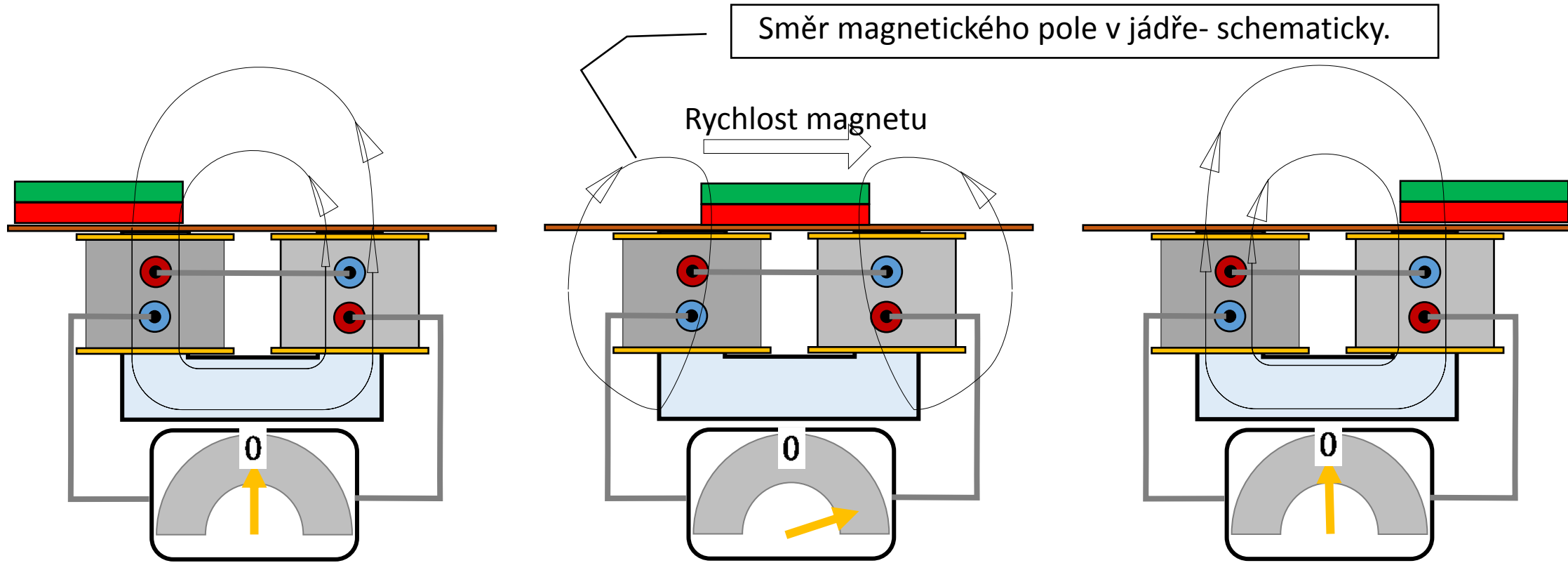
2. Střídavý pohyb cívky rychlostí \vec{v} (magnet je vůči laboratorní soustavě pevně)

1. Demonstrace Faradayova zákona elektromagnetické indukce 2.

Demonstrace Faradayova zákona elektromagnetické indukce a výroby elektrické energie.



1. Demonstrace Faradayova zákona elektromagnetické indukce 3.



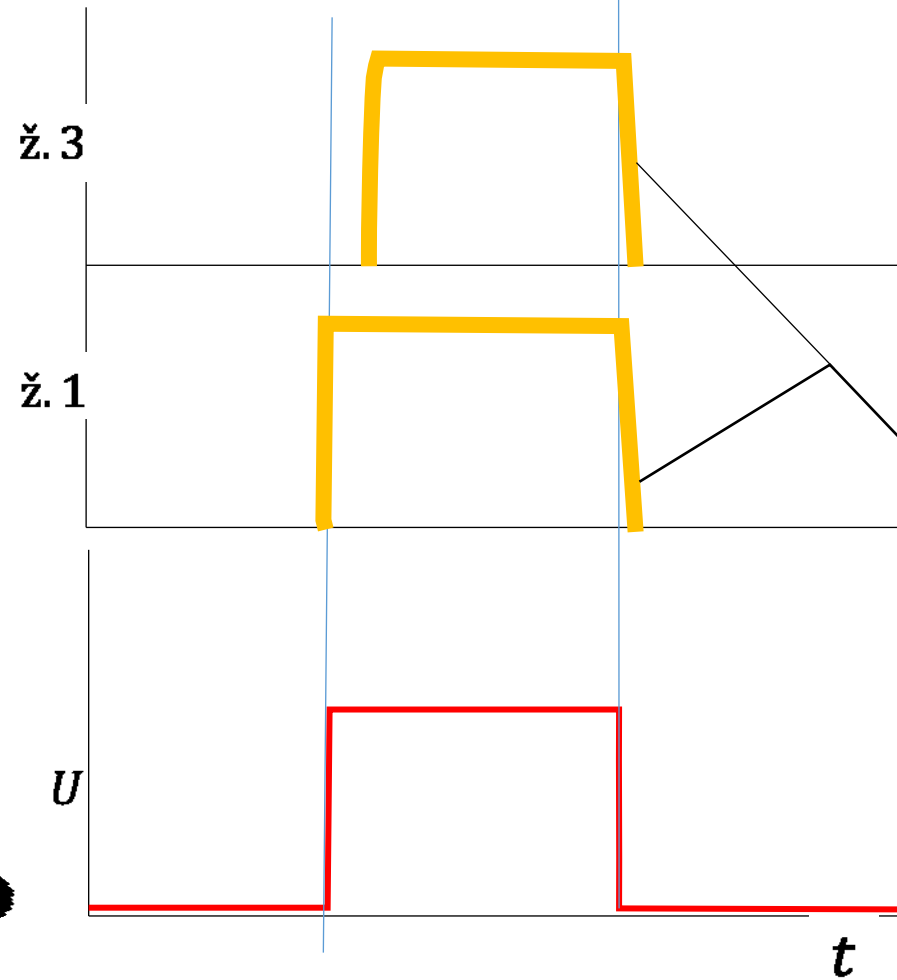
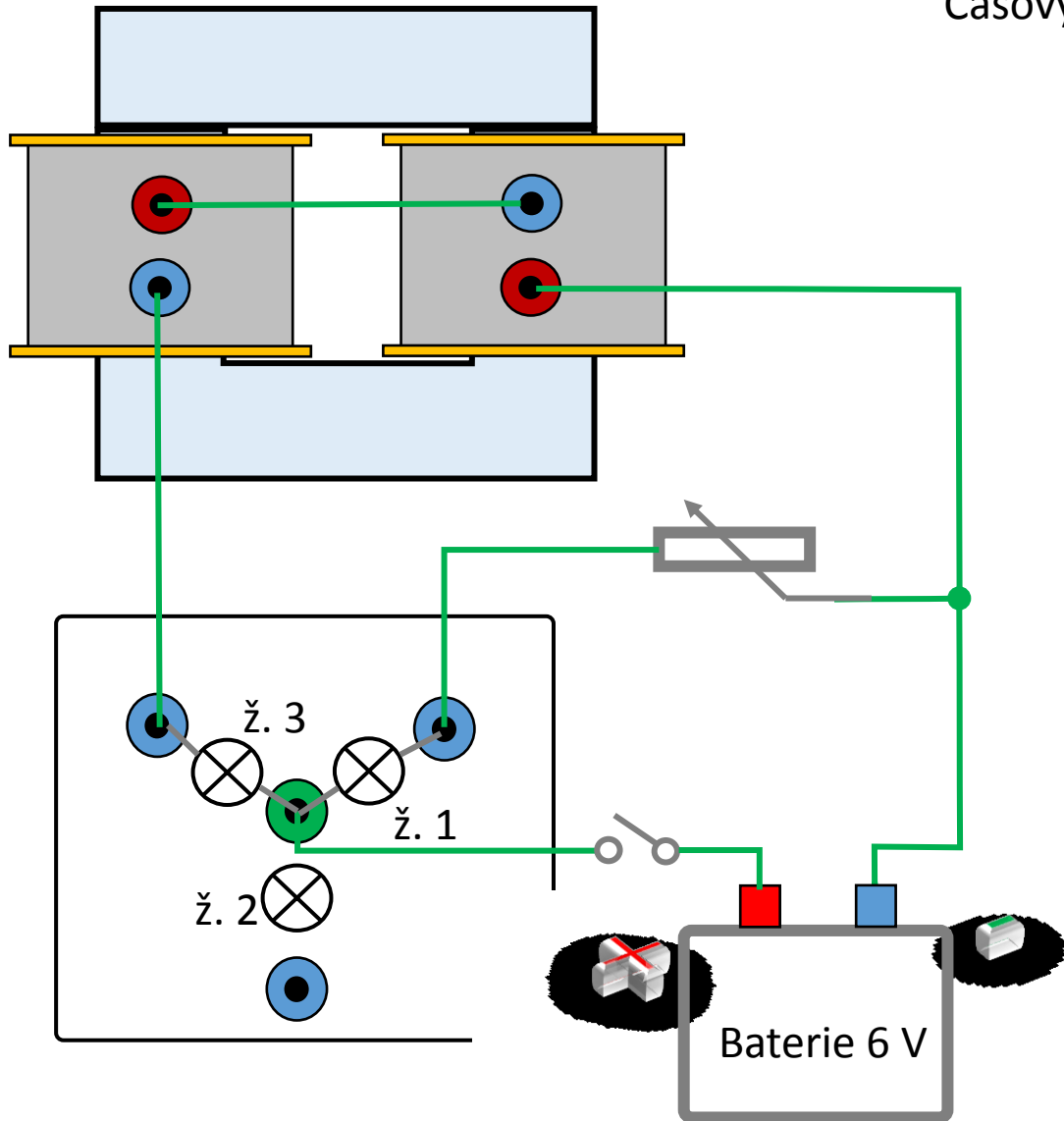
Voltmetr s nulou uprostřed

Údaj voltmetru v jednotlivých fázích, schematicky.

Magnetické pole při přechodu magnetu z jedné strany C jádra na druhou alternuje směr. Alternace nastane při kulminaci rychlosti magnetu, tzn., že relativně k frekvenci kmitání magnetu je časová změna indukčního toku poměrně velká.

2. Demonstrace přechodového děje na cívce s indukčností 1.

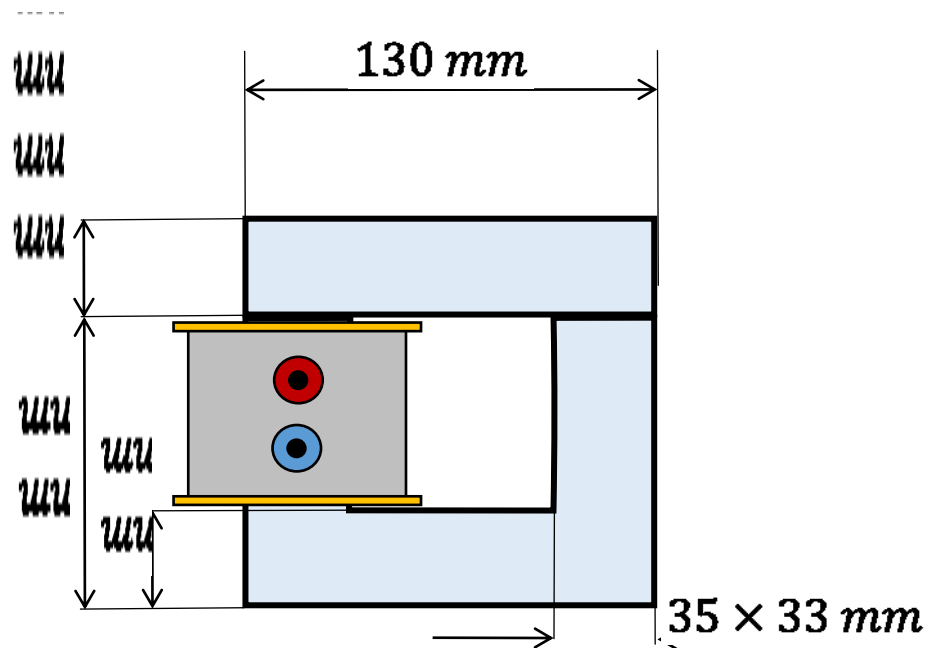
Časový průběh připojení a odpojení baterie a svit žárovček, schematicky



Proč při rozpojení obvodu zhasnou žárovky současně?

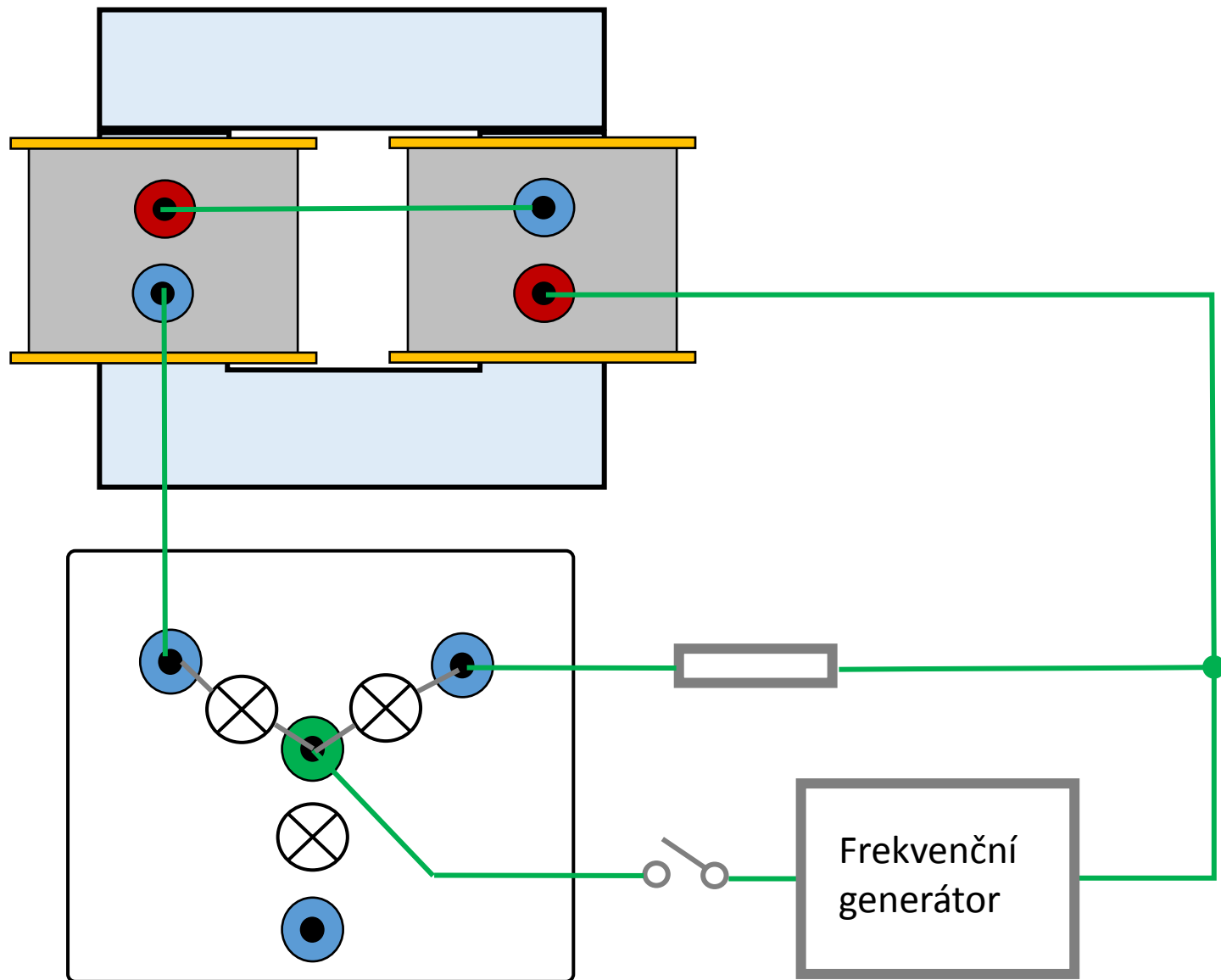
2. Demonstrace přechodového děje na cívce s indukčností 2.

Indukčnosti cívek s jádrem s N závitů a rozměry odpovídajícího rozkladného magnetického obvodu .

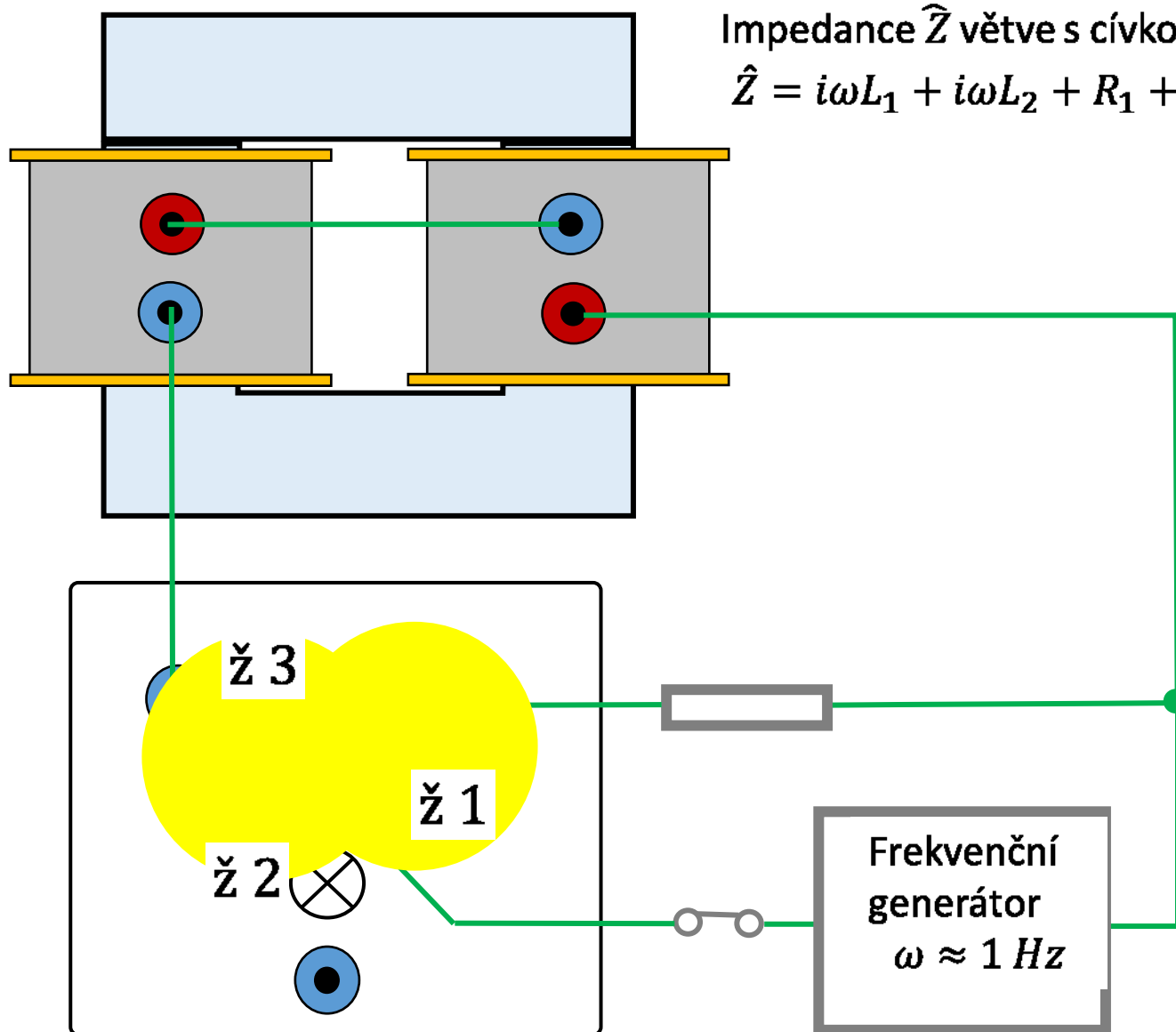


N záv.	f (Hz)	L (H)	Q	R _{stat.} (Ω)
1200	120	2,08	10.7	11.9
600	120	0.6067	8.83	2.57
300	120	0.157	8.7	0.54
12000	120	178	20.6	1006
60	120	5 mH	11.2	0.04

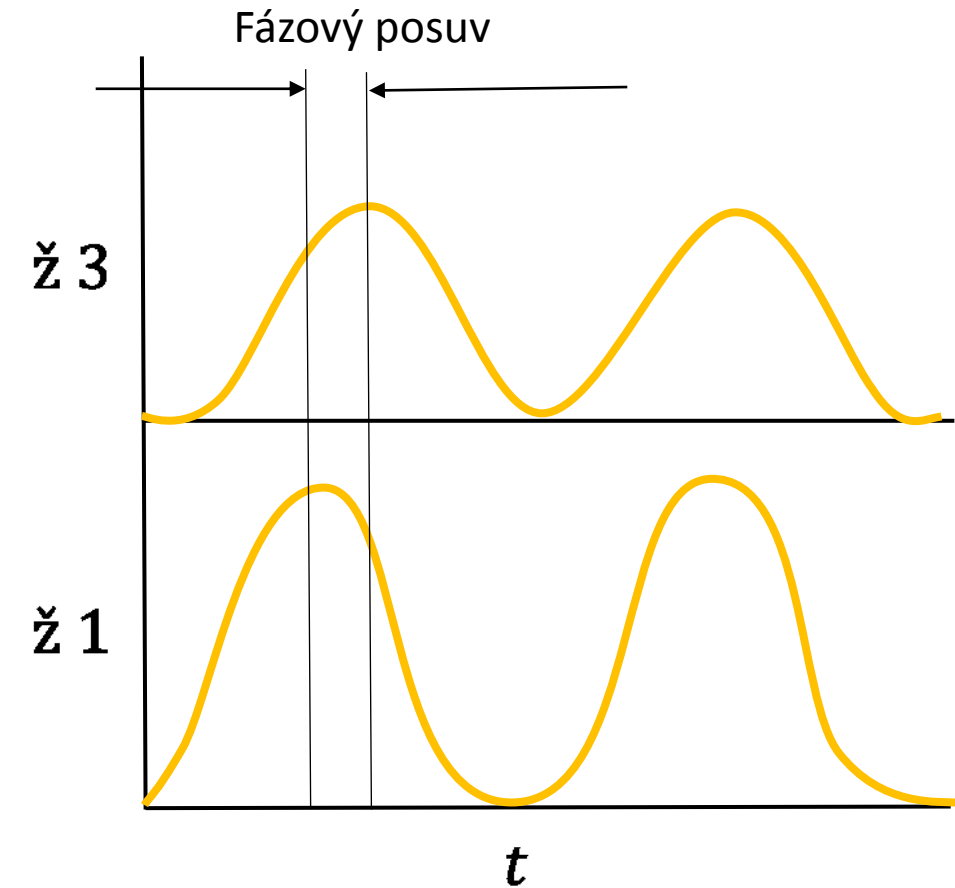
3. Frekvenční závislost impedance cívky s indukčností.



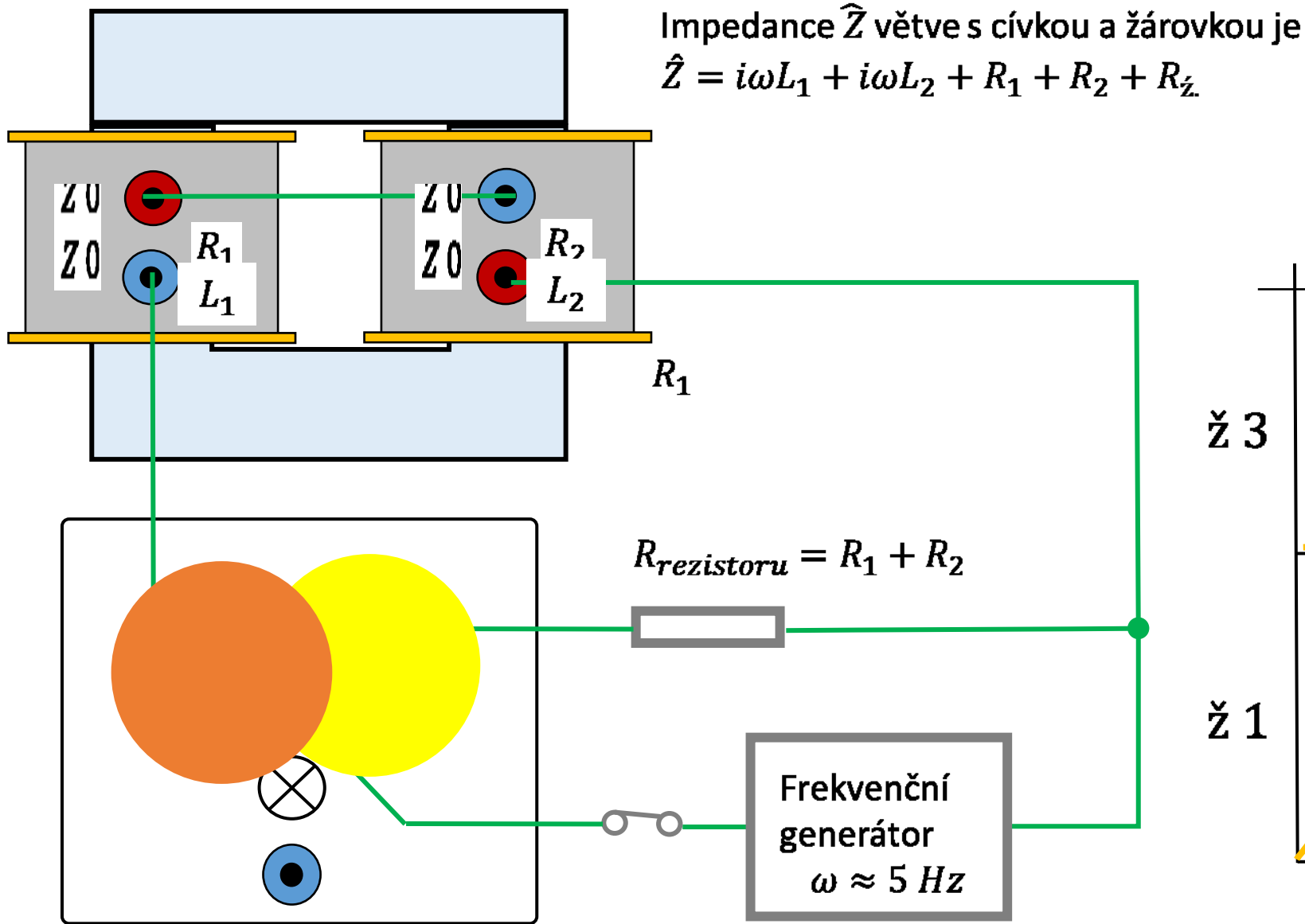
4. Demonstrace průchodu střídavého proudu obvodem s komplexní impedancí v závislosti na frekvenci 1.



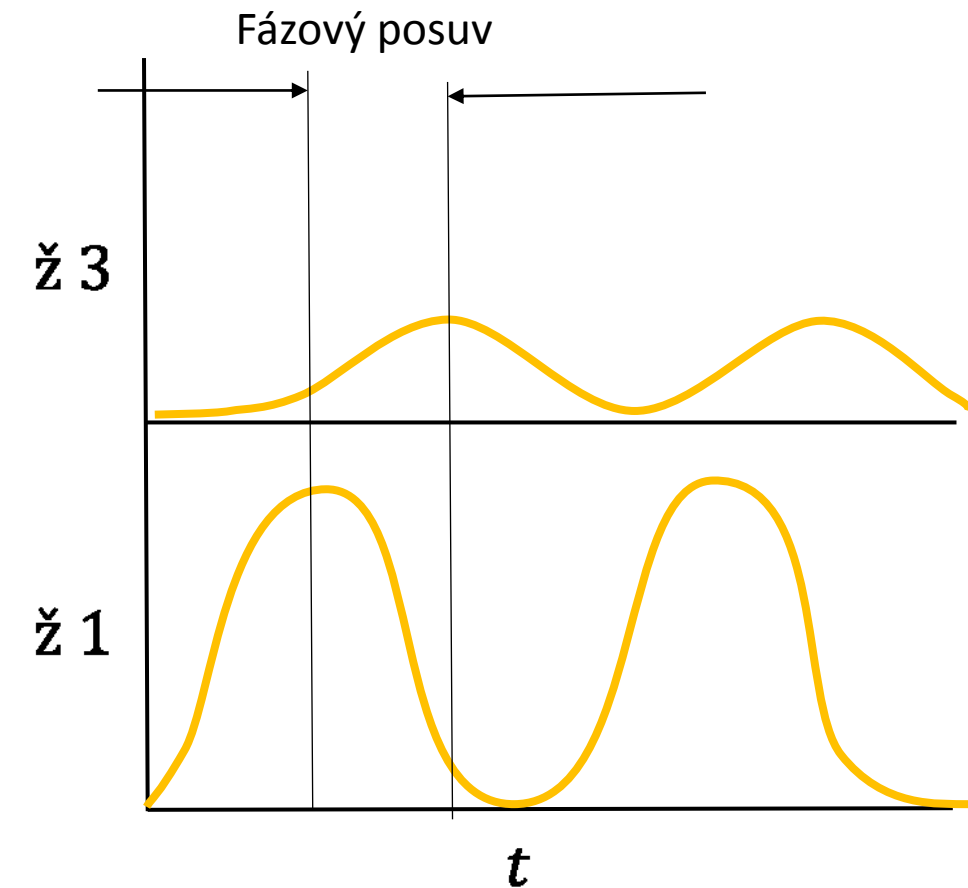
průběh svitu žárovek - schematicky



4. Demonstrace průchodu střídavého proudu obvodem s komplexní impedancí v závislosti na frekvenci 2.

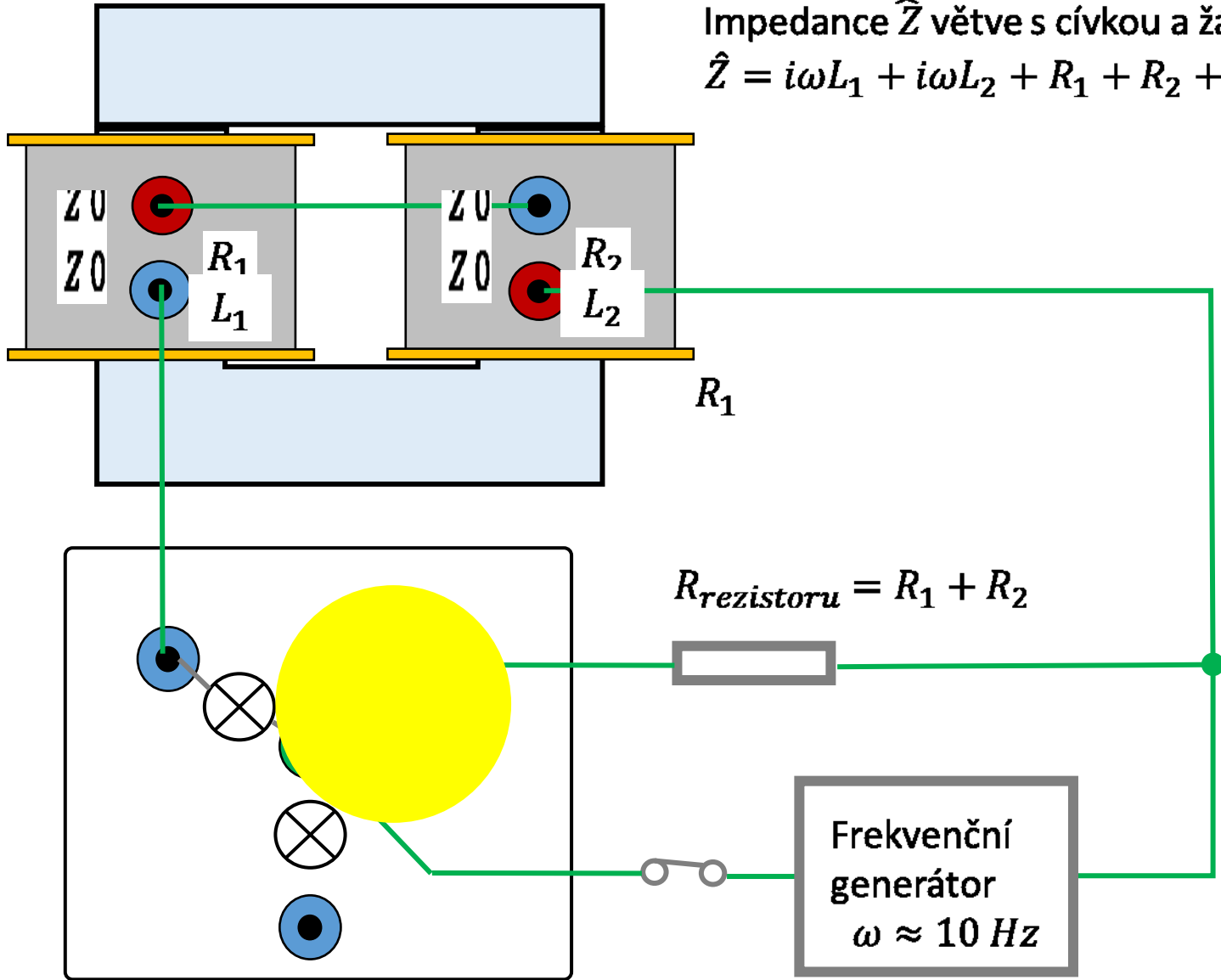


průběh svitu žárovek - schematicky

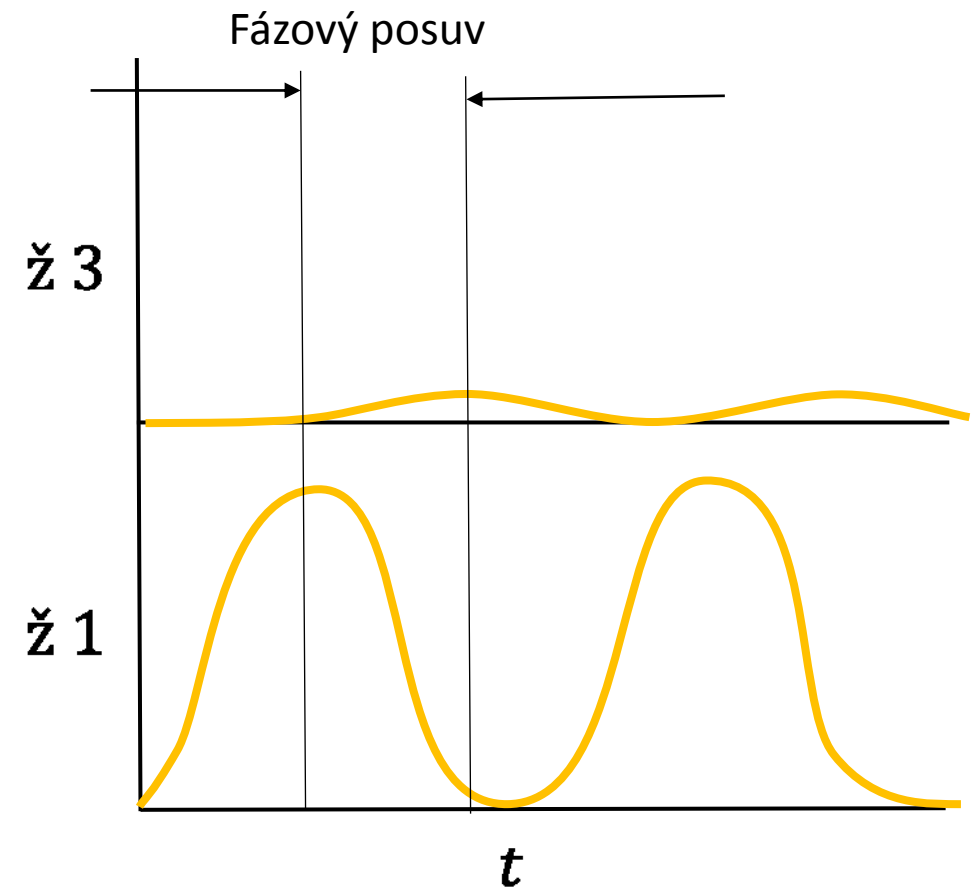


4. Demonstrace průchodu střídavého proudu obvodem s komplexní impedancí v závislosti na frekvenci 3.

Impedance \hat{Z} větve s cívkou a žárovkou je
$$\hat{Z} = i\omega L_1 + i\omega L_2 + R_1 + R_2 + R_z$$

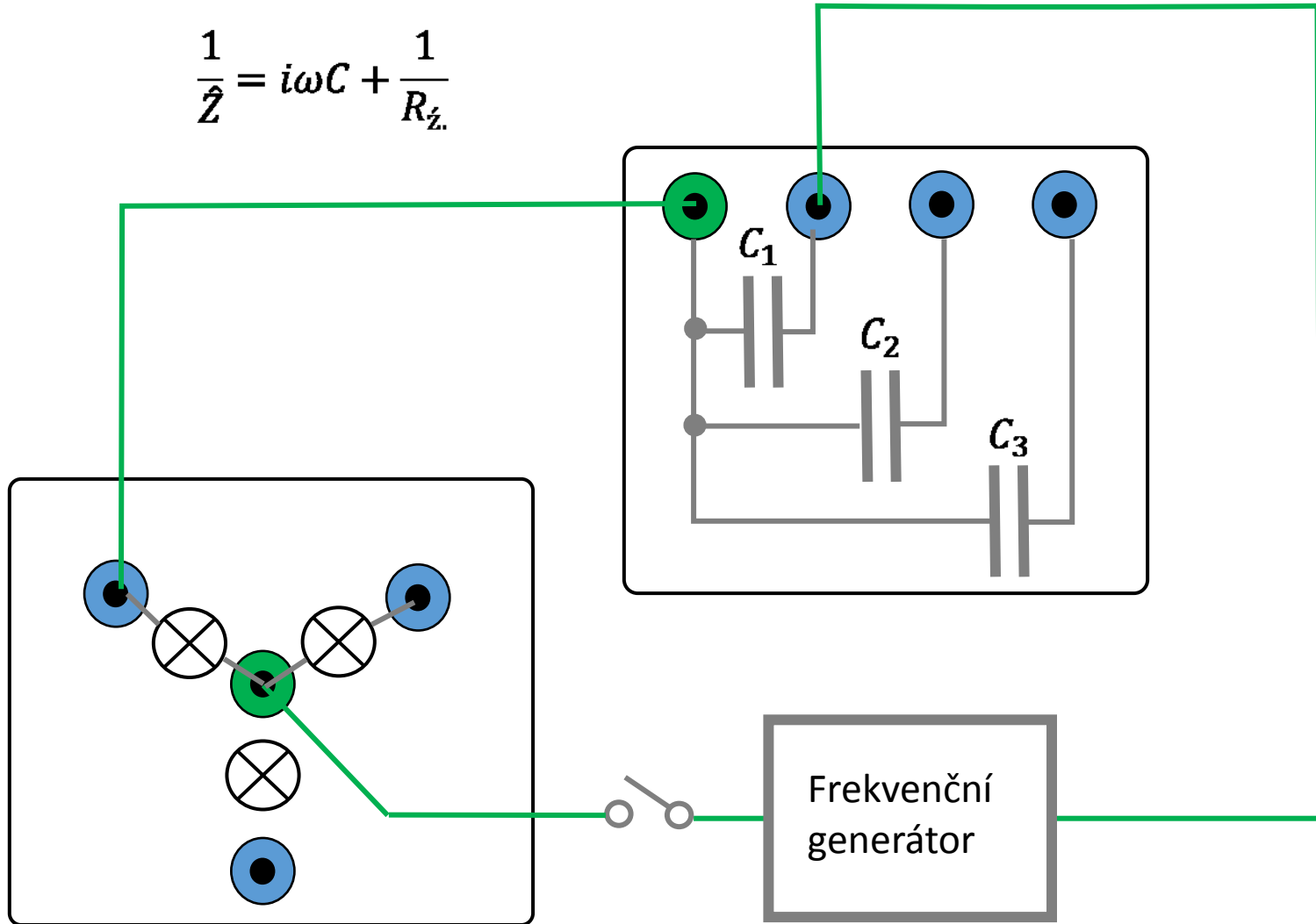


průběh svitu žárovek - schematicky



5. Demonstrace průchodu střídavého proudu obvodem s kapacitancí v závislosti na frekvenci.

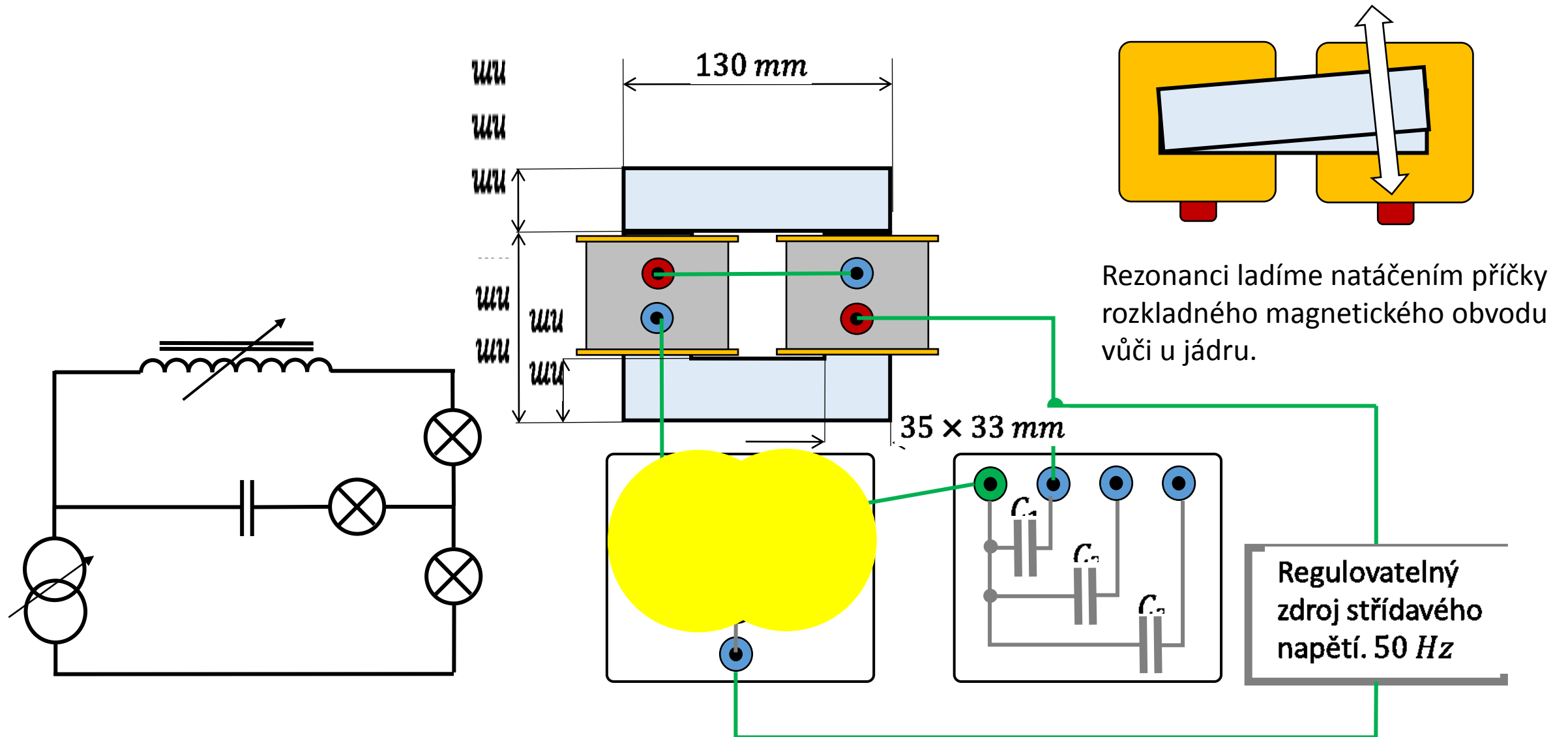
$$\frac{1}{\hat{Z}} = i\omega C + \frac{1}{R_z}$$



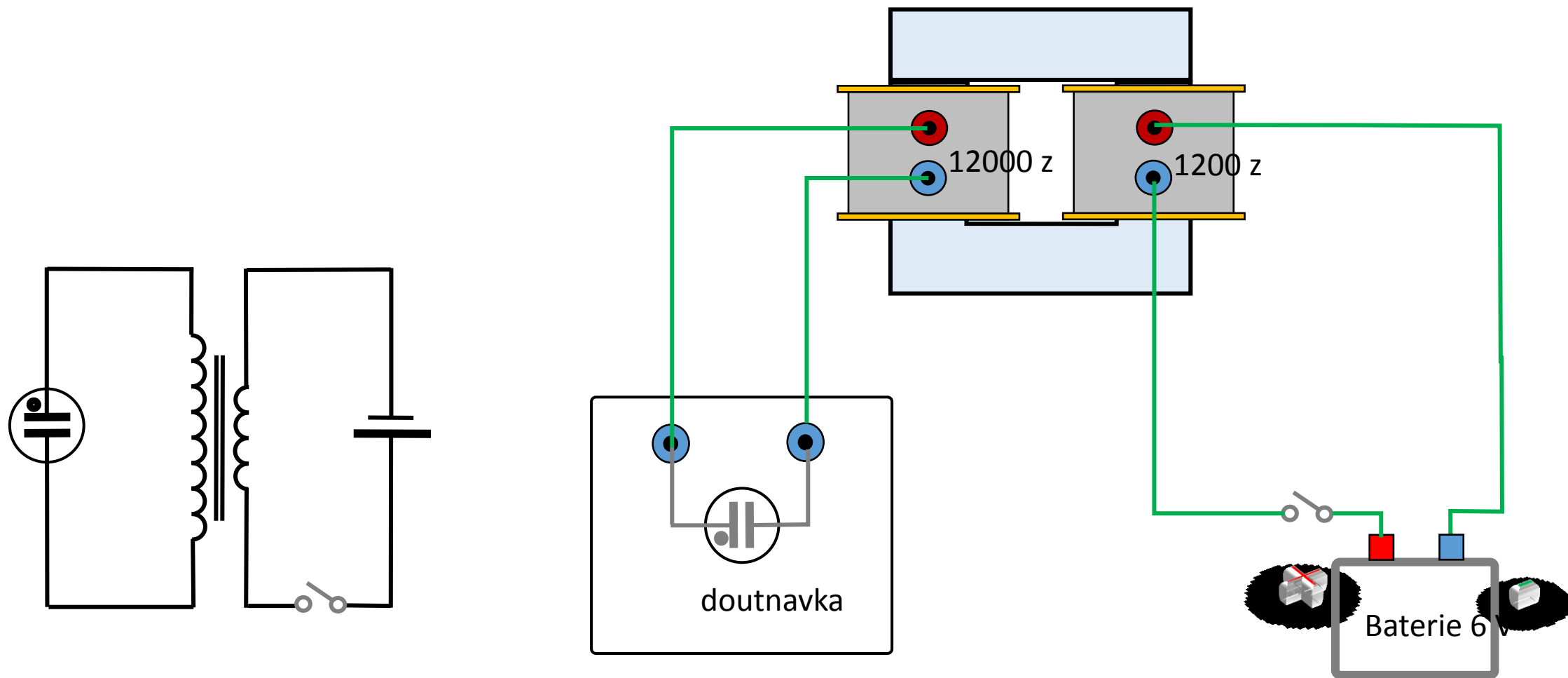
Tabulka kapacit kondenzátorů

C jmen.	f (Hz)	C_f (uF)
220 u	120	117.8
1000u	120	564
50u	120	31

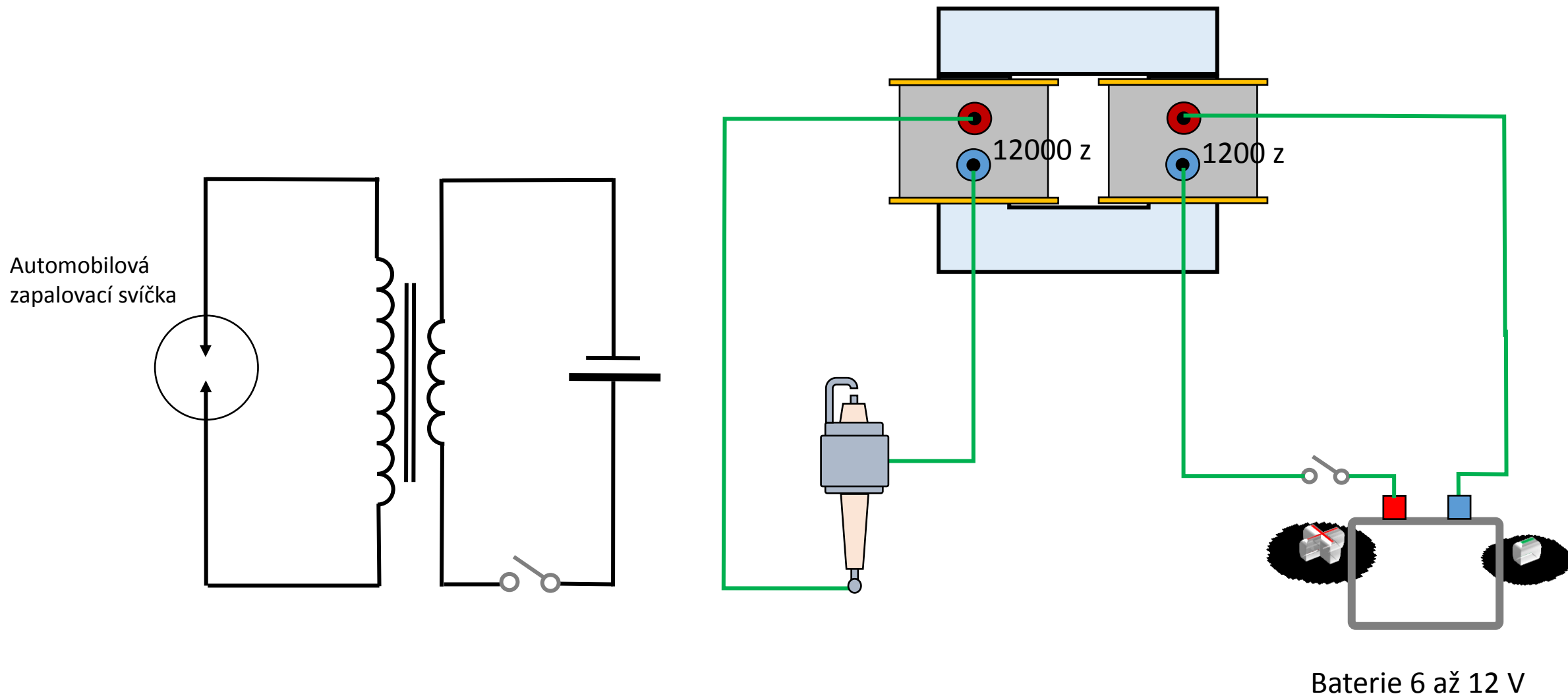
6. Demonstrace činnosti paralelního rezonančního obvodu.



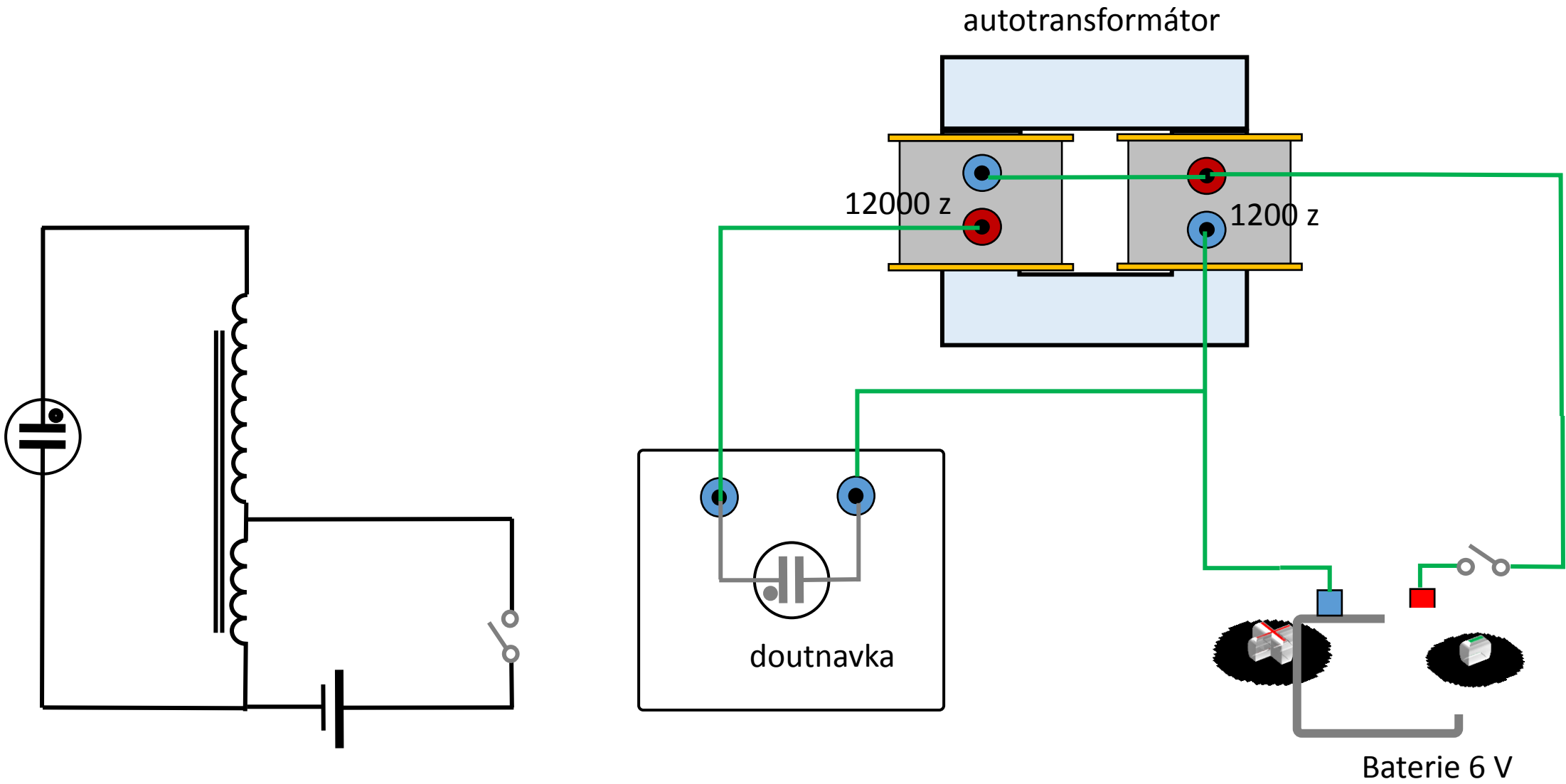
7. Demontrace přechodového jevu na transformátoru a vznik vysokonapěťové špičky 1.



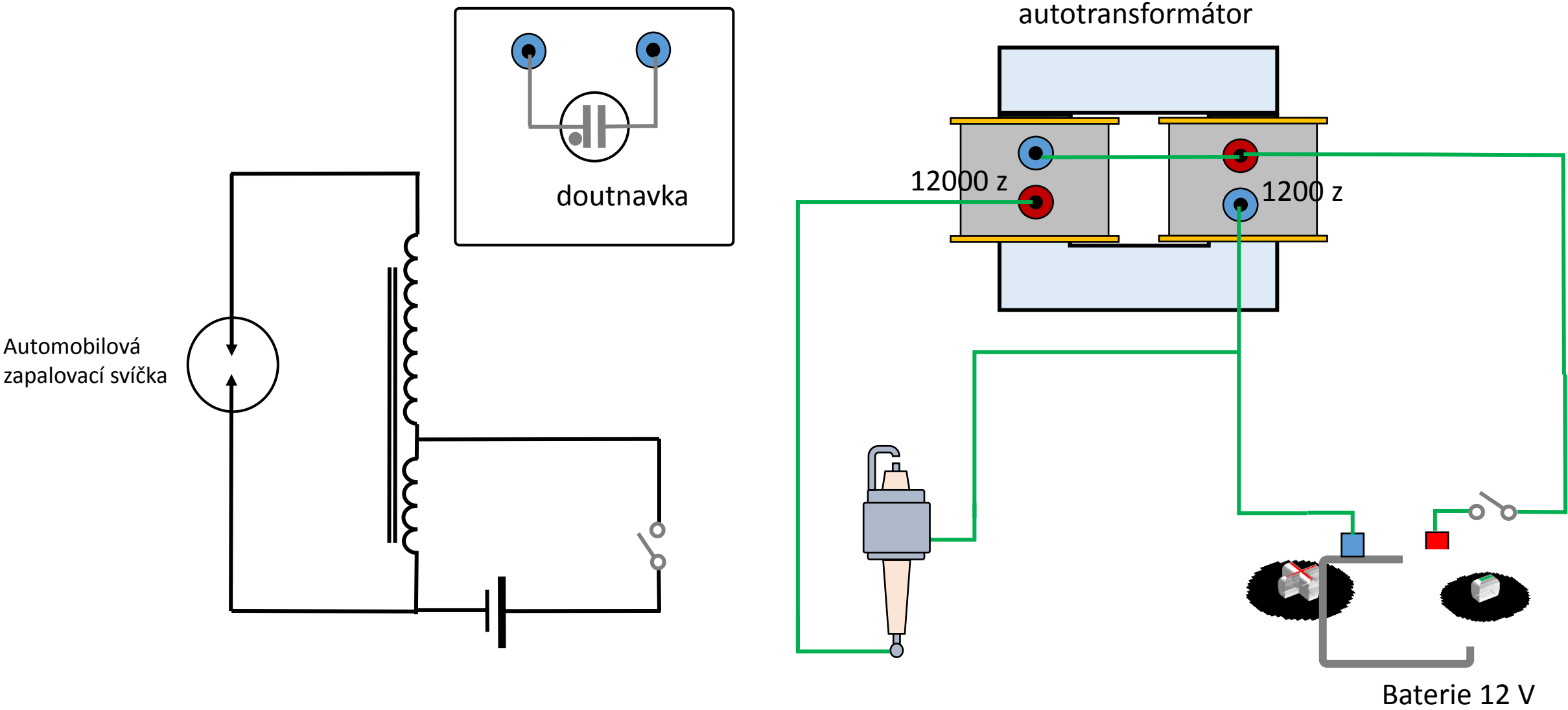
7. Demonstrace přechodového jevu na transformátoru a vznik vysokonapěťové špičky 2.



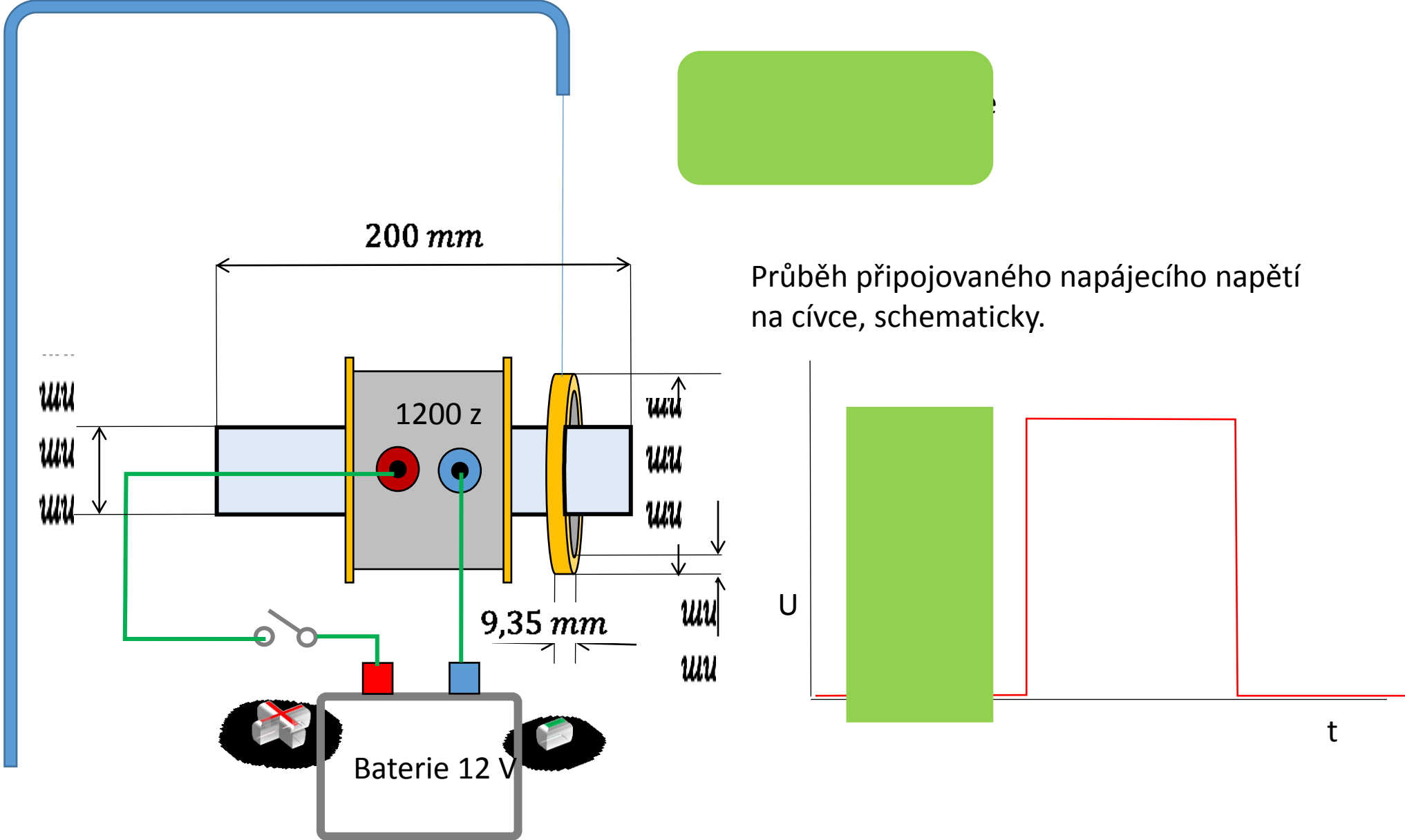
7. Demonstrace přechodového jevu na transformátoru a vznik vysokonapěťové špičky 3.



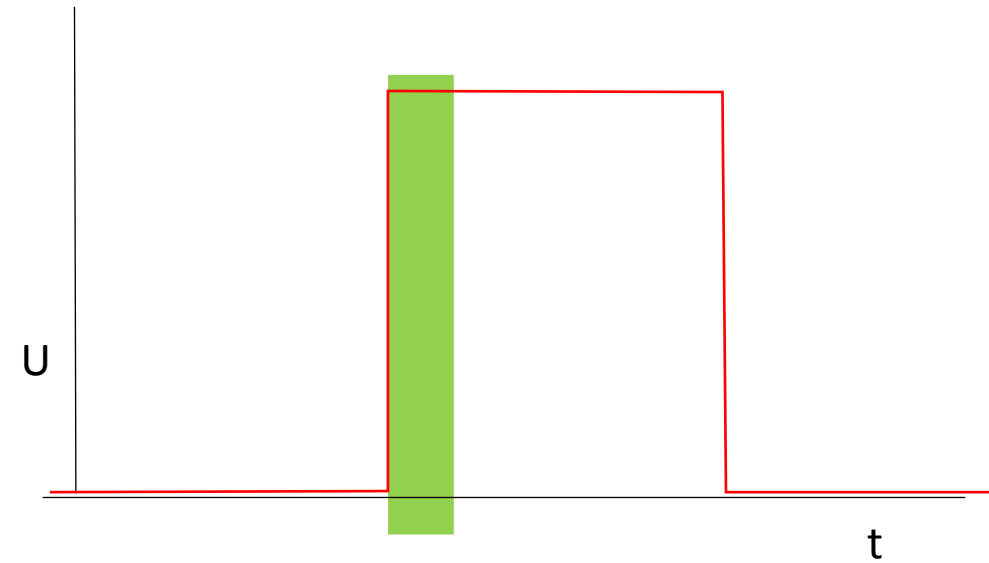
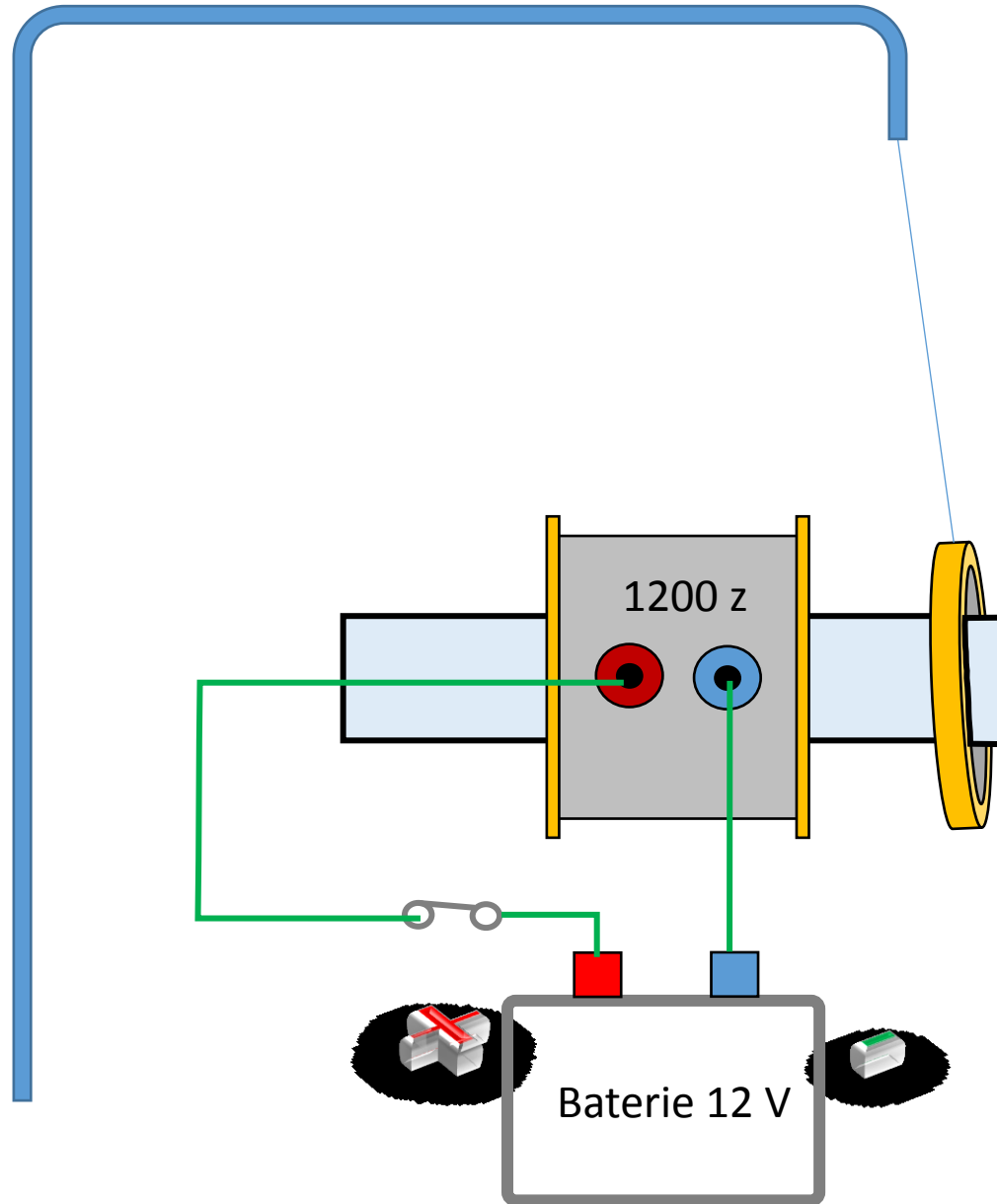
7. Demontrace přechodového jevu na transformátoru a vznik vysokonapěťové špičky 3.



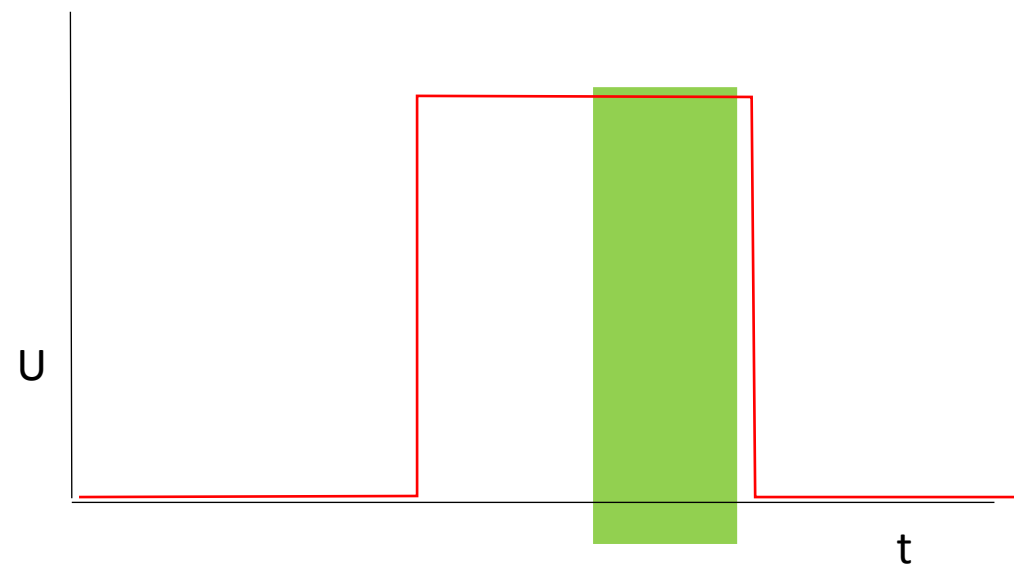
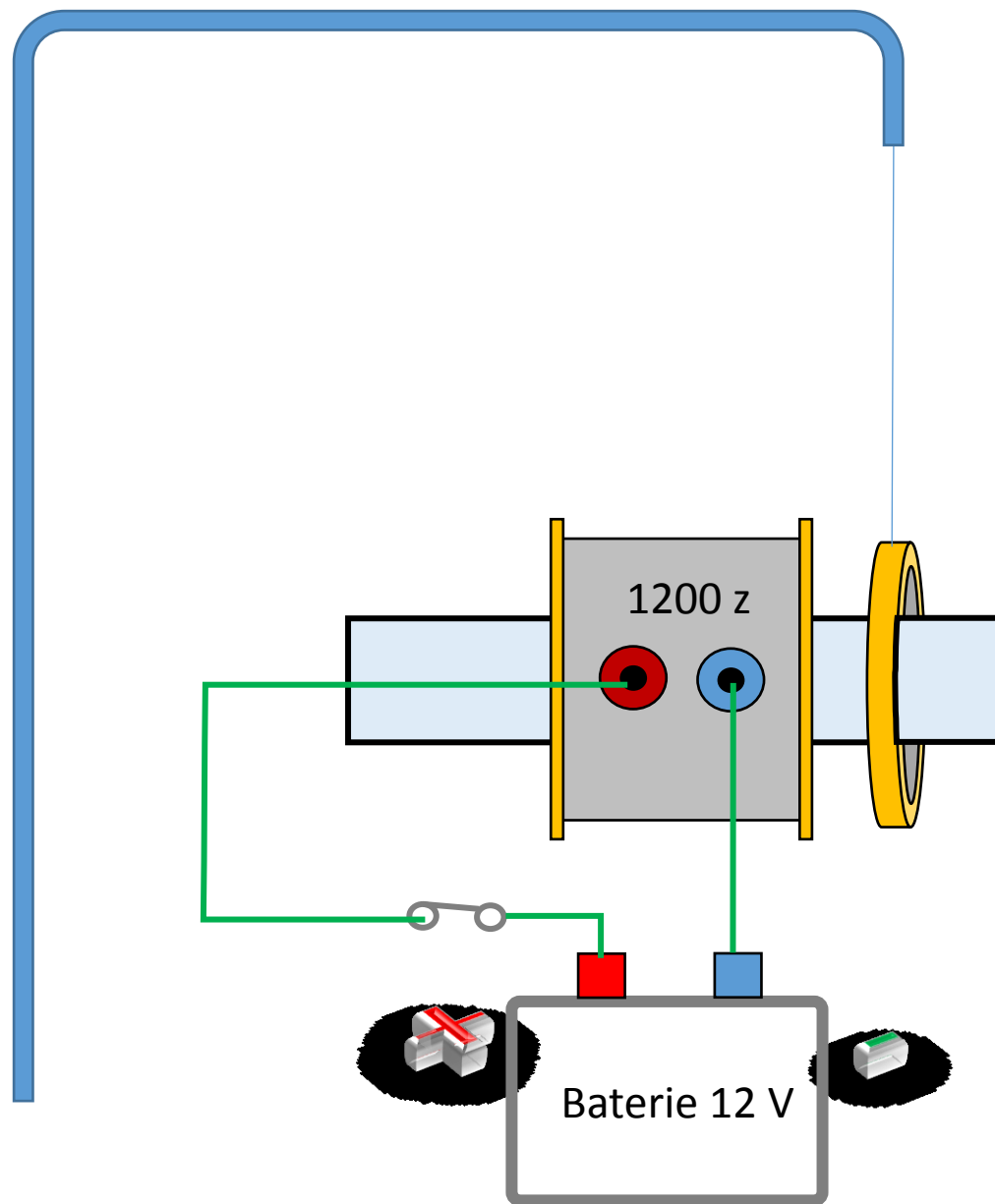
8. Demonstrace Faradayova zákona el. max. indukce, Lenzova pravidla, přechodového jevu a silového působení na vodič s proudem 1.



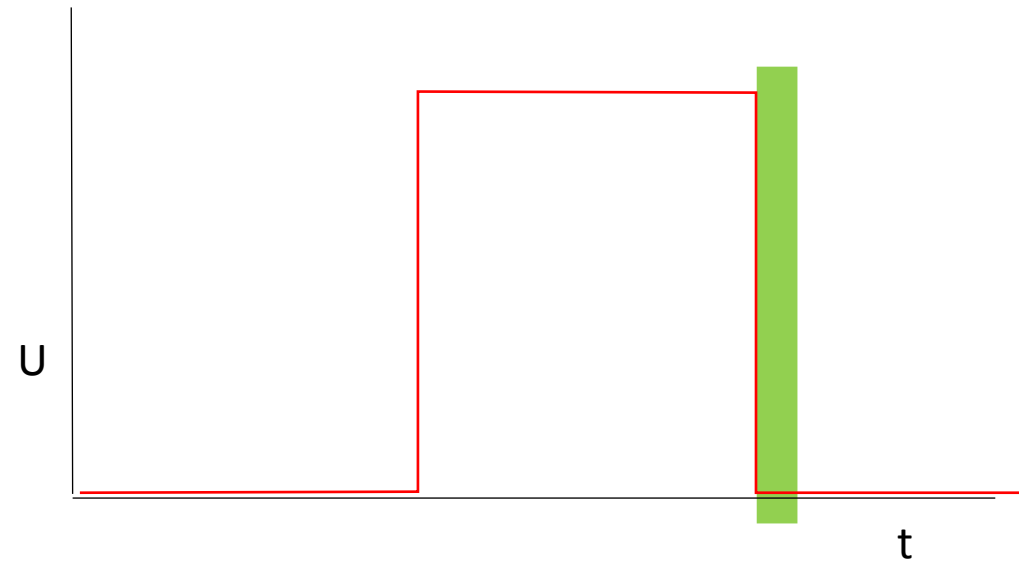
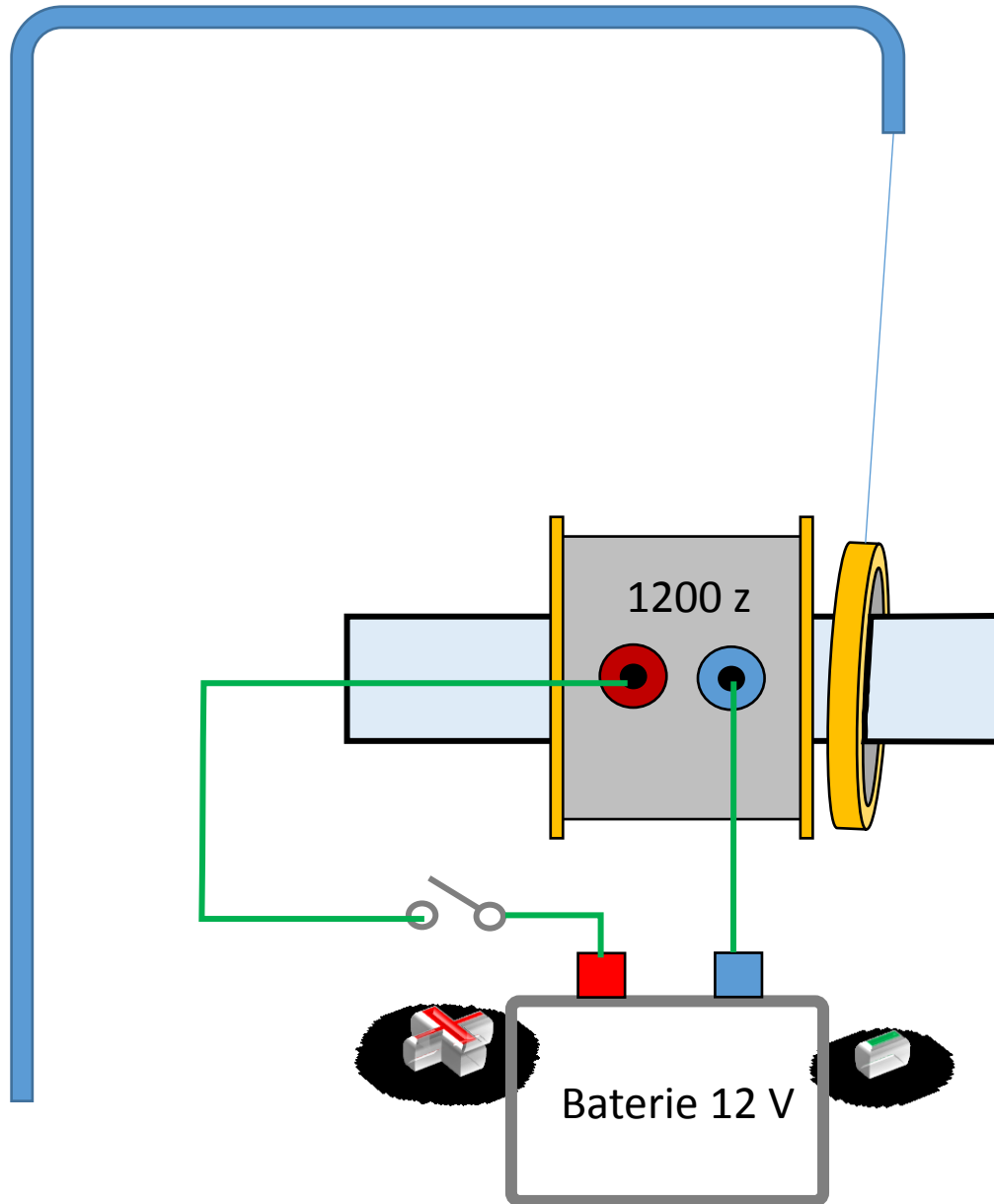
8. Demonstrace Faradayova zákona el. max. indukce, Lenzova pravidla, přechodového jevu a silového působení na vodič s proudem 2.



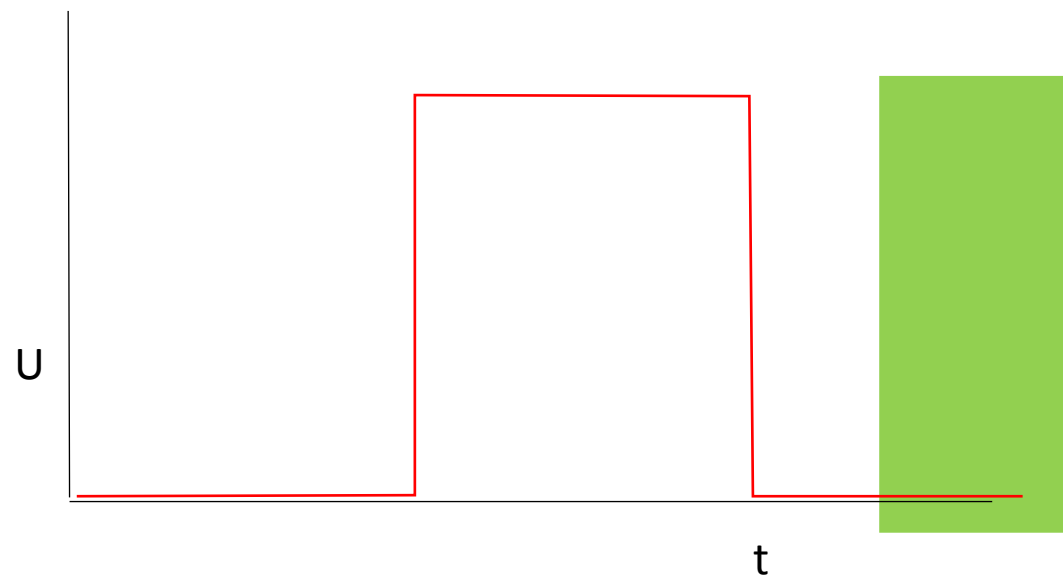
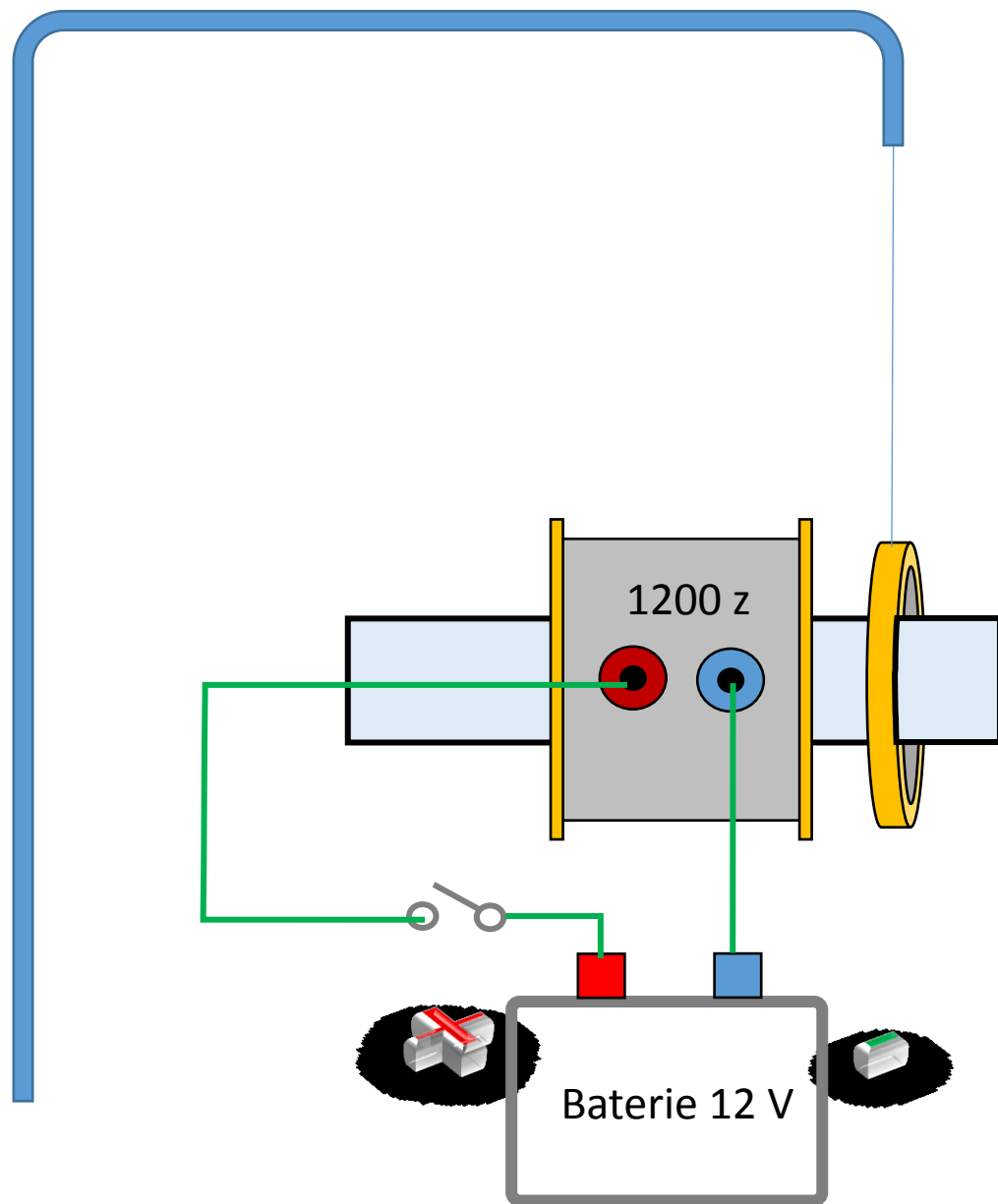
8. Demonstrace Faradayova zákona el. max. indukce, Lenzova pravidla, přechodového jevu a silového působení na vodič s proudem 3.



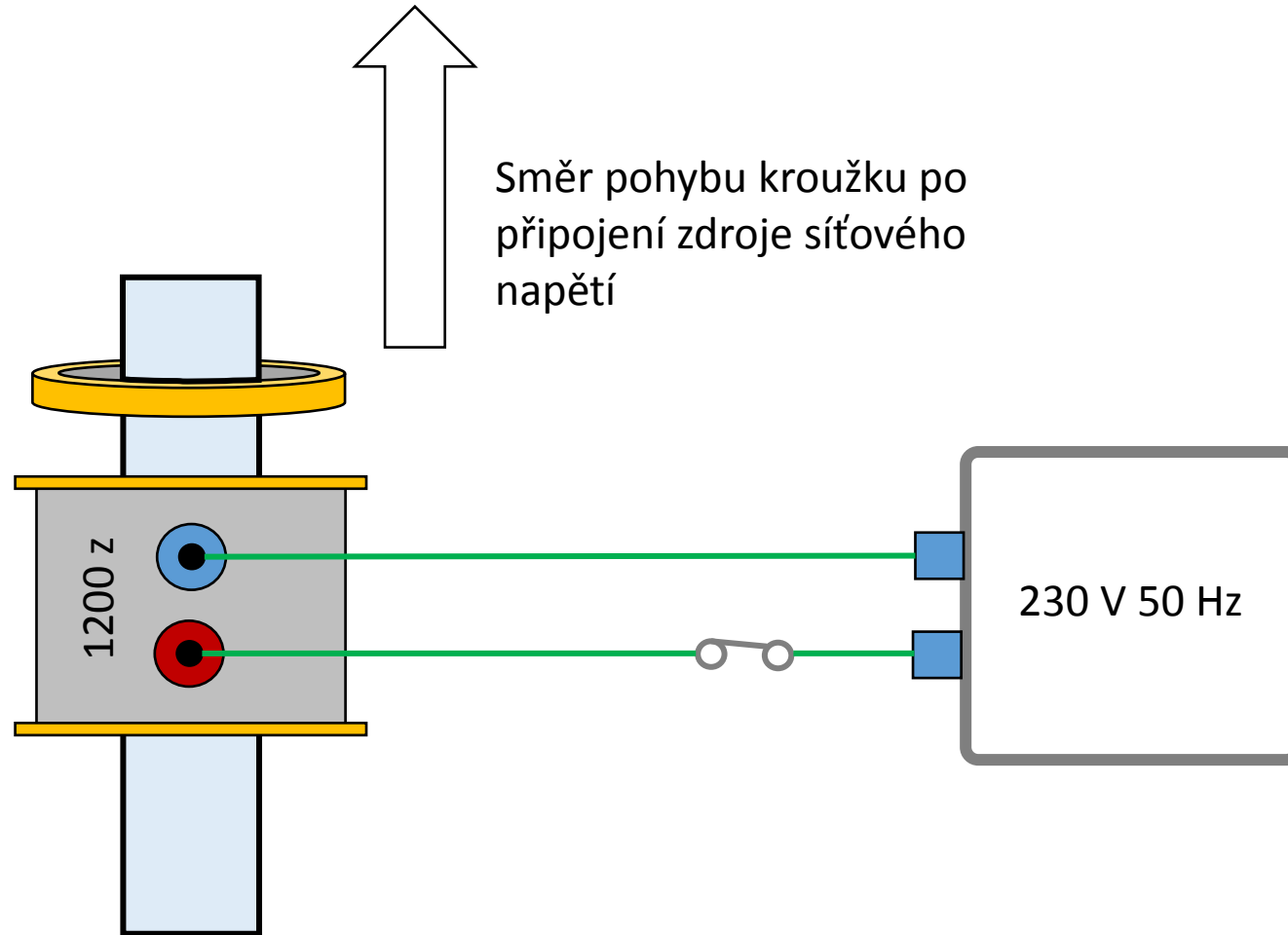
8. Demonstrace Faradayova zákona el. max. indukce, Lenzova pravidla, přechodového jevu a silového působení na vodič s proudem 4.



8. Demonstrace Faradayova zákona el. max. indukce, Lenzova pravidla, přechodového jevu a silového působení na vodič s proudem 5.



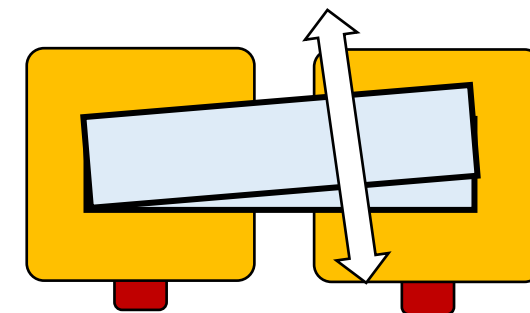
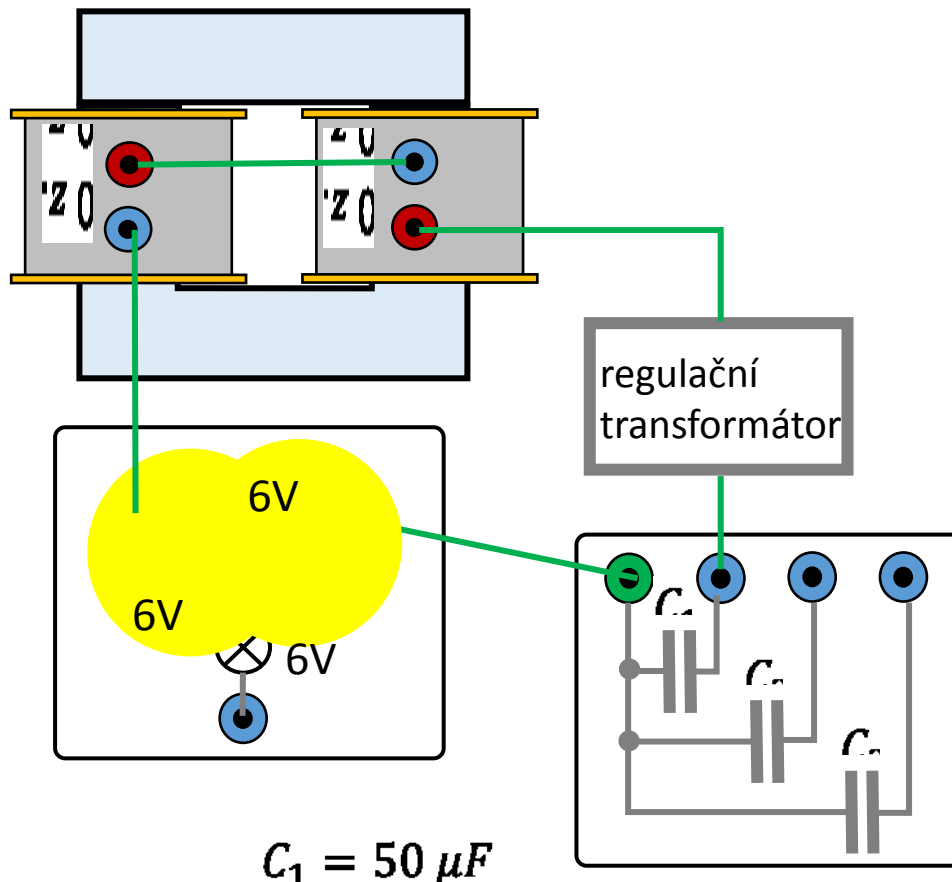
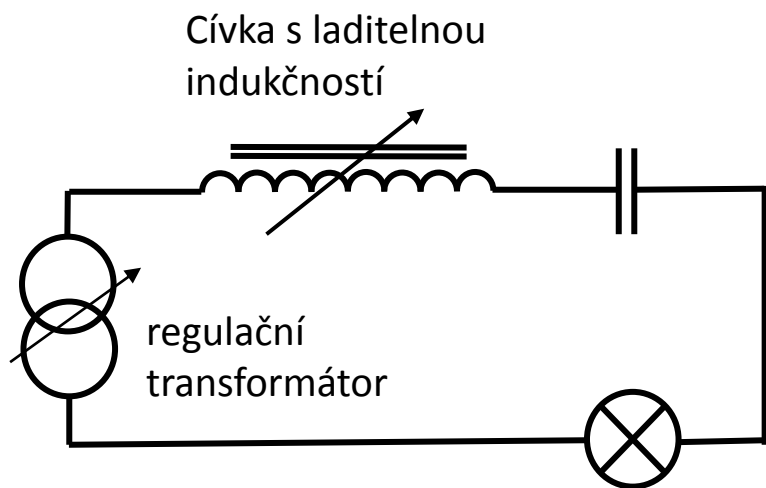
8. Demonstrace Faradayova zákona el. max. indukce, Lenzova pravidla, přechodového jevu a silového působení na vodič s proudem 6.



9. Demontrace činnosti sériového rezonančního obvodu 1.

Krok č.1

Rezonanci naladíme natáčením příčky jádra transformátoru a optimální svítivost žárovček napětím regulačního transformátoru.

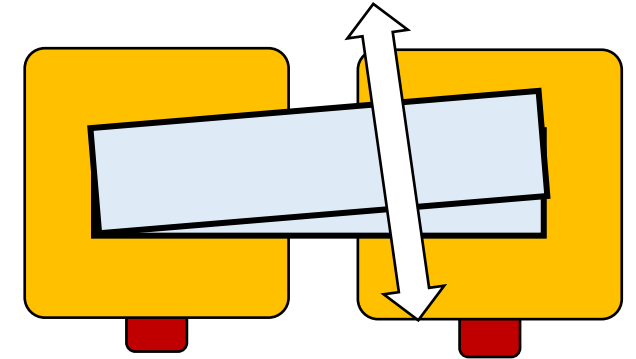
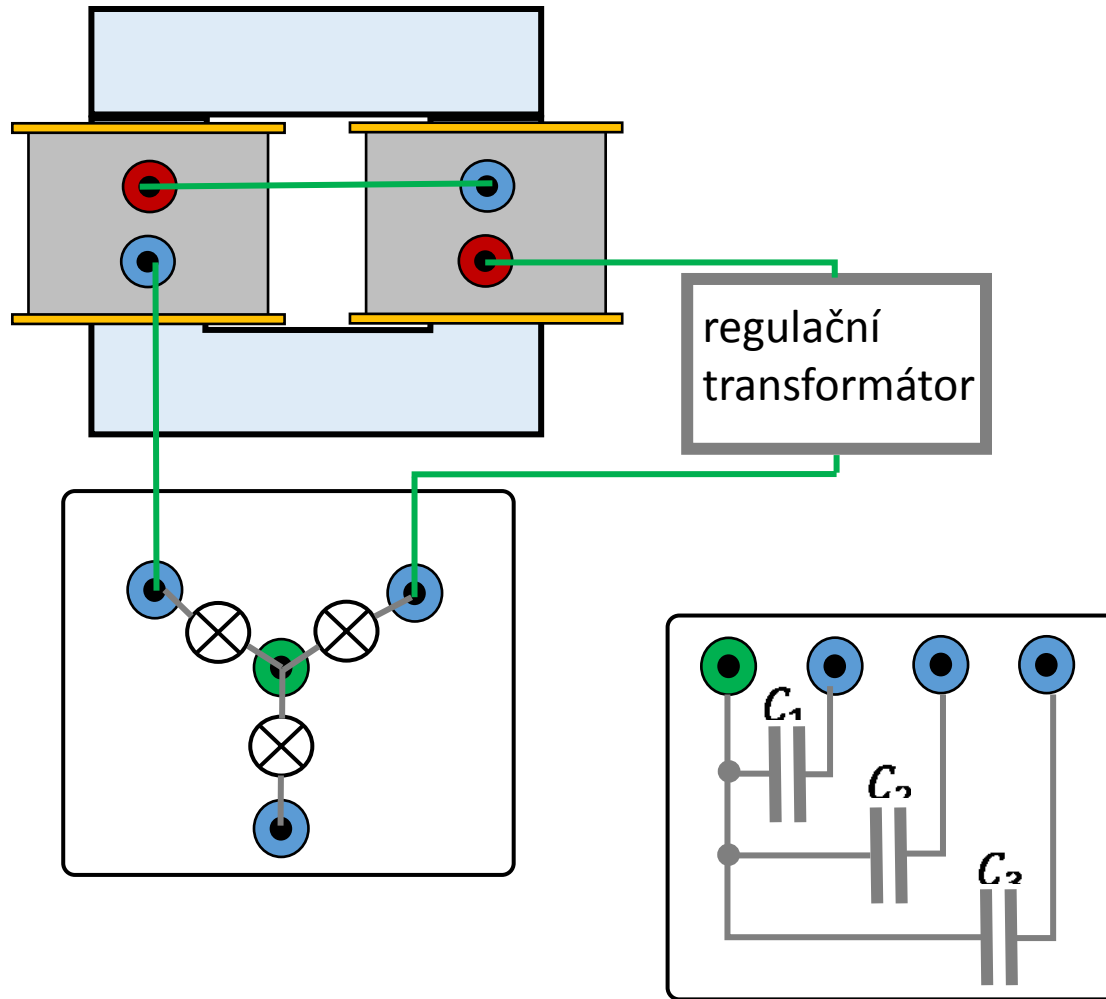


Rezonanci naladíme natáčením příčky rozkladného magnetického obvodu vůči u jádru.

9. Demonstrace činnosti sériového rezonančního obvodu 2.

Krok č.2

Při nastavených parametrech rezonance zapojíme obvod pouze s cívkou s indukčností, tj. bez kondenzátoru. Žárovky nesvítilí.



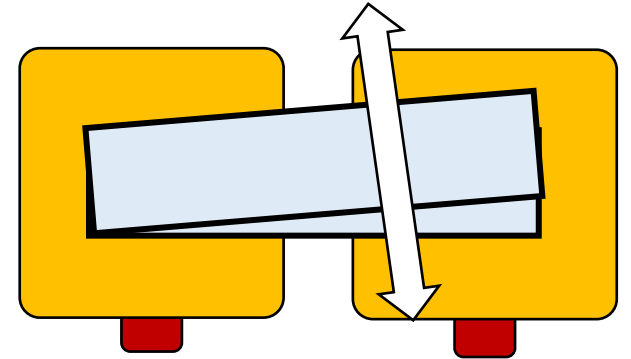
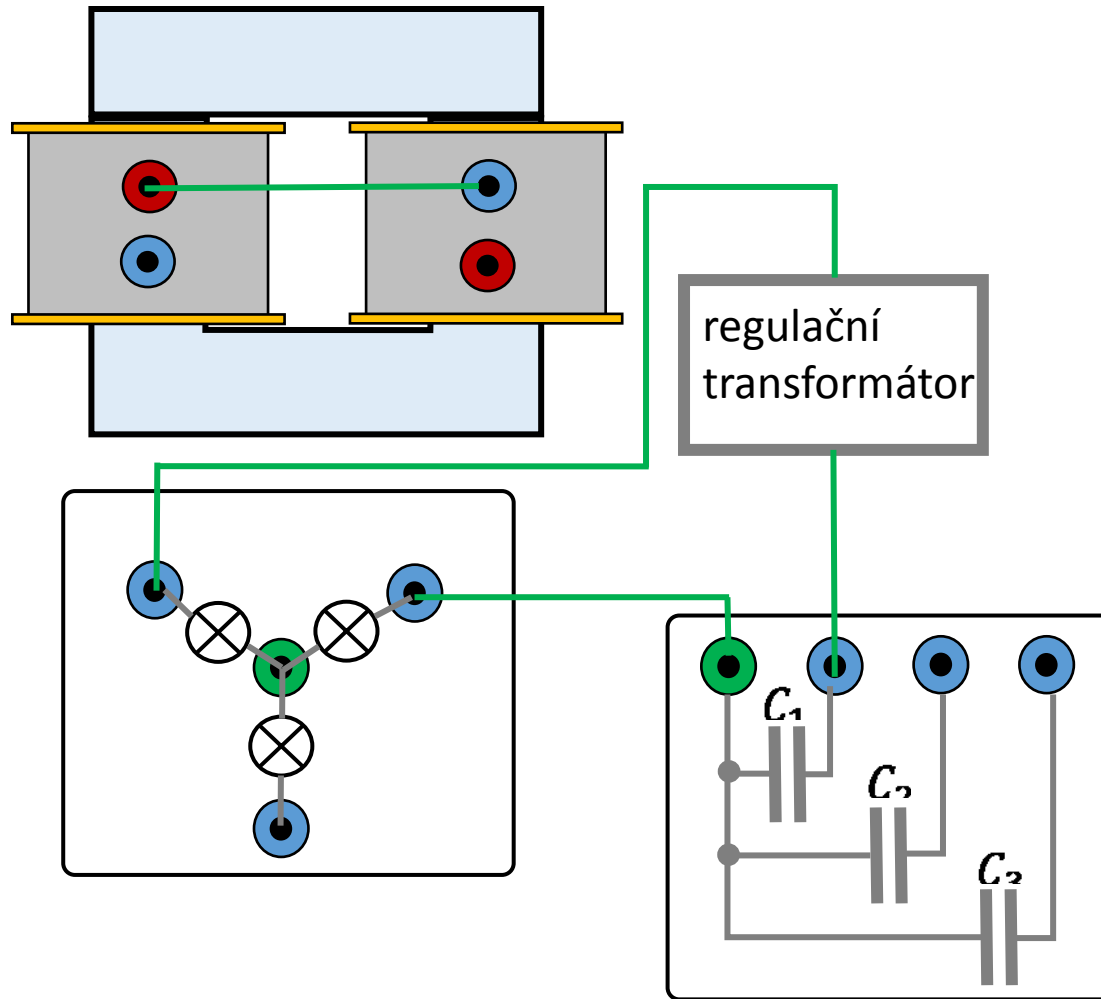
Rezonanci naladíme natáčením příčky rozkladného magnetického obvodu vůči u jádru.

9. Demonstrace činnosti sériového rezonančního obvodu 3.

Krok č.3

Při nastavených parametrech rezonance zapojíme obvod pouze s kondenzátorem, tj. bez cívky s indukčností. Žárovky nesvítí.

Jak je možné, že pro střídavý proud určitého napětí a frekvence jsou kondenzátor a cívka samostatně mnohem méně propustné, než jejich sériová kombinace ?



Rezonanci naladíme natáčením příčky rozkladného magnetického obvodu vůči u jádru.

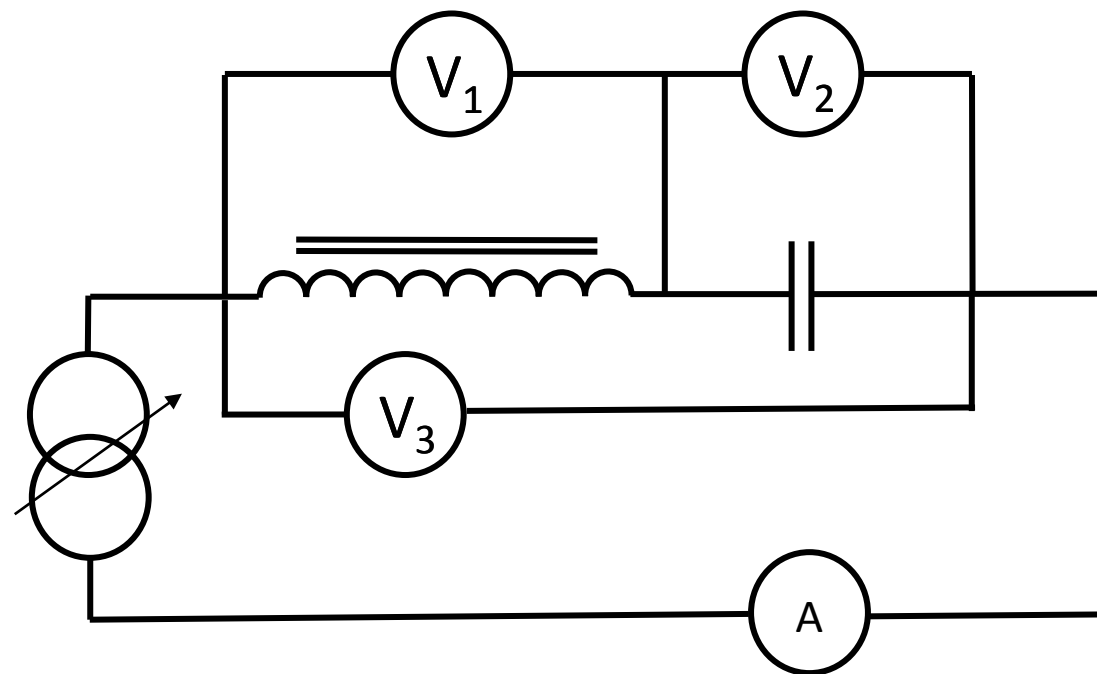
9. Demonstrace činnosti sériového rezonančního obvodu 4.

Krok č. 4

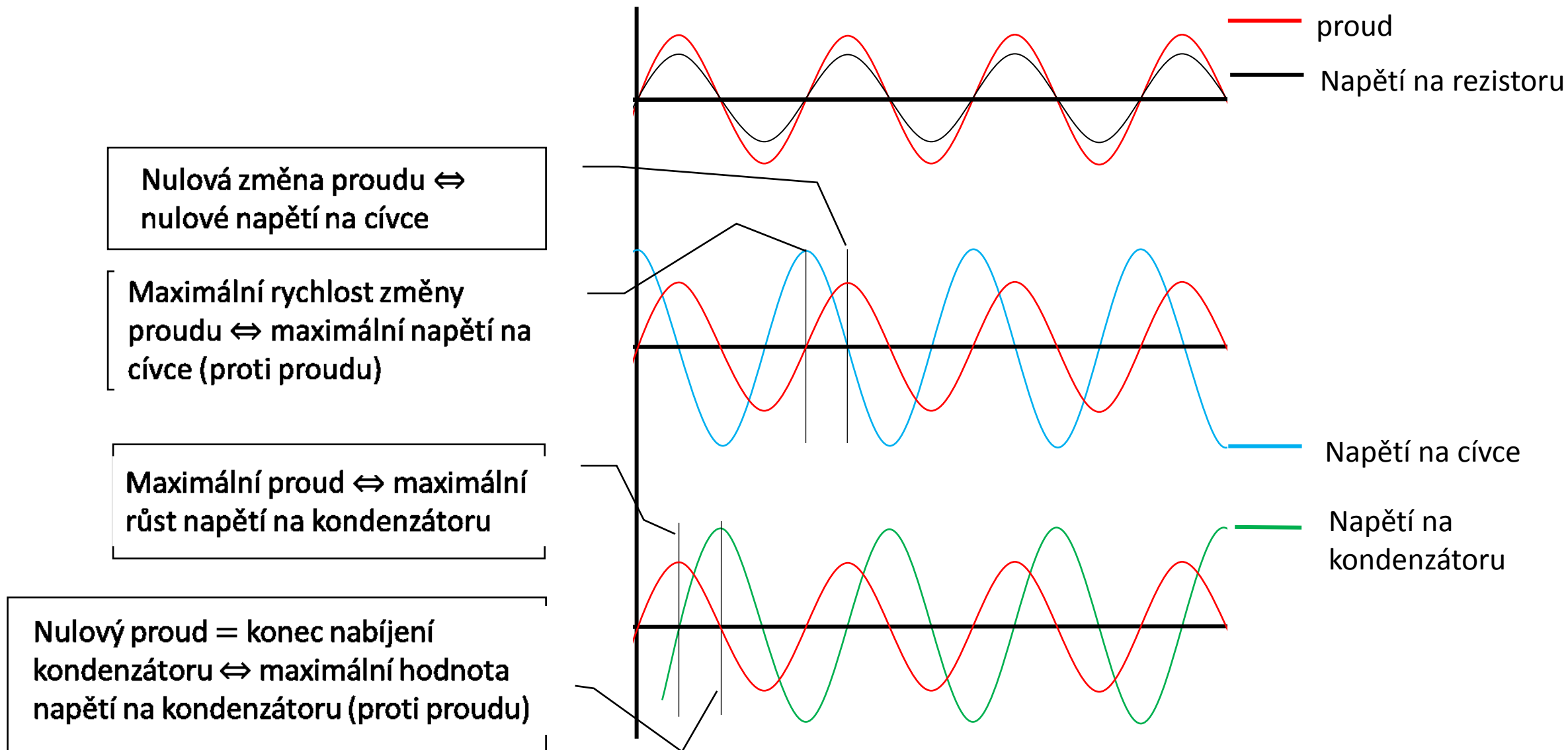
K cívce a kondenzátoru připojíme střídavé voltmetry dle obrázku. Zjistíme, že $V_1, V_2 > V_3$. V sériové kombinaci teče cívkou i kondenzátorem větší proud než při stejném napětí každým prvkem zvlášť proto, že je na nich vyšší napětí. Jak je to možné?

Tento výsledek je možné očekávat, protože má-li téct každým prvkem vyšší proud. Musí být na něm vyšší napětí, protože prvek nemůže poznat, co je sním zapojeno do série.

Z obr. na dalším snímku je vidět, že potenciálový spád je na kapacitanci a induktanci opačný. Naměřené efektivní napětí měřené zvlášť na každém prvku je tedy střední kvadratická hodnota napájecího napětí, mínus napětí druhého prvku. Je to stejné, jako v případě dvou rezistorů v sérii, kdy napětí na každém prvku zvlášť je napětí zdroje mínus napětí druhého rezistoru. U Cívky s indukčností a kondenzátoru je vzhledem k tomu, že napětí jdou proti sobě, o toto napětí druhého prvku zvýšeno.

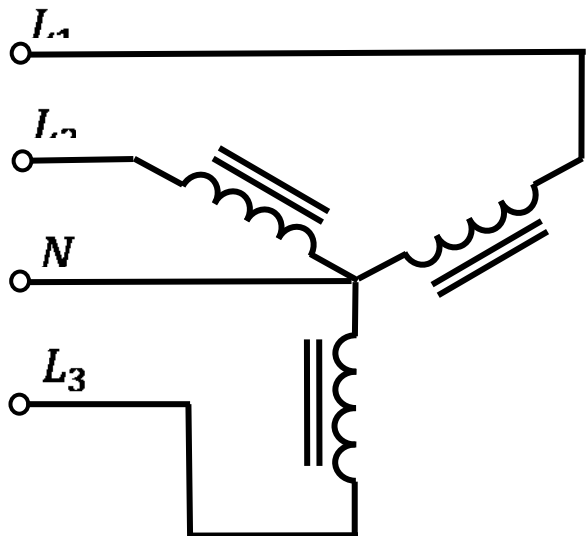
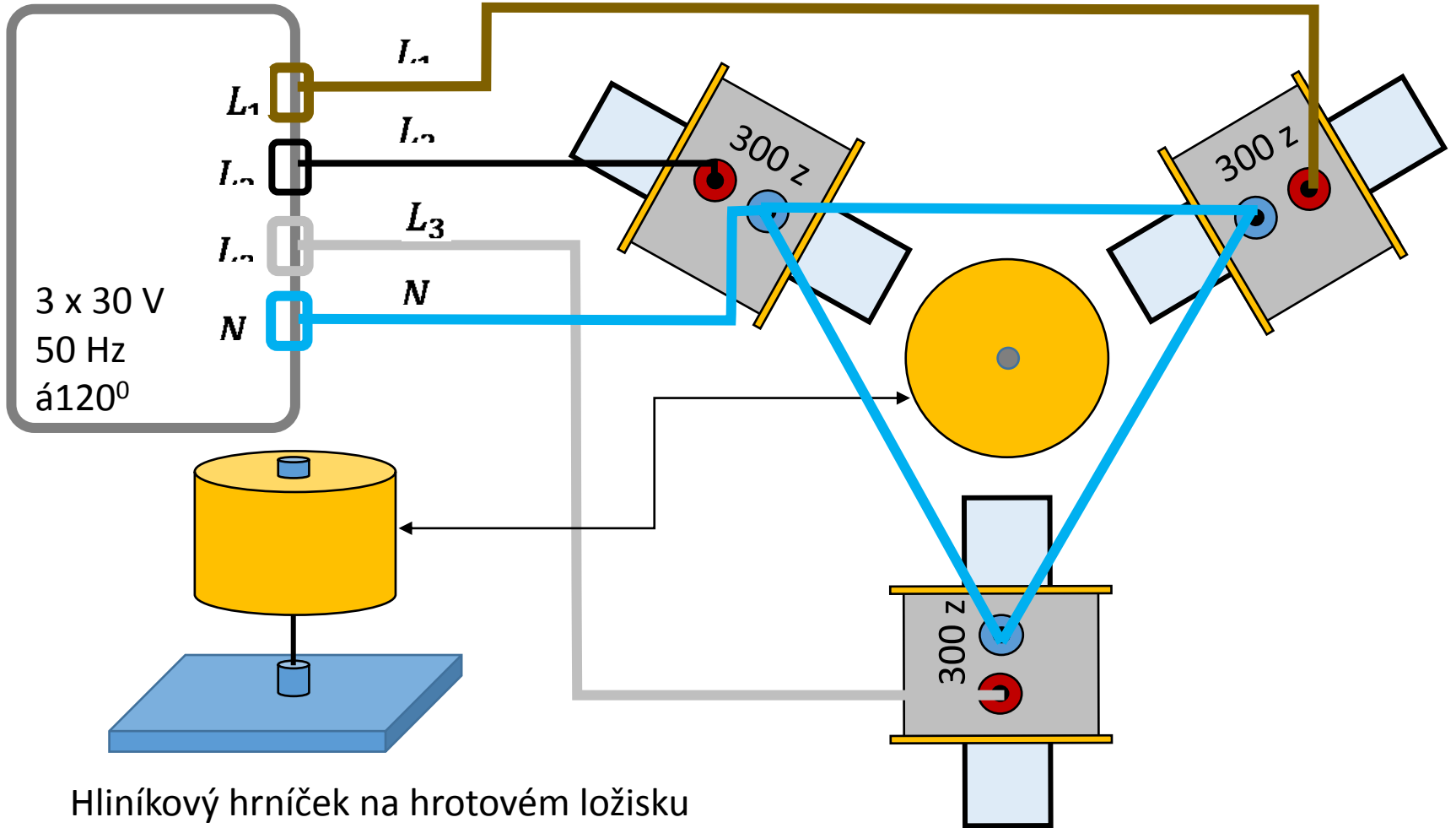


9. Demonstrace činnosti sériového rezonančního obvodu 5.



10. Demonstrace funkce 3 fázového asynchronního elektromotoru s kotvou na krátko. Zapojení vinutí statoru do hvězdy.

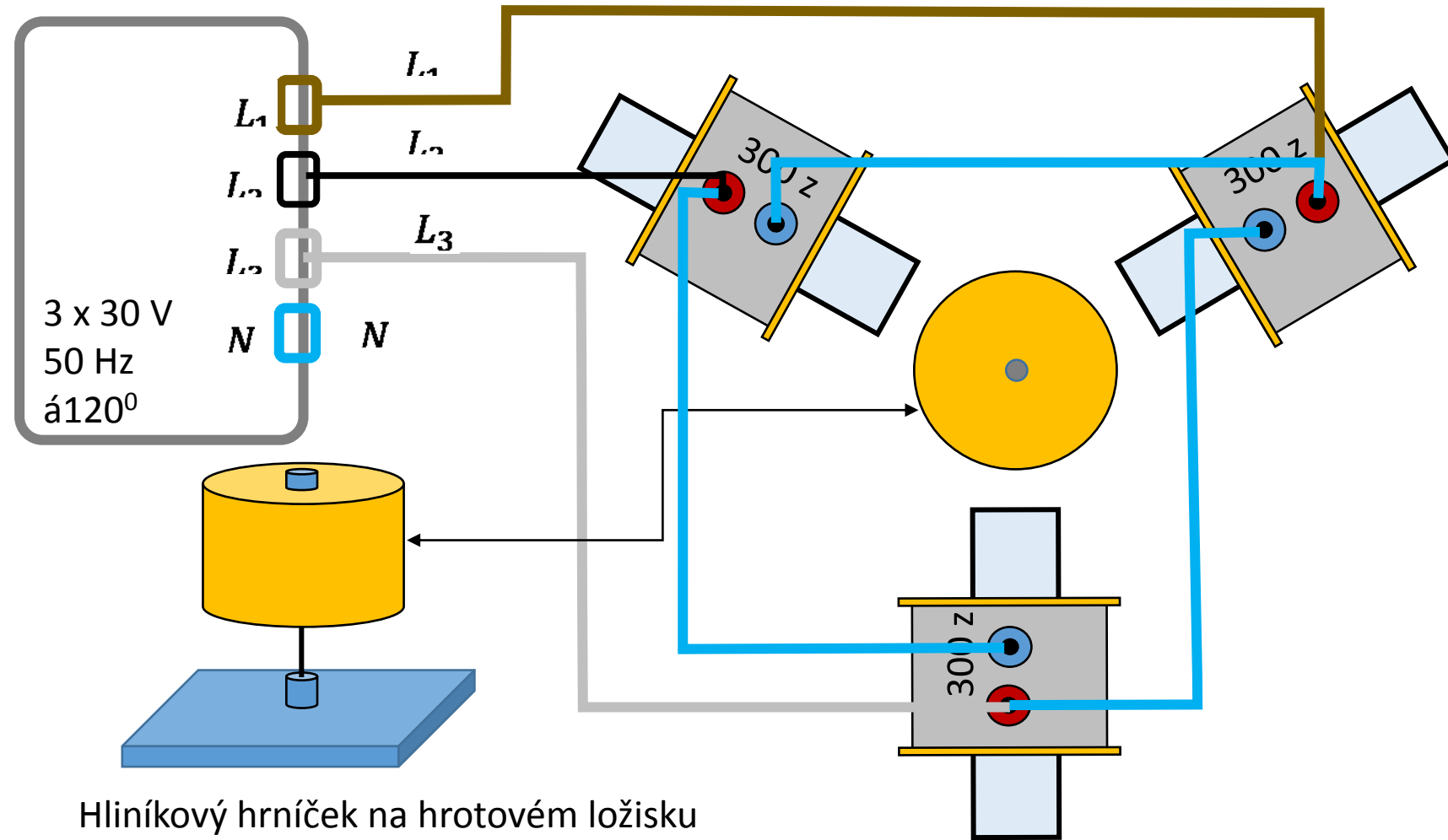
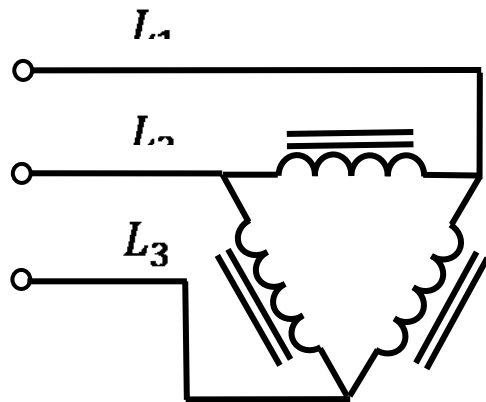
Elektrický obvod zapojte dle obrázku.
Zaznamenejte směr otáčení hrníčku.
Zaměňte zapojení dvou vodičů, například přehozením vodiče L_1 a L_2 . Jak se změní směr otáčení a proč.



11. Demonstrace funkce 3 fázového asynchronního elektromotoru s kotvou na krátko. Zapojení vinutí statoru do trojúhelníku.

Elektrický obvod zapojte dle obrázku. Porovnejte rychlost otáčení hrníčku s případem zapojení cívek do hvězdy a pozorovaný efekt vysvětlete. Zaznamenejte směr otáčení hrníčku.

Zaměňte zapojení dvou vodičů, například přehozením vodiče L_1 a L_2 . Jak se změní směr otáčení a proč?

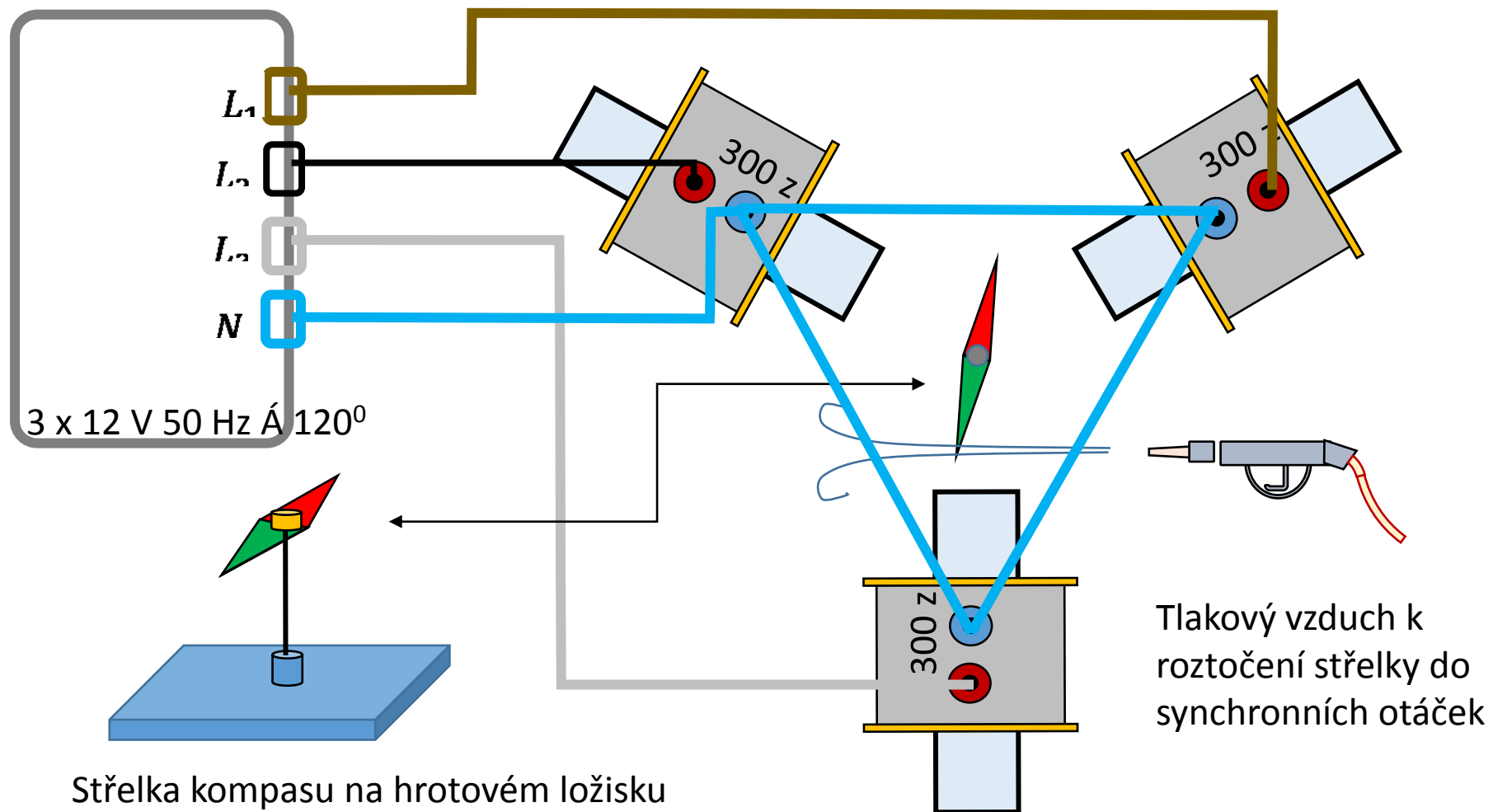
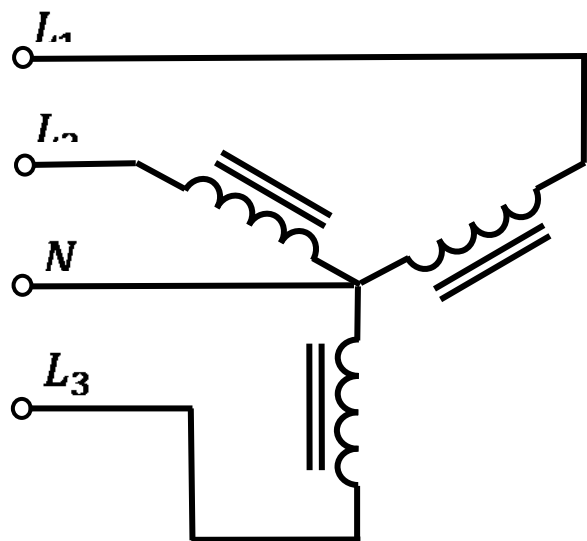


Hliníkový hrníček na hrotovém ložisku

12. Demonstrace funkce 3 fázového synchronního elektromotoru

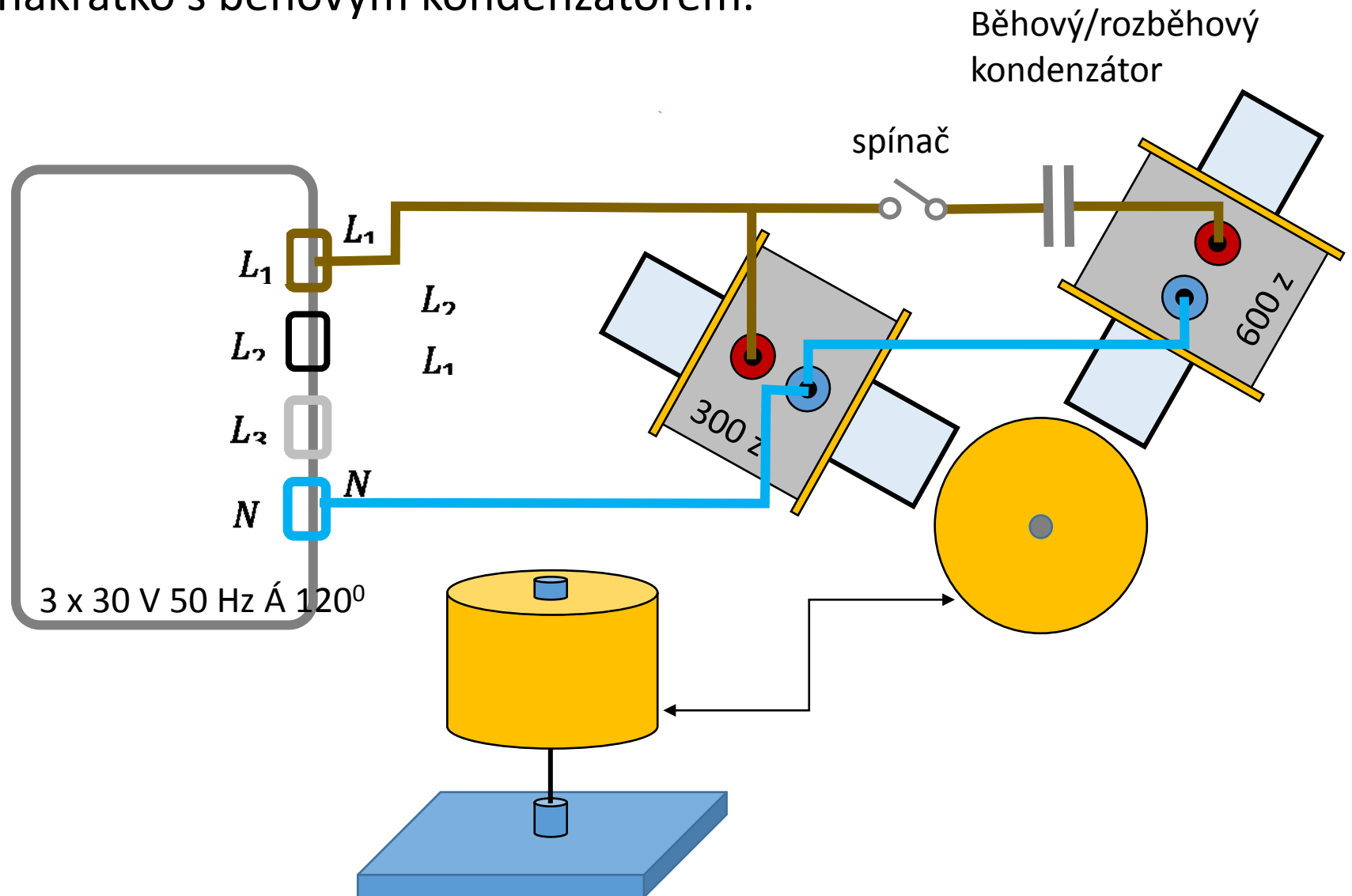
Zapojení vinutí statoru do hvězdy.

Elektrický obvod zapojte dle obrázku. Vložení hliníkového hrníčku na hrotové ložisko mezi póly cívek s jádrem určete směr rotace magnetického pole. V tomto směru roztočte magnetickou střelku tlakovým vzduchem do synchronních otáček.



13. Demonstrace funkce jedno fázového asynchronního elektromotoru s kotvou nakrátko s běhovým kondenzátorem.

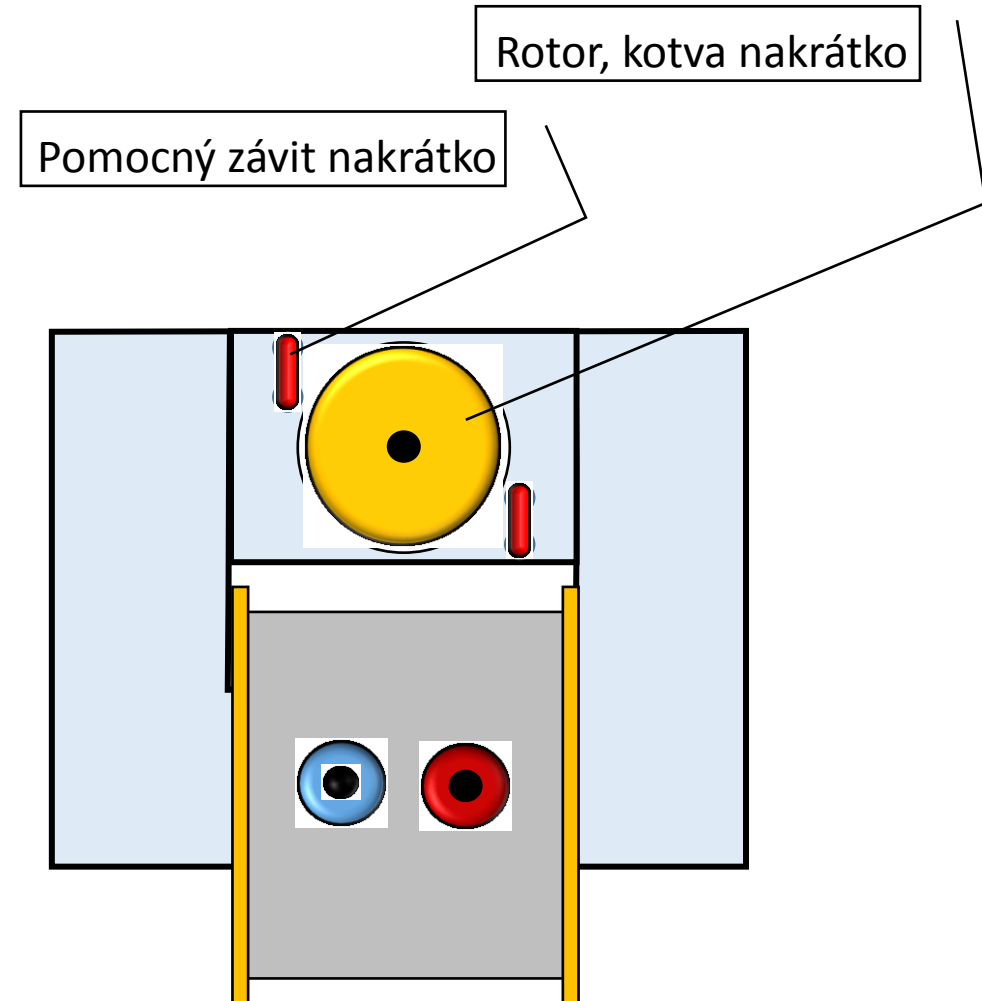
Experiment sestavte a elektrický obvod zapojte dle obrázku. Spínač nechte rozpojený. Hliníkový hrníček by se neměl otáčet. Vysvětlete. Sepněte spínač a vysvětlete změnu chování hrníčku.



Hliníkový hrníček na hrotovém ložisku

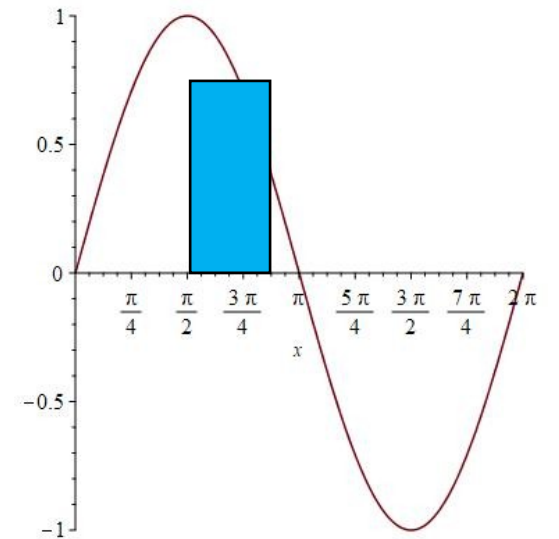
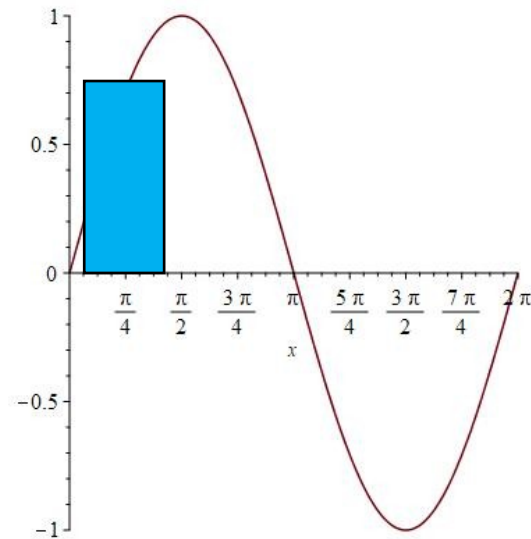
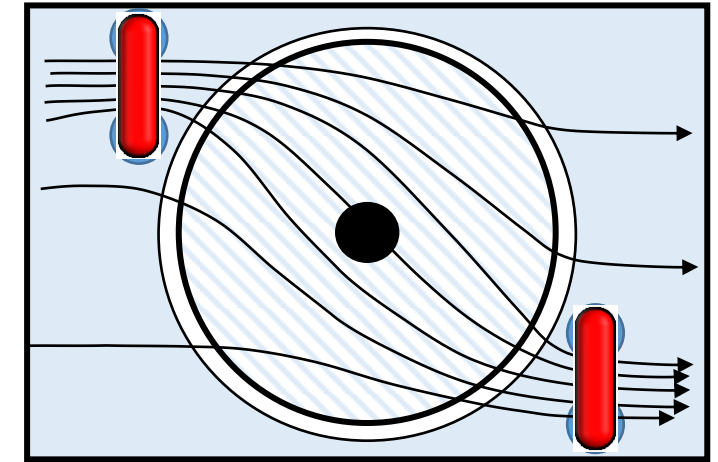
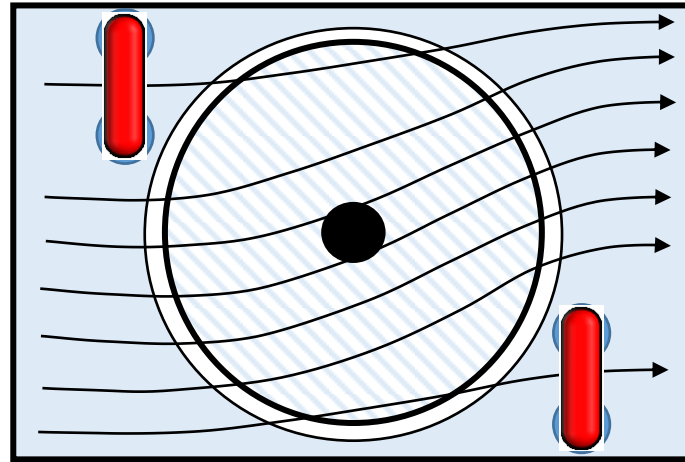
14. Vysvětlení funkce asynchronního jednofázového elektromotoru s kotvou na krátko s pomocným rozběhovým závitem do zkratu 1.

Malé motorky na síťové napětí, u kterých nejsou požadovány vysoké výkony ani otáčky, mají konstrukci jejíž princip je zachycen na obrázku. Kotva se roztočí v důsledku fázového posuvu proudu v pomocných závitech na krátko, viz. snímek 42 a 43. 1, kde je zakreslen tvar magnetických indukčních čar v části magnetického obvodu u kotvy na krátko.



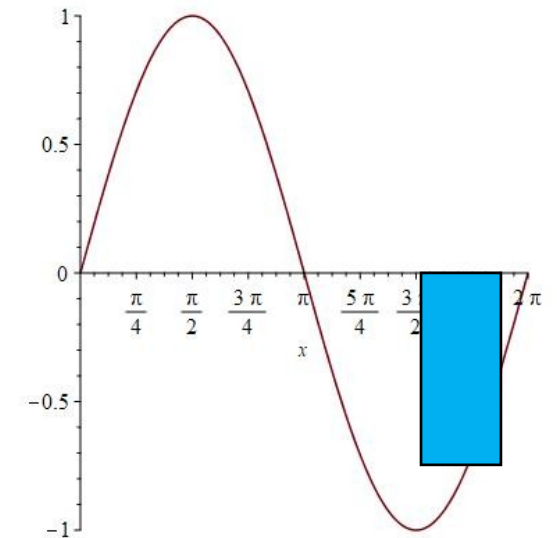
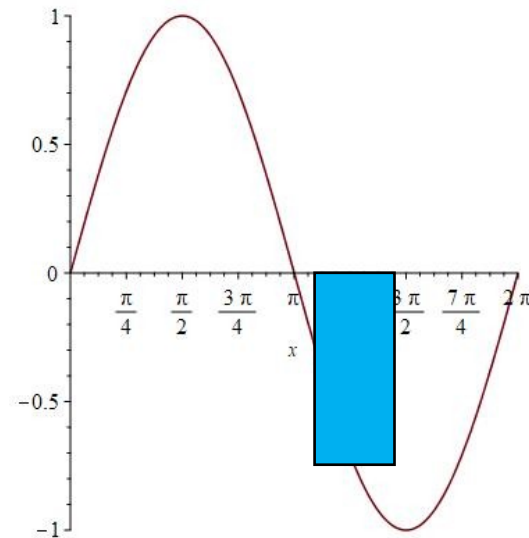
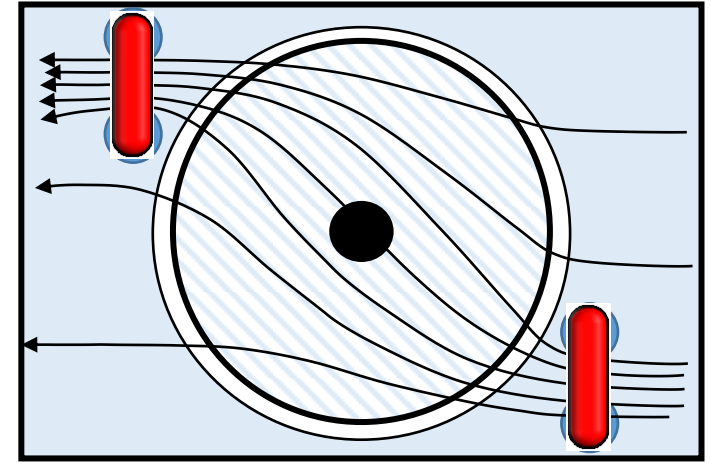
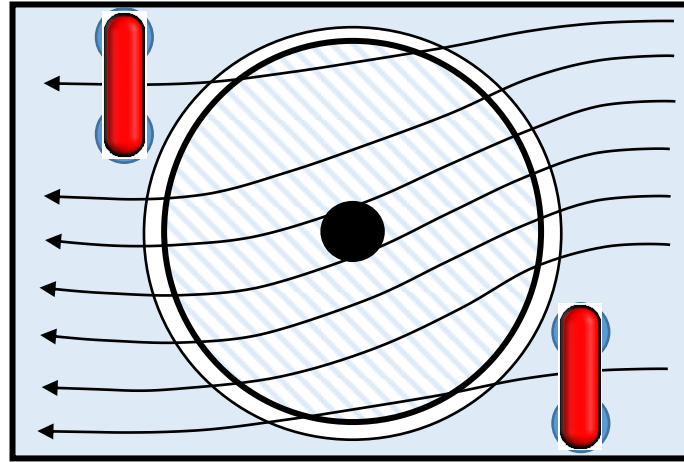
14. Vysvětlení funkce asynchronního jednofázového elektromotoru s kotvou na krátko s pomocným rozběhovým závitem do zkratu 2.

Obr. 1. Funkce pomocného závitu u jednofázového elektromotoru s kotvou na krátko s pomocným rozběhovým závitem do zkratu.



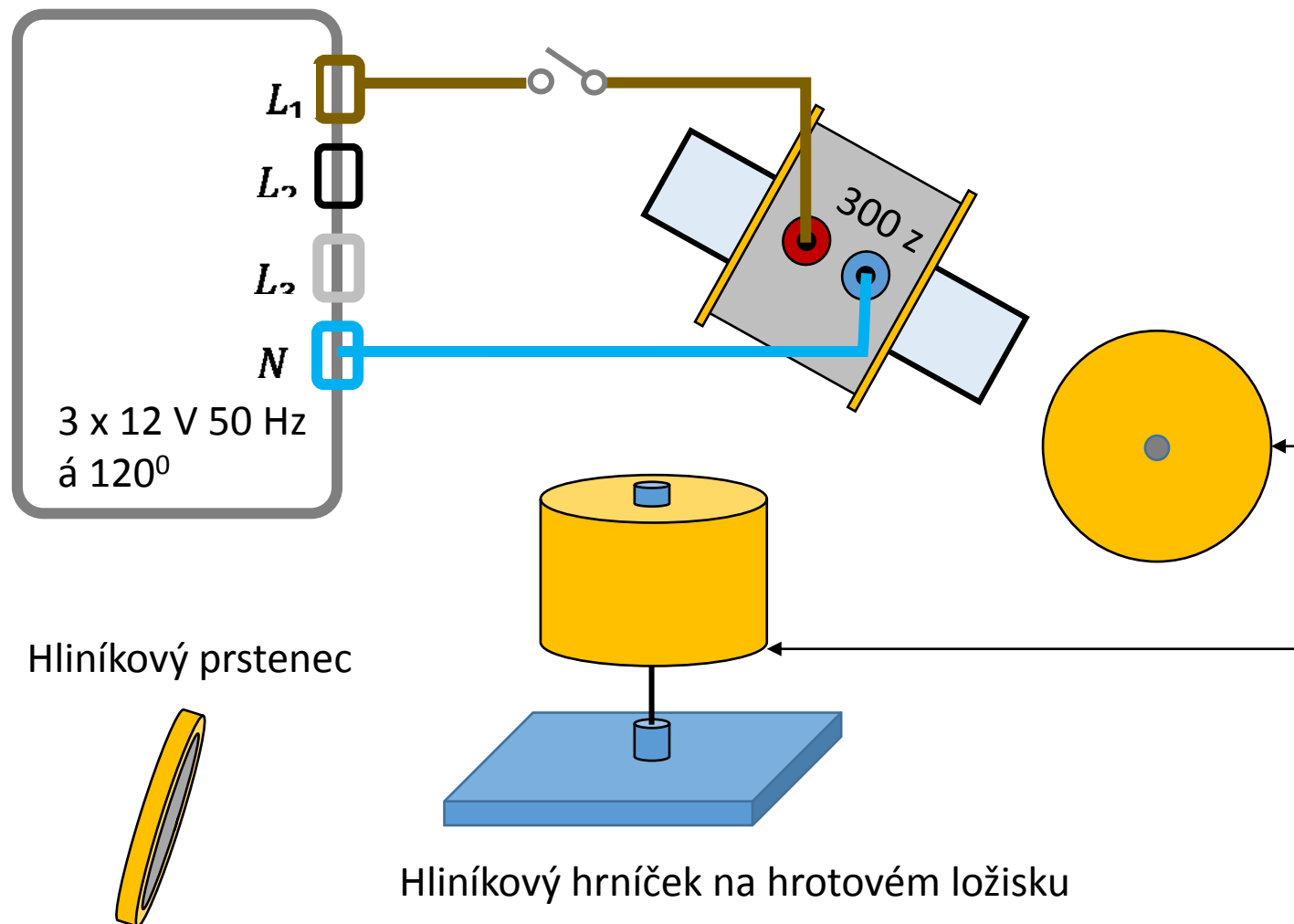
14. Vysvětlení funkce asynchronního jednofázového elektromotoru s kotvou na krátko s pomocným rozběhovým závitem do zkratu 3.

Obr.2. Funkce pomocného závitu u jednofázového elektromotoru s kotvou na krátko s pomocným rozběhovým závitem do zkratu.



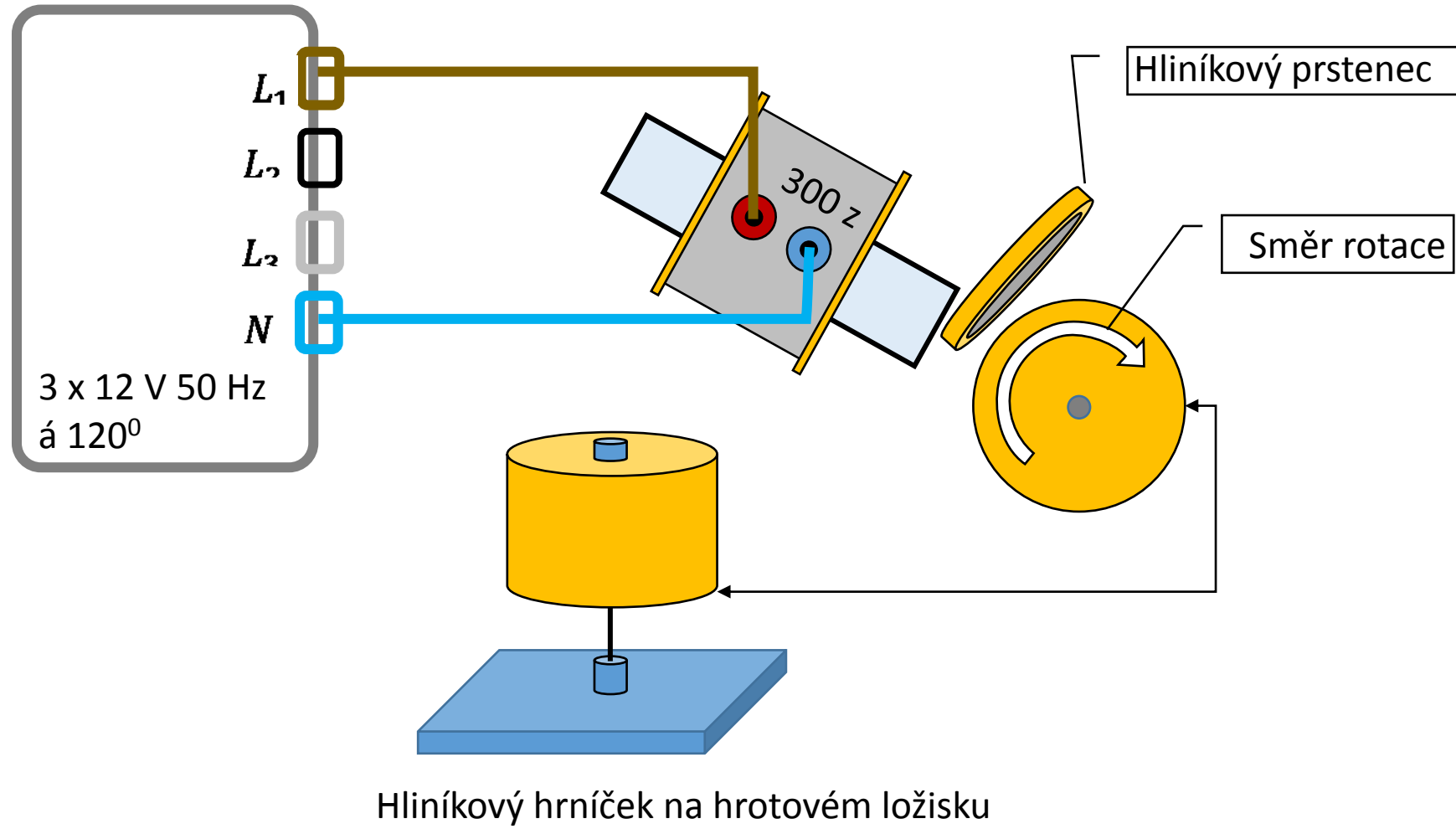
15. Demontrace funkce jednofázového elektromotoru s pomocným závitem na krátko 1.

Sestavte experiment a zapojte obvod dle obrázku. Sepněte spínač. Zaznamenejte chování hrníčku jako vibrace nebo rotaci. Rozpojte spínač. Zaznamenejte. S rozpojeným spínačem roztočte hrníček tlakovým vzduchem a sledujte, jak se zpomaluje. Znovu roztočte prstenec a sepněte spínač. Zaznamenejte chování hrníčku a vysvětlete.



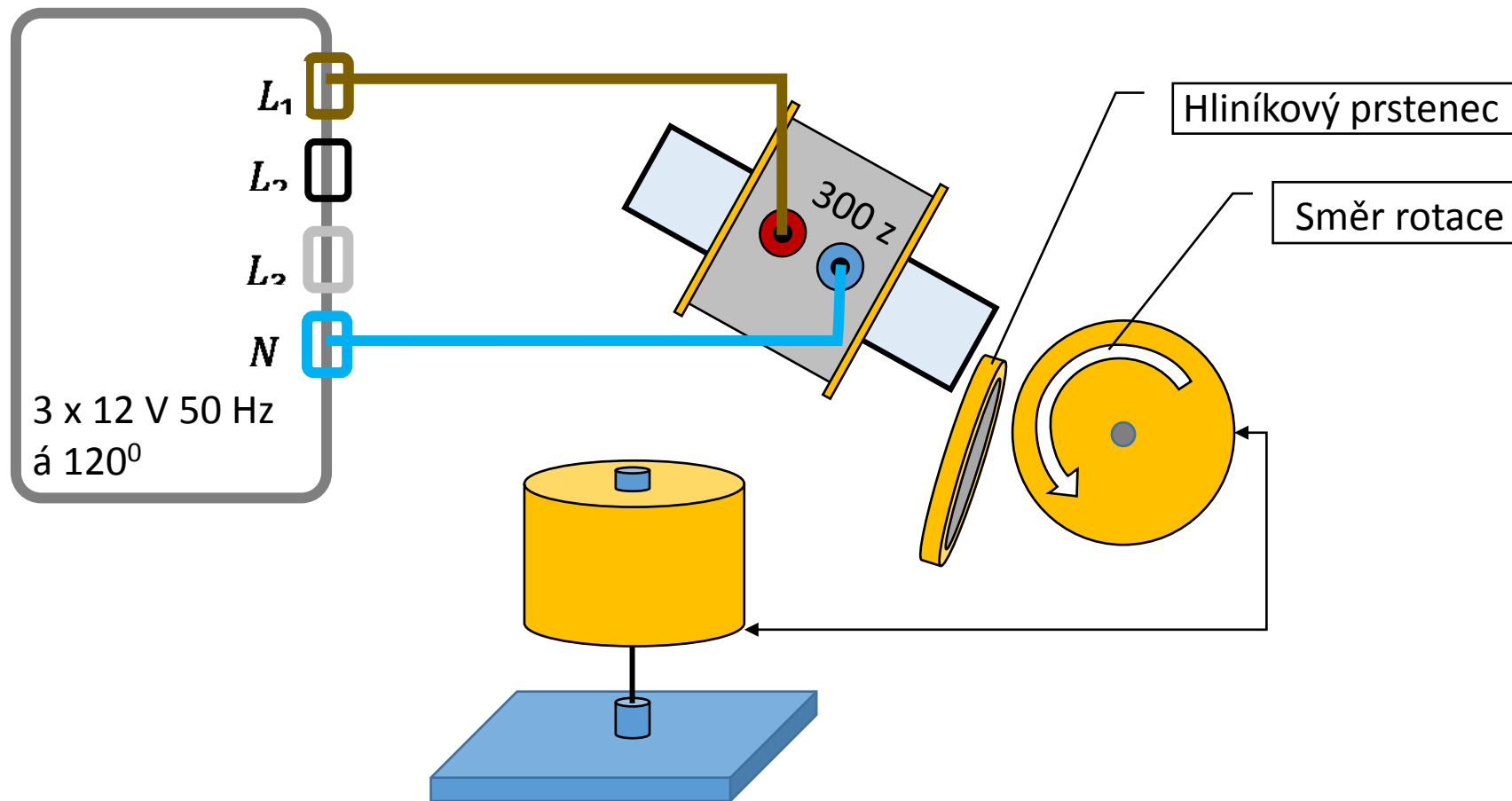
15. Demonstrace funkce jednofázového elektromotoru s pomocným závitem na krátko 2.

Rozmyslete, na jakou stranu by se měl hrníček otáčet při zakreslené pozici hliníkového prstence a ověřte experimentem.



15. Demonstrace funkce jednofázového elektromotoru s pomocným závitem na krátko 3.

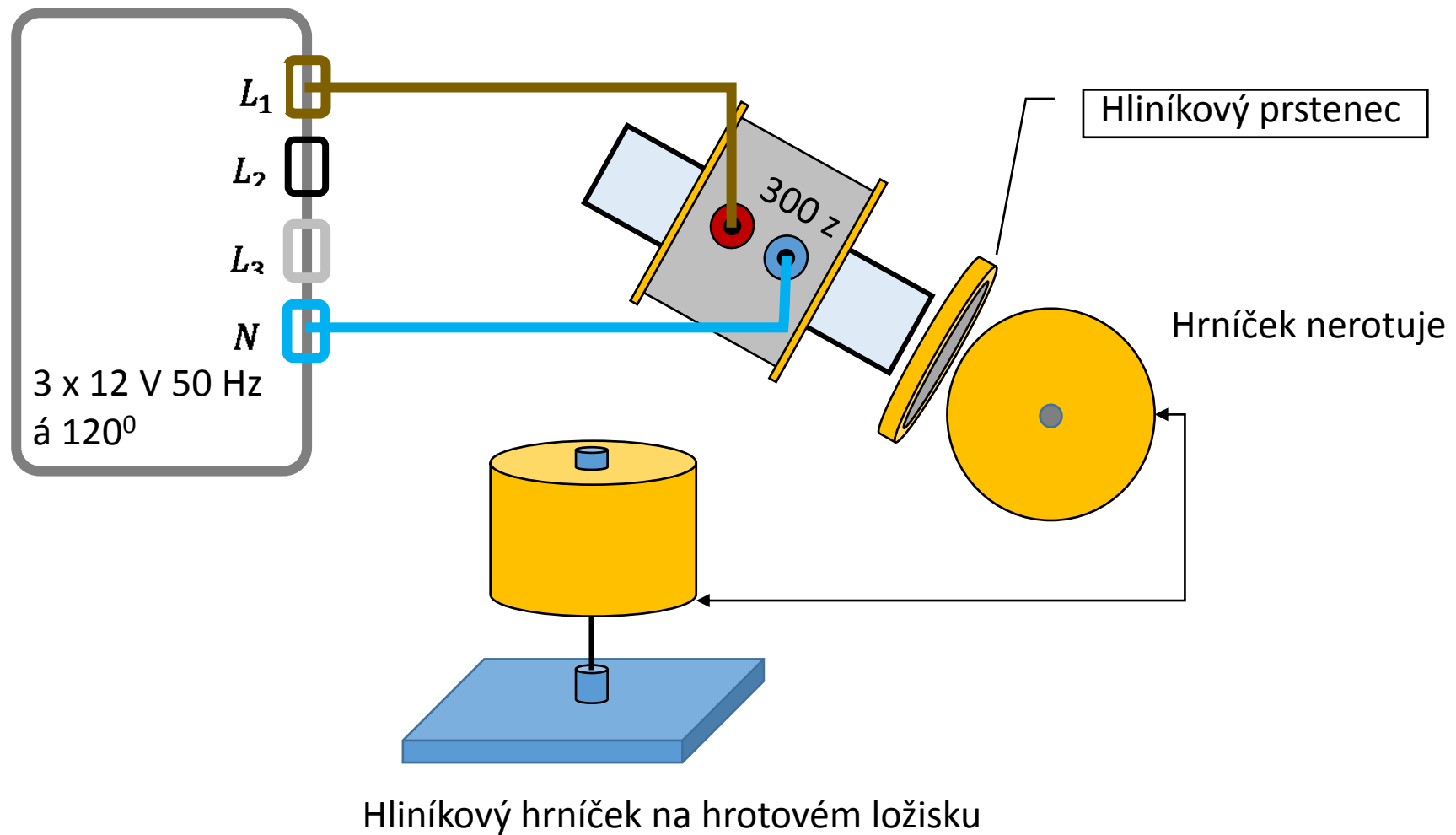
Rozmyslete, na jakou stranu by se měl hrníček otáčet při zakreslené pozici hliníkového prstence a ověřte experimentem.



Hliníkový hrníček na hrotovém ložisku

15. Demontrace funkce jednofázového elektromotoru s pomocným závitem na krátko 4.

Vysvětlete, proč se v této pozici kroužku hliníkový hrníček neroztáčí.



16. Demonstrace činného výkonu na cívce s ohmickým odporem a indukčností.

Sestavte experiment dle obrázku.
Pro různé kombinace indukčností
a rezistorů porovnejte zdánlivý
výkon $W_{zdán.} = U_{ef} \cdot I_{ef}$. a činný
výkon W naměřený
wattmetrem.

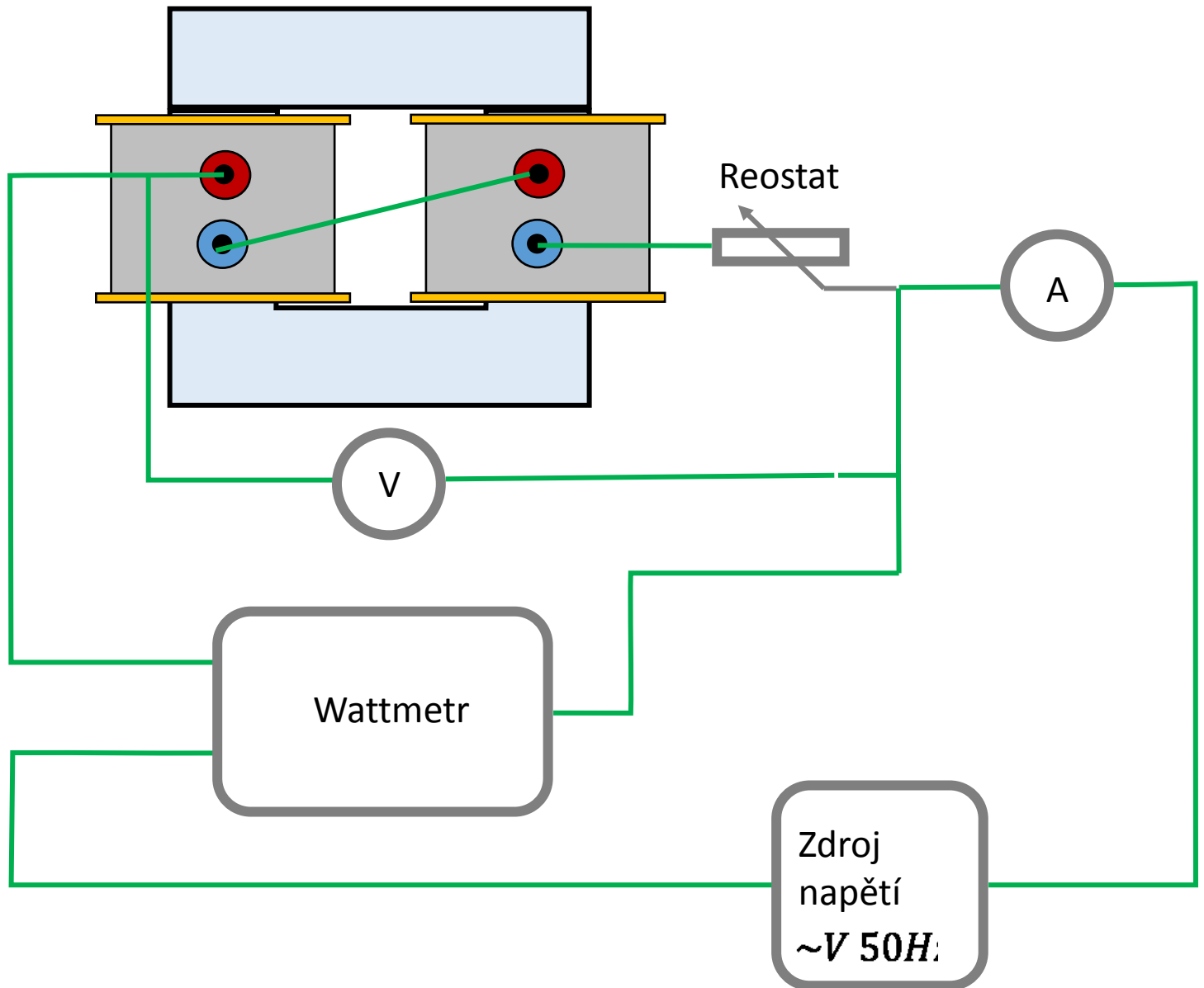
$$W_{zdán.} = U_{ef} \cdot I_{ef}.$$

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

$$I_{ef.}^2 = \frac{1}{T} \int_0^T (I_0 \cos(\omega t))^2 dt = \frac{1}{\sqrt{2}} I_0$$

$$W_{čin.} = \frac{1}{T} \int_0^T (I_0 U_0 \cos(\omega t) \cos(\omega t + \varphi)) dt$$

$$W_{čin.} = U_{ef} I_{ef} \cos(\varphi)$$



17. Demonstrace činného výkonu na kondenzátoru s paralelním odporem.

Sestavte experiment dle obrázku.
Pro různé kombinace indukčností
a rezistorů porovnejte zdánlivý
výkon $W_{zdán.} = U_{ef.} I_{ef.}$ a činný
výkon W naměřený
wattmetrem.

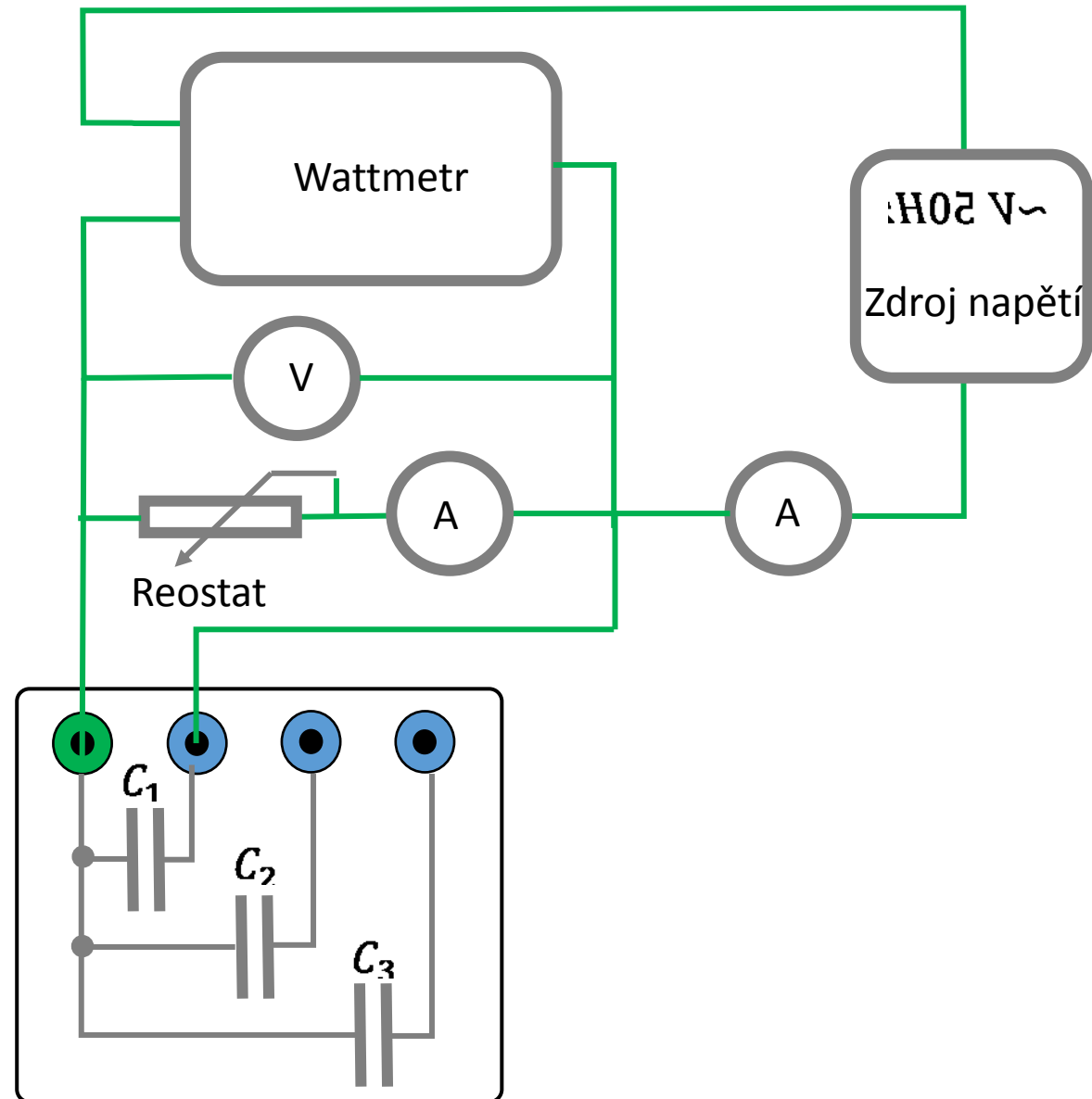
$$W_{zdán.} = U_{ef.} I_{ef.}$$

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

$$I_{ef.}^2 = \frac{1}{T} \int_0^T (I_0 \cos(\omega t))^2 dt$$

$$W_{čin.} = \frac{1}{T} \int_0^T (I_0 U_0 \cos(\omega t) \cos(\omega t + \varphi)) dt$$

$$W_{čin.} = U_{ef.} I_{ef.} \cos(\varphi)$$



18. Demonstrace funkce Wattmetru 1.

$$\langle W \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T U(t)I(t)dt$$

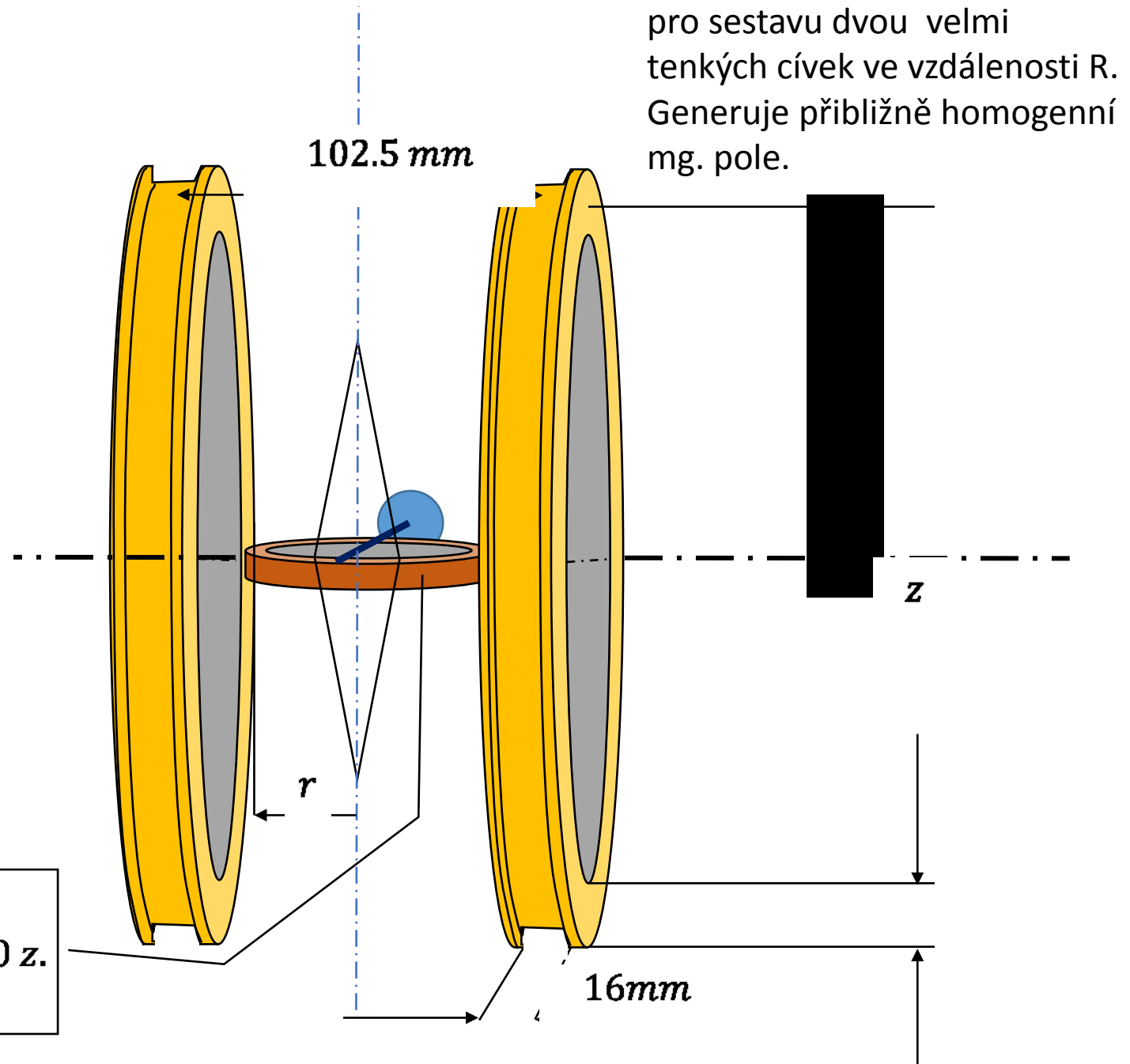
$$U(t) = U_0 \cos(\omega t + \varphi)$$

$$I(t) = I_0 \cos(\omega t)$$

Vyhodnotit střední hodnotu součinu okamžitého proudu a napětí a získat tak údaj o činném výkonu lze například měřením střední hodnoty momentu sil působících na malou cívku s proudem I_U úměrným napětí $U(t)$, $I_U(t) = \frac{U(t)}{\rho}$, nacházející se v přibližně homogenním magnetickém poli, které generuje Helmholtzova cívka napájená proudem $I(t)$.

$$I_U(t) = \frac{U(t)}{\rho}$$

Napěťová cívka Wattmetru, je otočná podle osy kolmé na nárysnu. $N = 1200$ z. $r = 41$ mm, odpor cívky ρ .



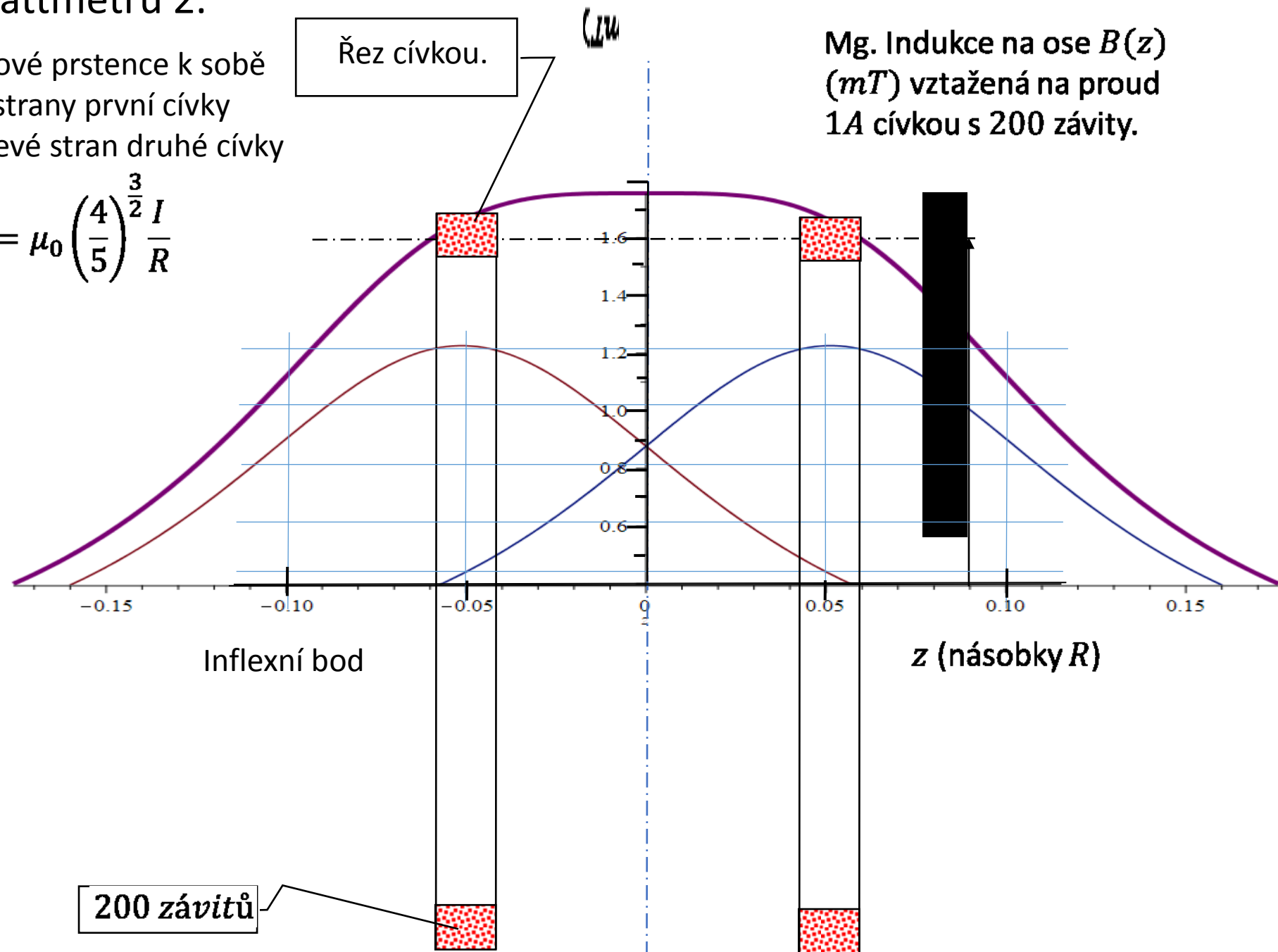
18. Demonstrace funkce Wattmetru 2.

Přiložíme-li dva stejné proudové prstence k sobě tak, aby inflexní bod z pravé strany první cívky splýval s inflexním bodem z levé stran druhé cívky

$$B\left(\frac{R}{2}\right) = 2 \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{2\pi R^2 I}{\left(R^2 + \left(\frac{R}{2}\right)^2\right)^{\frac{3}{2}}} = \mu_0 \left(\frac{4}{5}\right)^{\frac{3}{2}} \frac{I}{R}$$

$$\frac{\partial B(z)}{\partial z} = 0$$

$$\frac{\partial^2 B(z)}{\partial z^2} = 0$$



?? Helmholtzovy cívky .

Moment síly $\langle M_F \rangle$ působící na napěťovou cívku je

$$\langle M_F \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T B(t) M(t) \sin(\alpha) dt$$

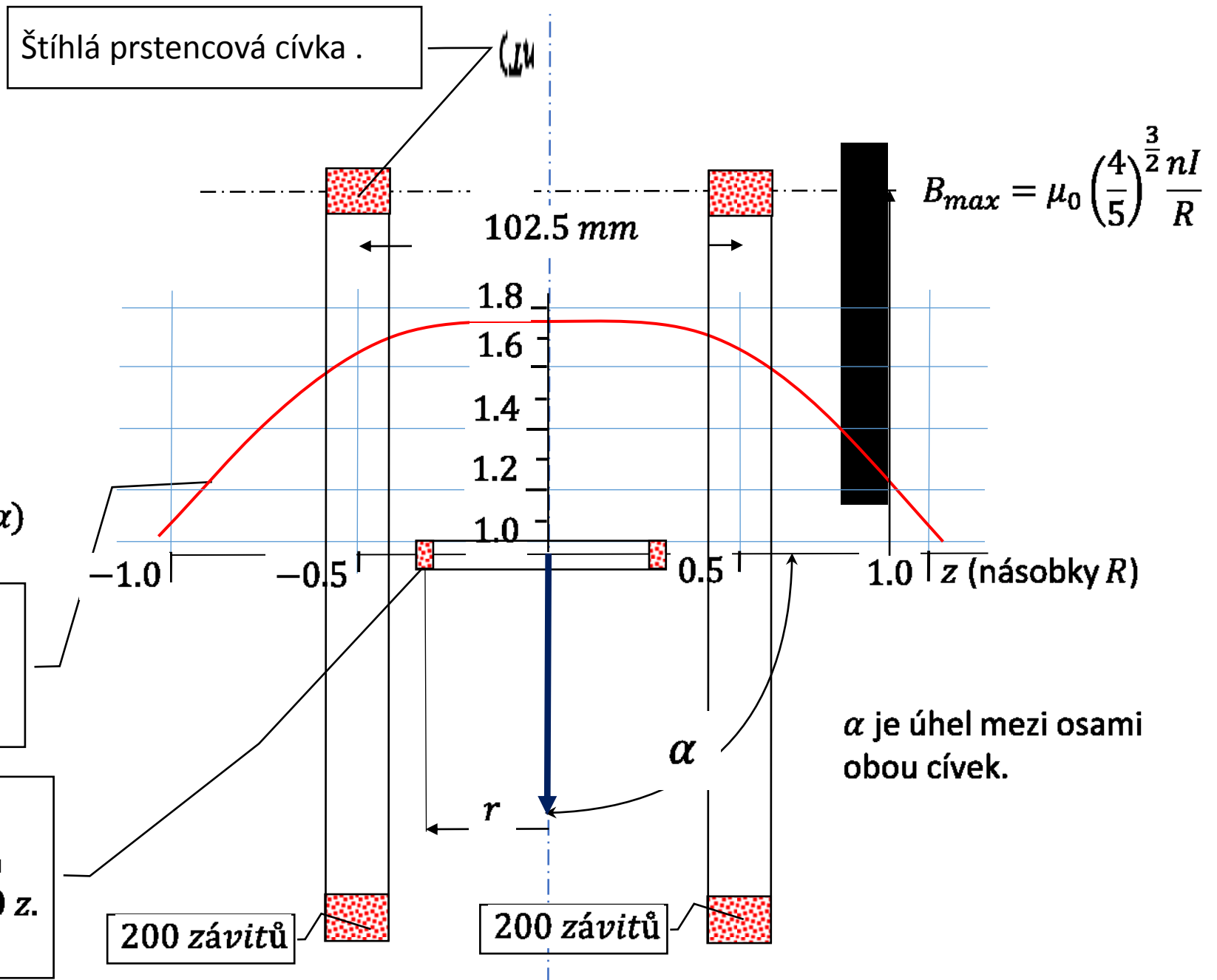
$$B(t) = \mu_0 \left(\frac{4}{5}\right)^{\frac{3}{2}} \frac{n I_0 \cos(\omega t)}{R}$$

$$M(t) = \pi r^2 N \frac{U_0 \cos(\omega t + \varphi)}{\rho}$$

$$\langle M_F \rangle = \mu_0 \left(\frac{4}{5}\right)^{\frac{3}{2}} \frac{n I_0}{R} \pi r^2 N \frac{U_0 \cos(\varphi)}{\rho} \sin(\alpha)$$

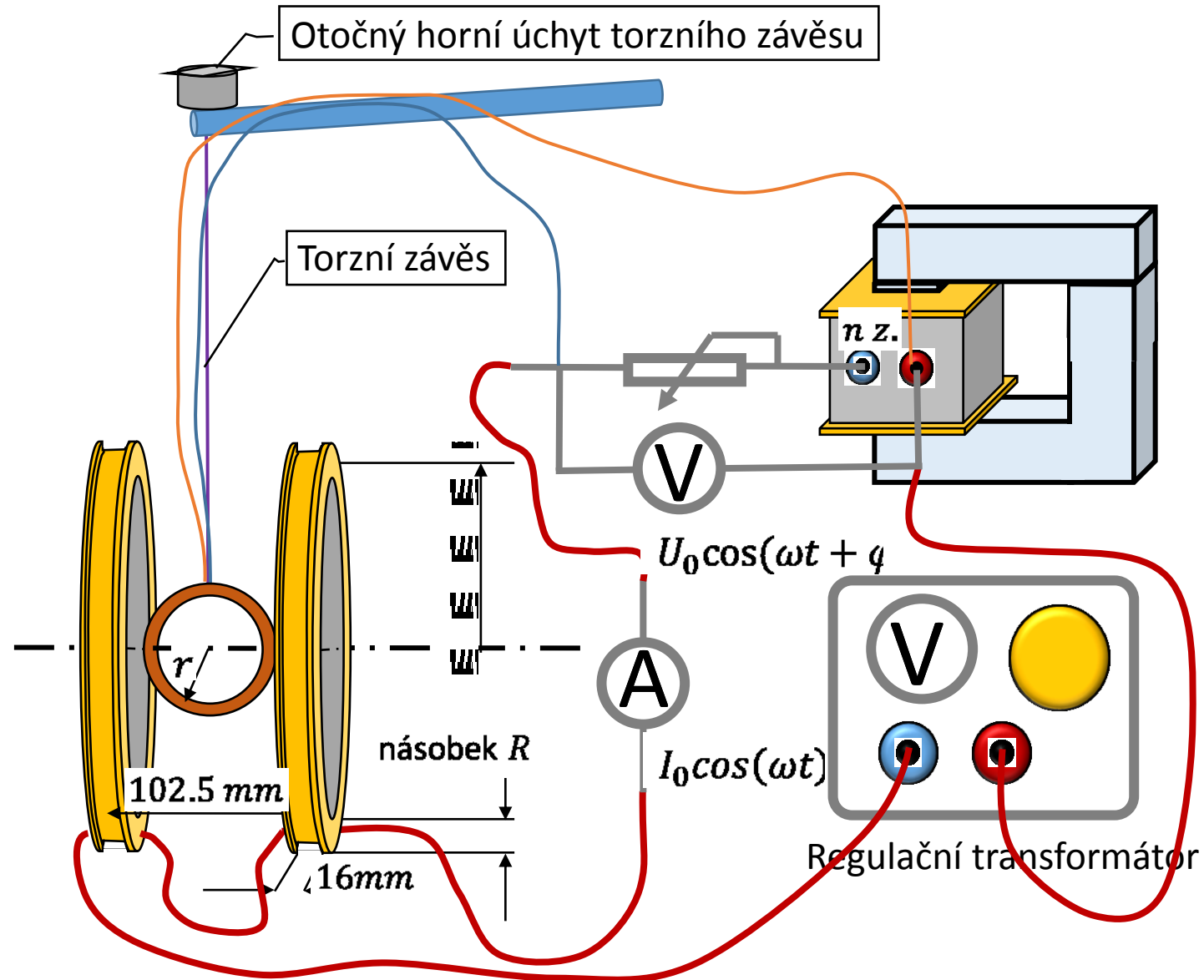
Mg. Indukce na ose $B(z)$ (mT) vztažená na proud 1A Helmholtzovou cívkou s 200 závitů.

Řez napěťovou cívkou zařízení pro demonstraci W. metru. Cívka je otočná Podle osy kolmé na nárysnu. $N = 1200$ z. $r = 41$ mm, odpor cívky ρ .



18. Demonstrace funkce Wattmetru 3.

- Sestavte experiment dle obrázku.
- Napětovou cívku upevněte za torzní závěs do chemického stojanu a nastavte do středu Helmholtzovy cívky.
- Natočením torzního závěsu otočným horním závěsem nastavte osu napětové cívky kolmo k ose Helmholtzovy cívky.
- Střední hodnotu silového momentu působícího v magnetickém poli Helmholtzových cívek na napětovou cívku lze indikovat buďto úhlem o který je třeba natočit horní úchyt ke kompenzaci tohoto silového momentu, případně aproximativně z velikosti výchylky napětové cívky.
- Sledujte výchylku napětové cívky pro stejné hodnoty efektivního napětí a proudu, ale různé zátěže tedy například při zapojení samotného rezistoru nebo samotné cívky.

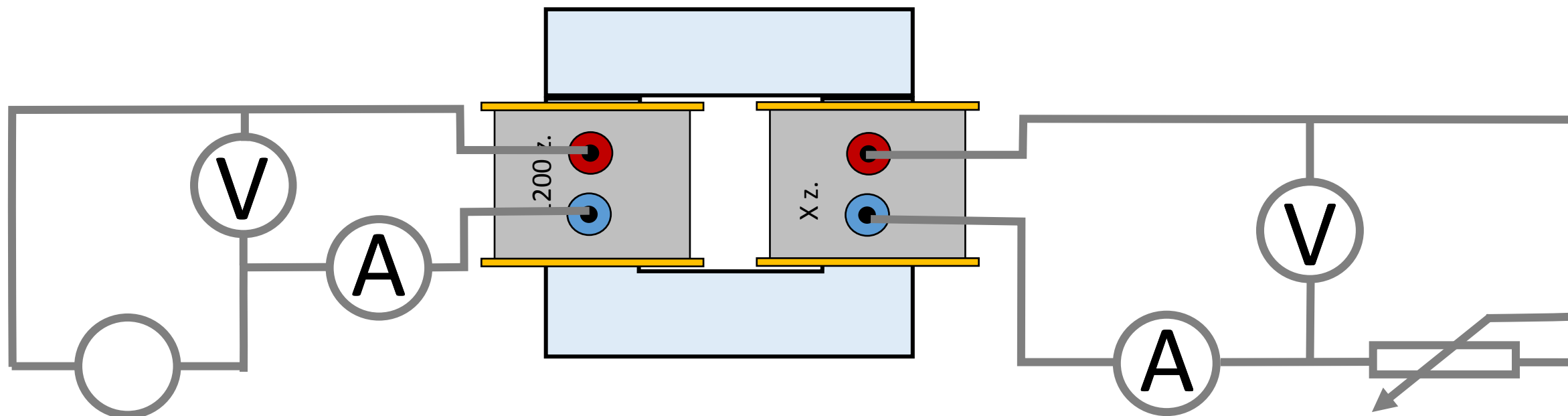


$$\langle M_F \rangle = \mu_0 \left(\frac{4}{5} \right)^{\frac{3}{2}} \frac{n I_0}{R} \pi r^2 N \frac{U_0 \cos(\varphi)}{\rho} \sin(\alpha)$$

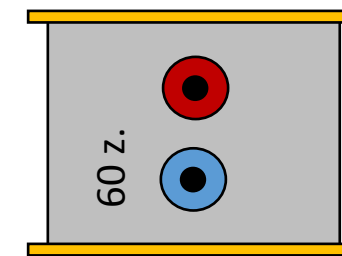
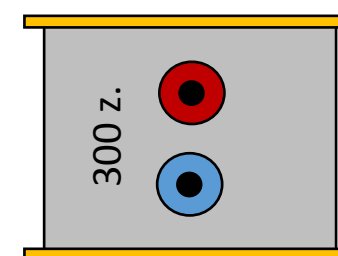
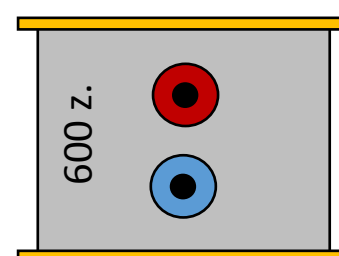
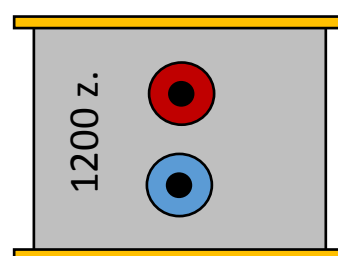
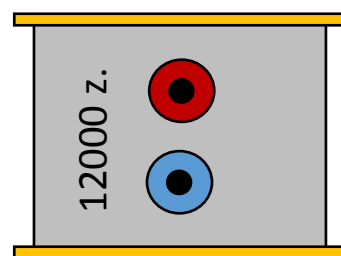
$$\langle M_F \rangle = \mu_0 \left(\frac{4}{5} \right)^{\frac{3}{2}} \frac{n \sqrt{2} I_{ef}}{R} \pi r^2 N \frac{\sqrt{2} U_{ef} \cos(\varphi)}{\rho} \sin(\alpha) = \mu_0 \left(\frac{4}{5} \right)^{\frac{3}{2}} \frac{2n}{R} \pi r^2 N \frac{I_{ef} U_{ef} \cos(\varphi)}{\rho} \sin(\alpha)$$

19. Demonstrace funkce transformátoru

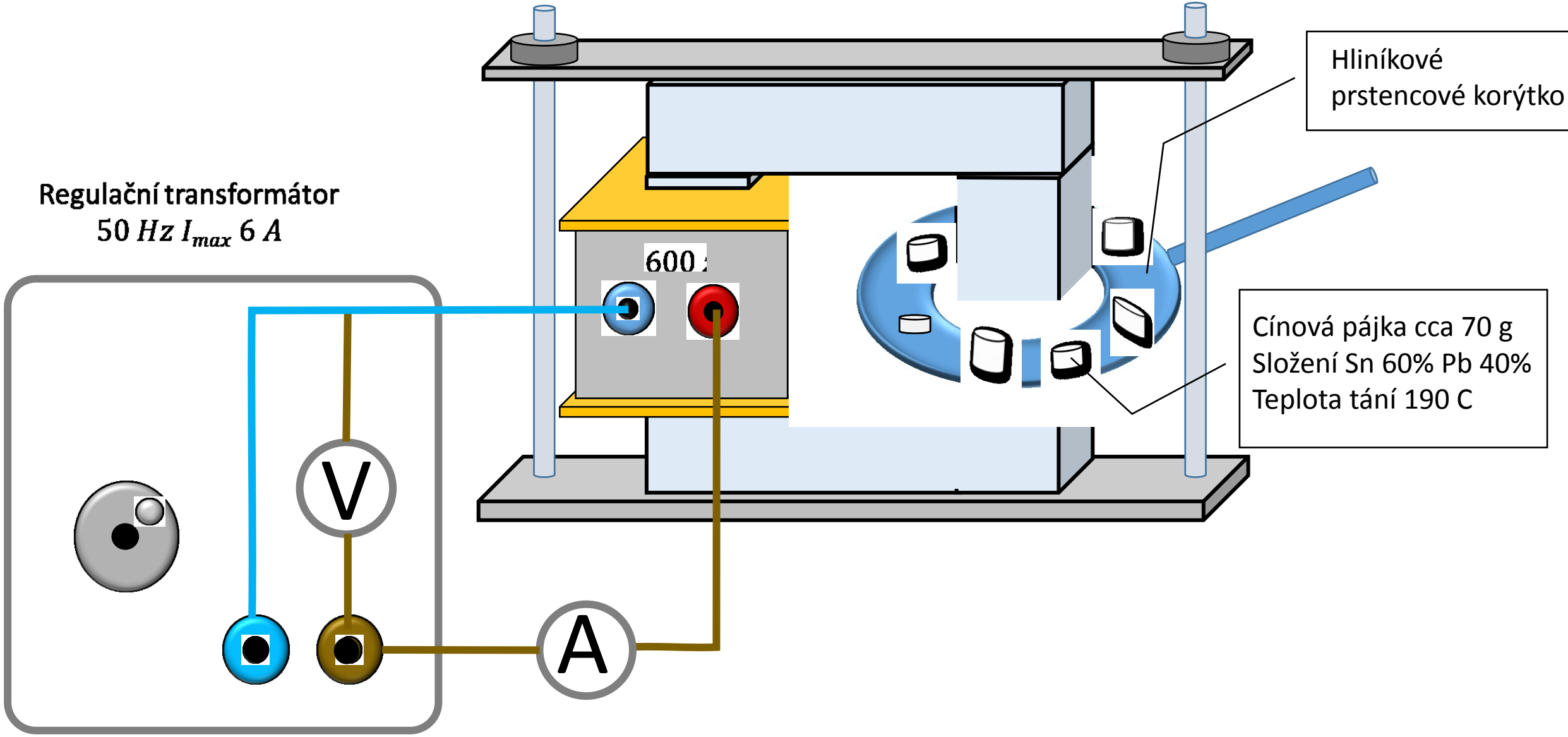
- Sestavte experiment dle obrázku.
- Do rozkladného transformátoru zapojte postupně cívky v různých kombinacích, ale vždy s transformačním poměrem napětí **dolů**.



Regulovatelný zdroj
střídavého napětí
 $50\text{ Hz } U_{max} = 24\text{ V}$



20. Demonstrace funkce transformátoru - indukční tavící pícka na cínovou pájku 1.



20. Demontrace funkce transformátoru - indukční tavící pícka na cínovou pájku 2.

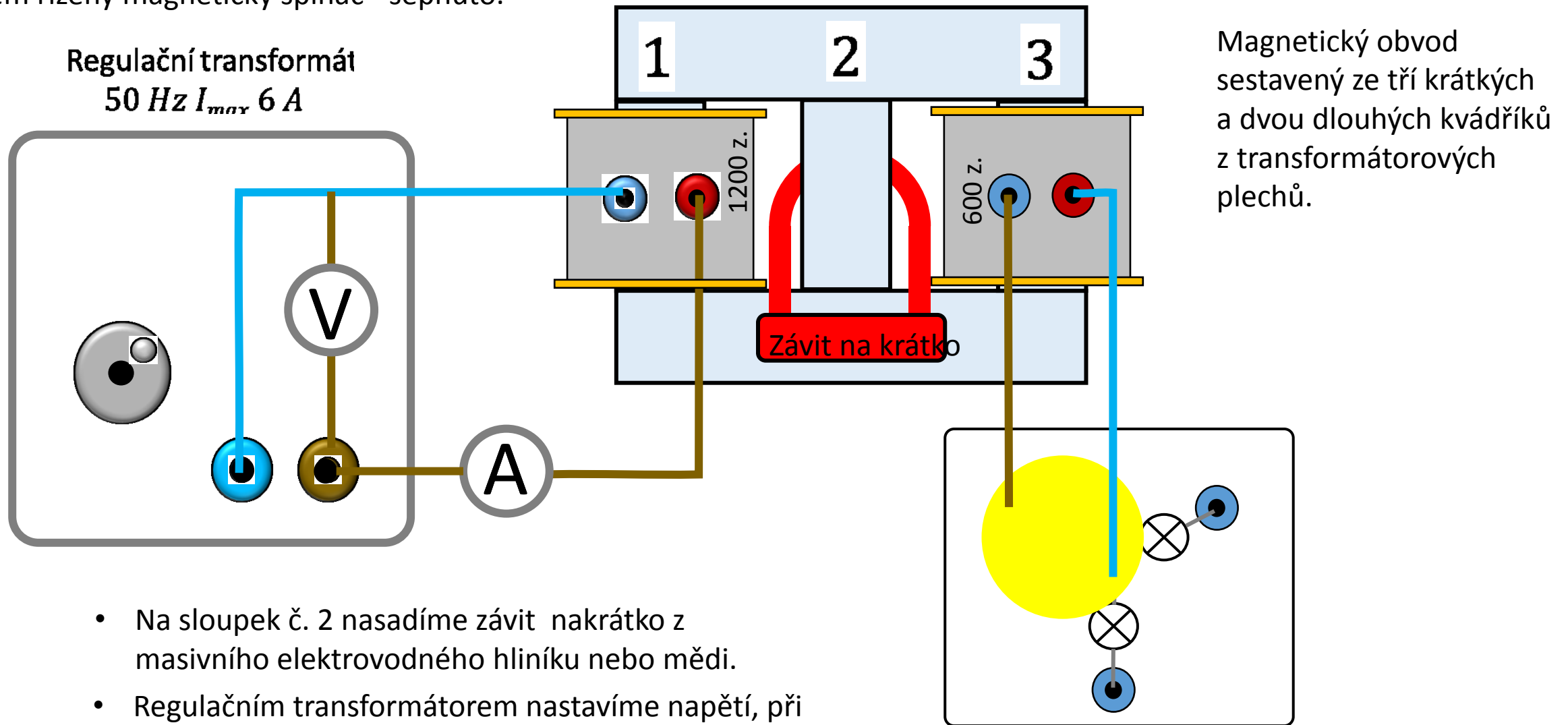
- Sestavíme rozkladný transformátor s kruhovou hliníkovou miskou místo sekundární cívky.
- Misku upevníme do chemického stojanu. Vložíme do ní kousky cínové pájky (složení nejlépe Sn 60% Pb 40%), cca 70 g.
- Napětí regulačním transformátorem postupně zvýšíme na cca 200 V. Příčku je K C jádru rozkladného transformátoru nutno přitáhnout pomocí svorky.
- Sledujte údaj ampérmetru. Vysvětlete, proč s čase klesá.
- Pokud se cín netaví, regulačním transformátorem zvýšíme napětí.
- Po roztavení cínu stáhněte napětí na nulu, vypněte zdroj a poté rozeberte magnetický obvod. Roztavený cín z kruhového tyglíku vylejte do vhodné sádrové formičky. Pozor na popáleniny a úraz elektrickým proudem.
- Zapínat a vypínat síťové napětí lze jedině ovladačem a vypínačem regulačního transformátoru, nikoliv zasouváním banánek do zdírek.

Tabulka indukčností

N záv.	f (Hz)	L (H)	Q	R _{stat.} (Ω)
1200	120	2,08	10.7	11.9
600	120	0.6067	8.83	2.57
300	120	0.157	8.7	0.54
12000	120	178	20.6	1006
60	120	5 mH	11.2	0.04

21. Demonstrace funkce magnetického obvodu 1.

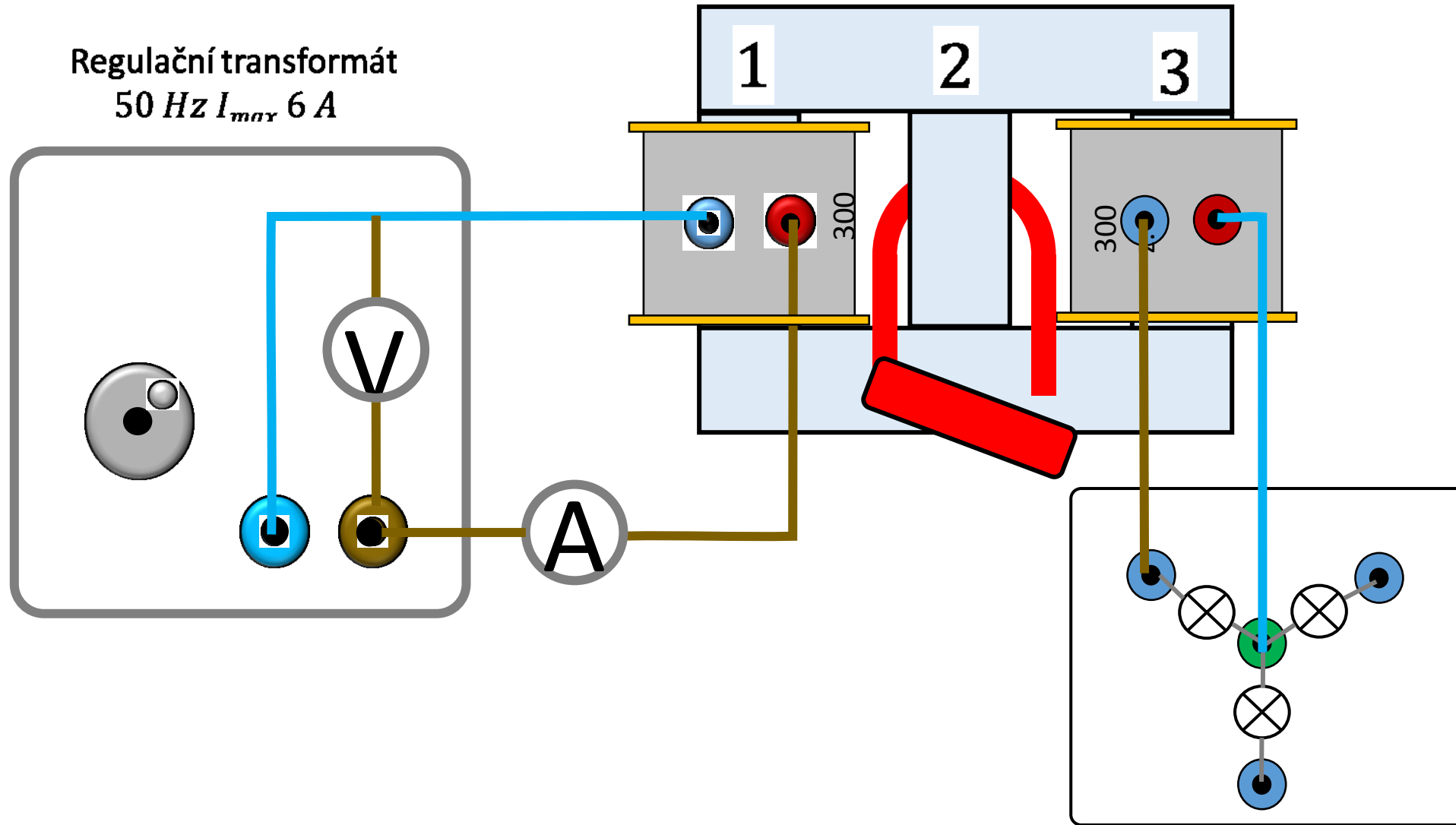
Proudem řízený magnetický spínač - sepnuto.



- Na sloupek č. 2 nasadíme závit nakrátko z masivního elektrovodného hliníku nebo mědi.
- Regulačním transformátorem nastavíme napětí, při kterém svítí připojená žárovka
- Poté závit nakrátko rozpojíme viz následující stránka. Žárovka zhasne. Proč?

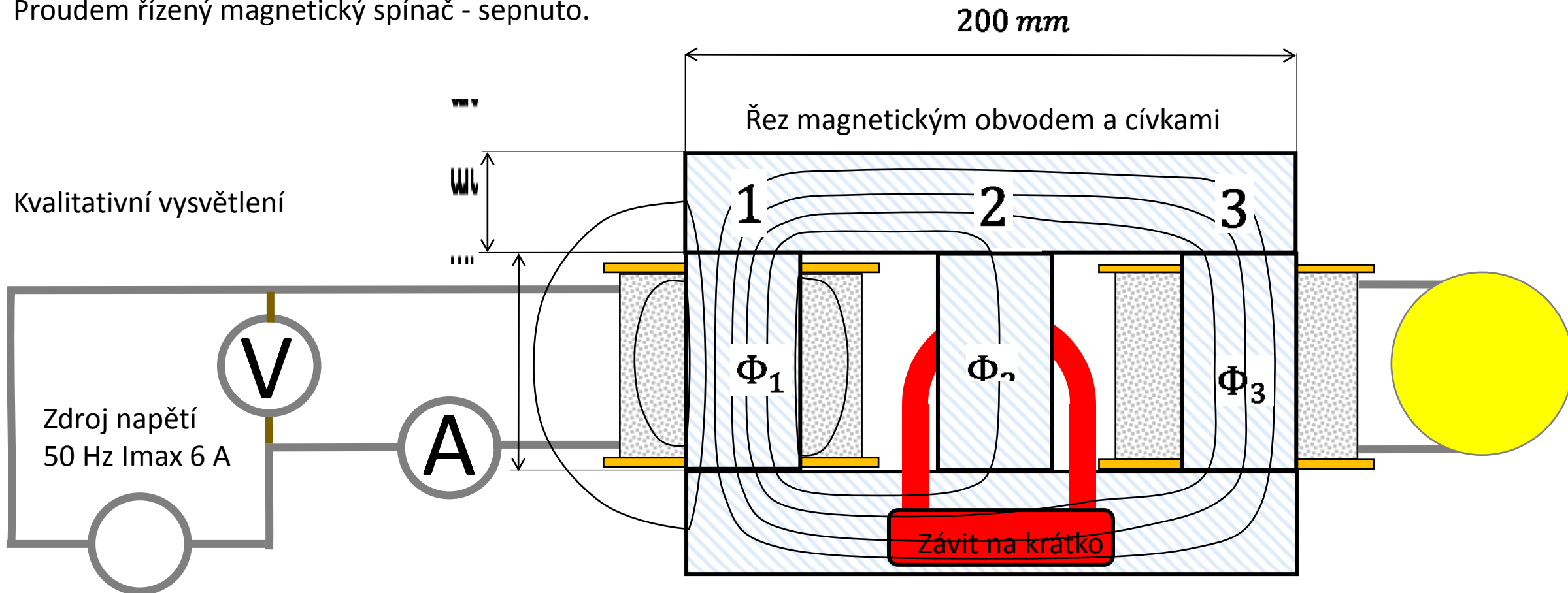
21. Demontrace funkce magnetického obvodu 2.

Proudem řízený magnetický spínač - rozepnuto.



21. Demonstrace funkce magnetického obvodu 3.

Proudem řízený magnetický spínač - sepnuto.

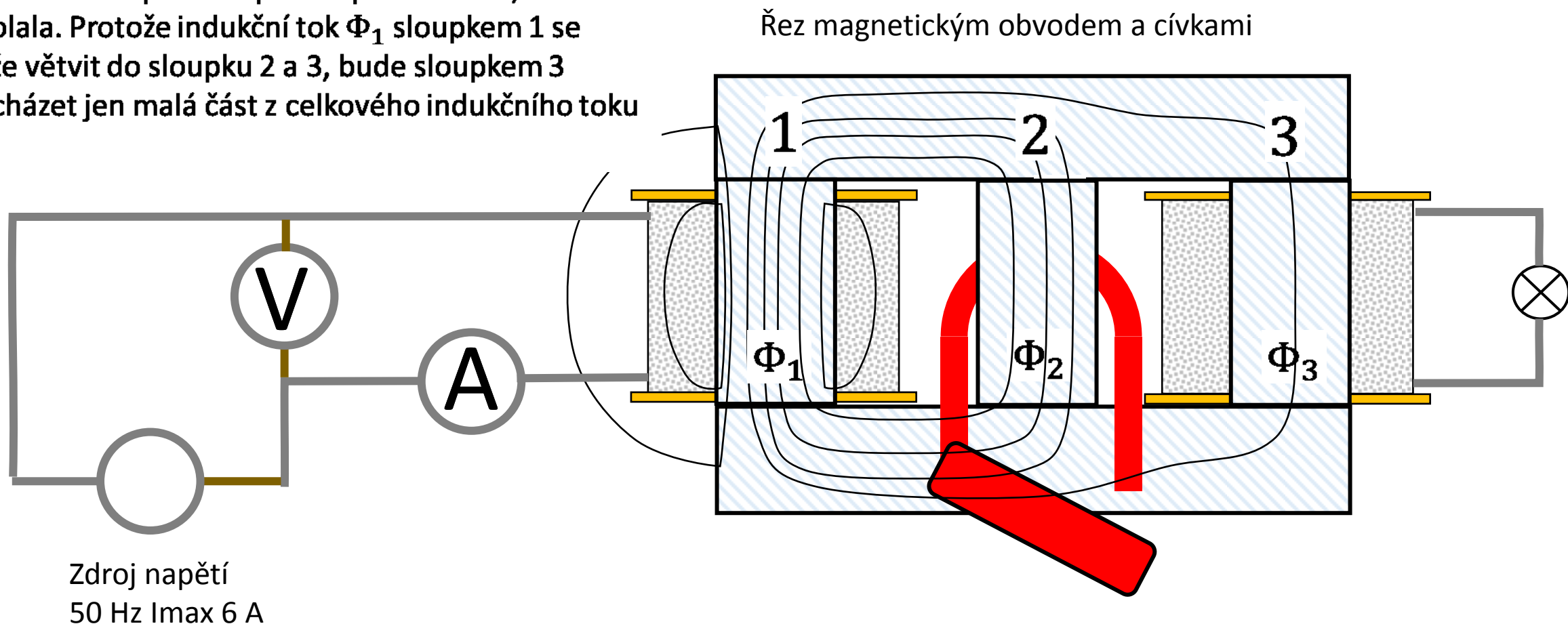


Napětí na smyčce podél závitu na krátko je podle Faradayova zákona el. mag. indukce $U_{ind} = -\frac{d\Phi_2}{dt}$, ale ideální závit na krátko definuje $U = 0$, tedy $\frac{d\Phi_2}{dt} = 0$. Řešením této dif. rovnice je $\Phi_2 = konst.$ Střídavý indukční tok tedy nemůže sloupkem 2 (obepnutým ideálním závitem nakrátko) procházet. Indukční tok Φ_1 se dělí největším dílem do toku Φ_3 a menším dílem do toku Φ_2 a na rozptylové pole.

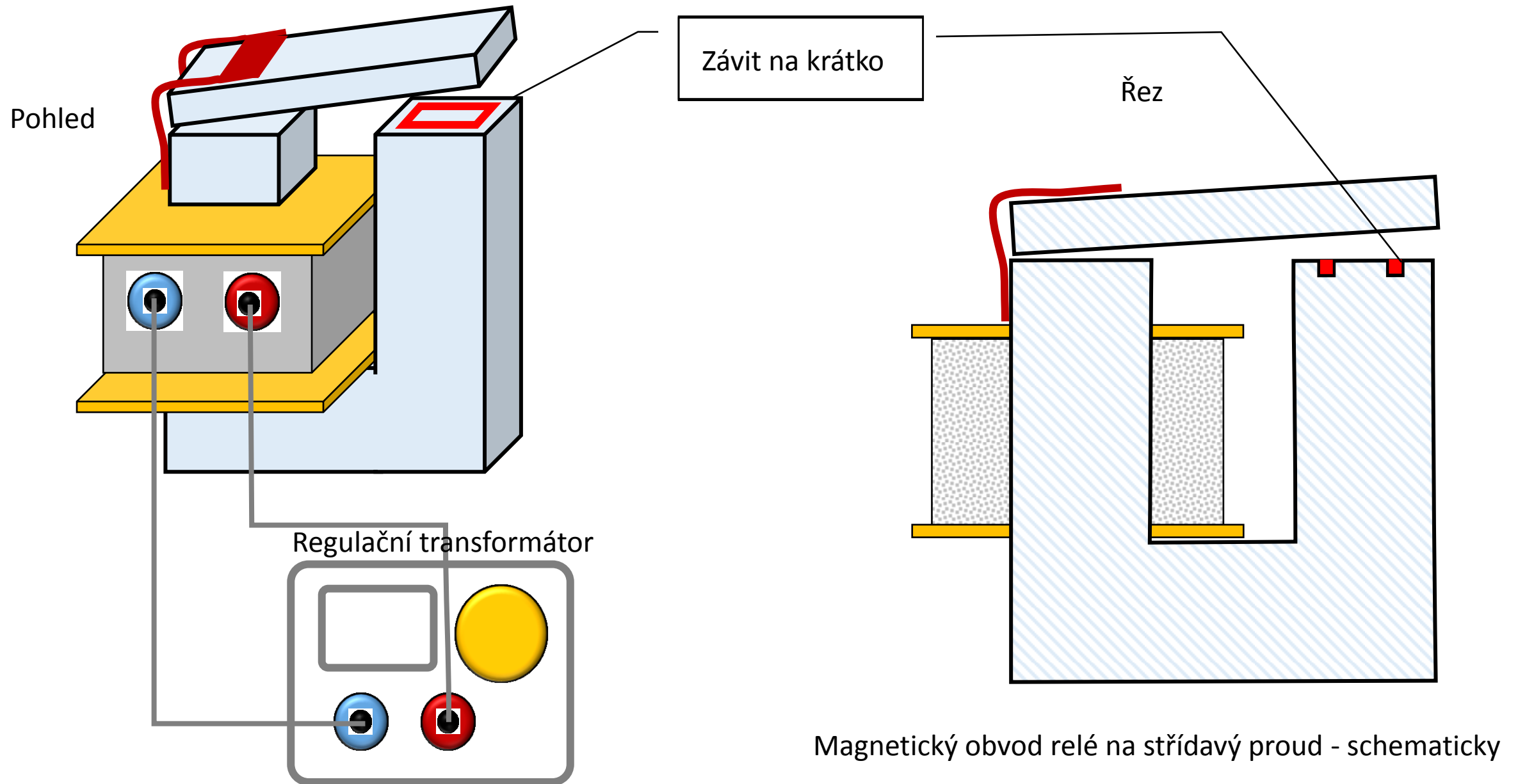
21. Demonstrace funkce magnetického obvodu 4.

Proudem řízený magnetický spínač - rozepnuto.

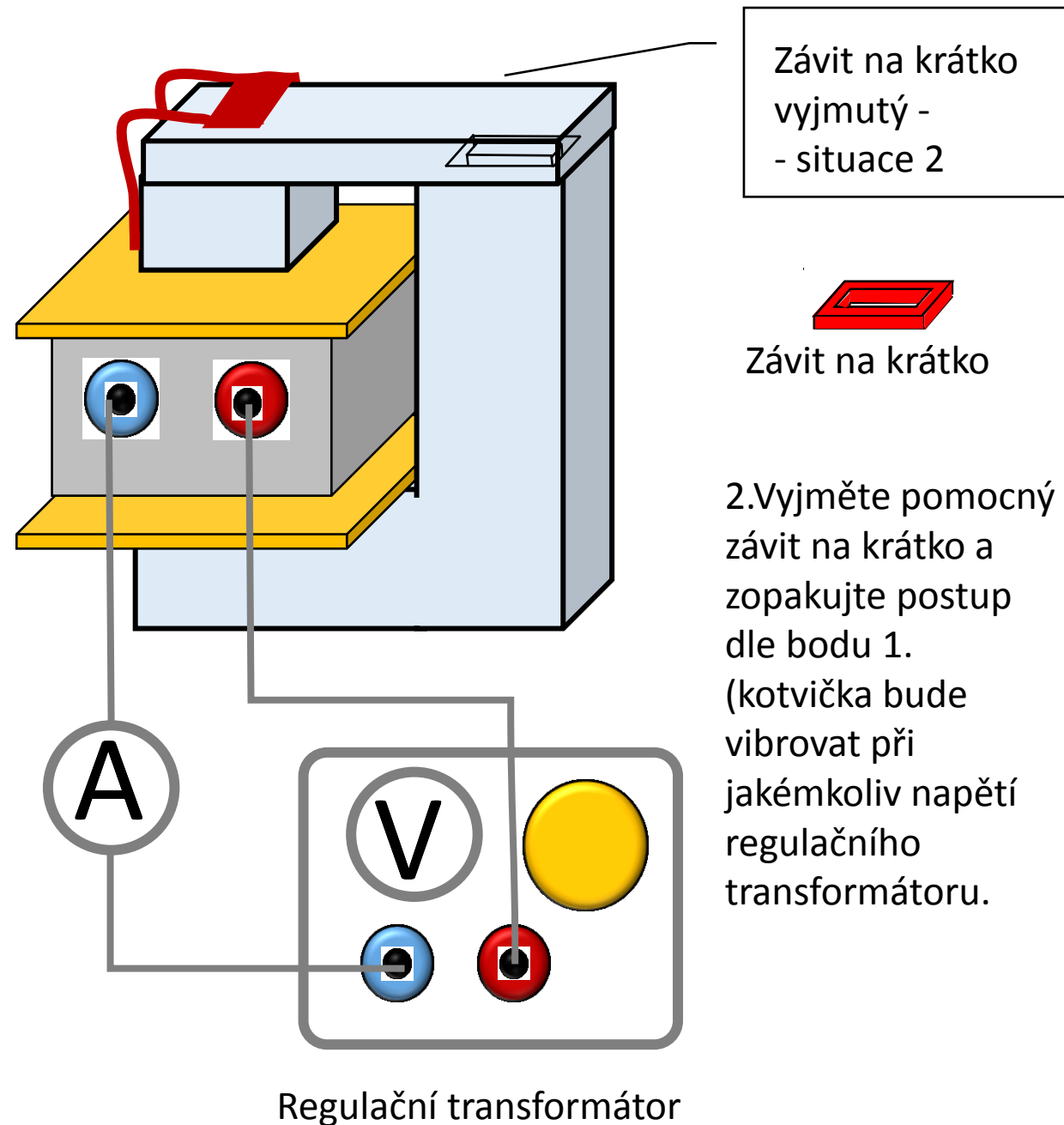
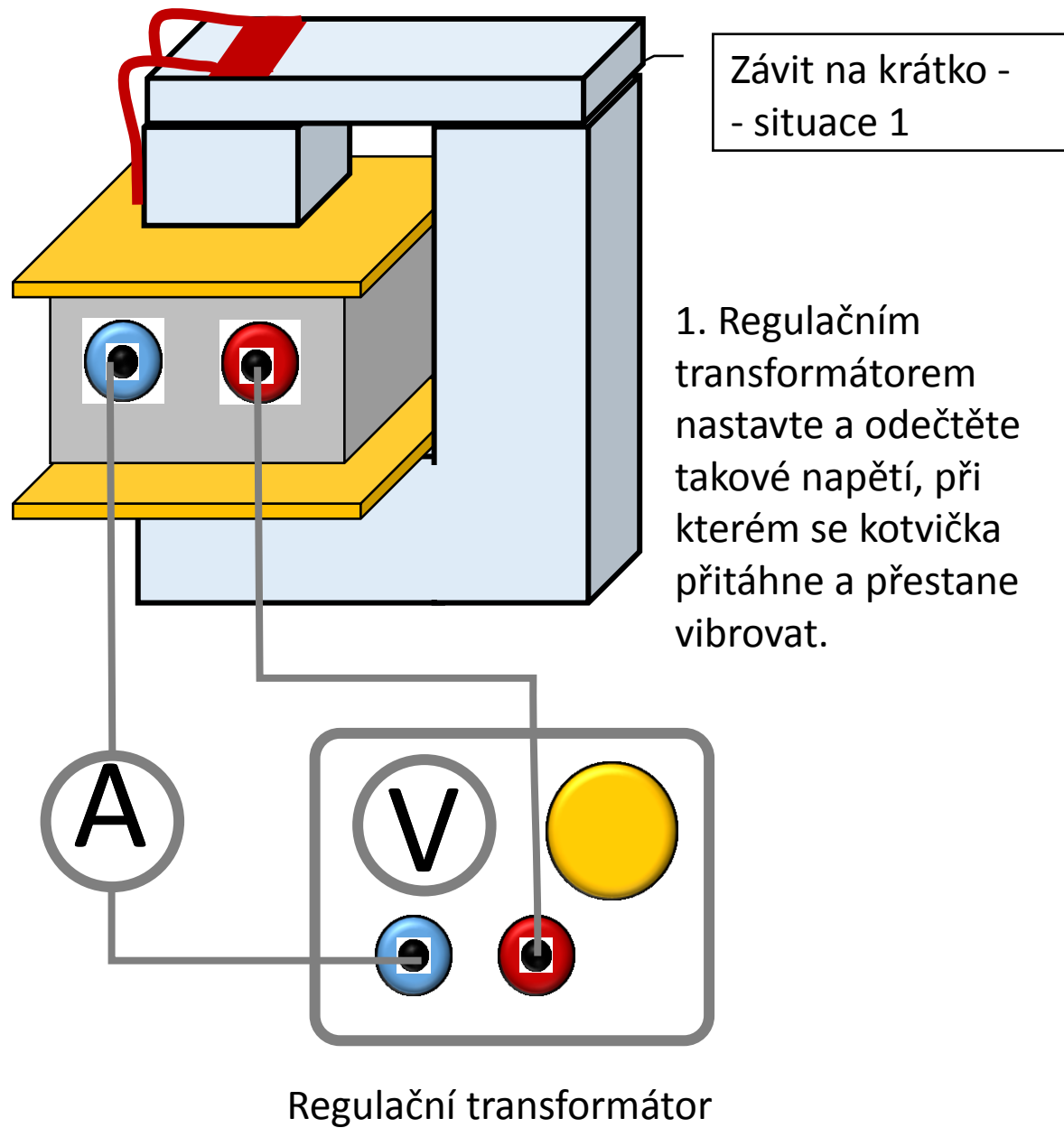
Kvalitativní vysvětlení. Magnetický tok Φ_3 ve sloupku 3 indukuje v obvodu se žárovkou proud, který podle Lenzova pravidla působí proti změně, která ho vyvolala. Protože indukční tok Φ_1 sloupkem 1 se může větvit do sloupku 2 a 3, bude sloupkem 3 procházet jen malá část z celkového indukčního toku Φ_1 .



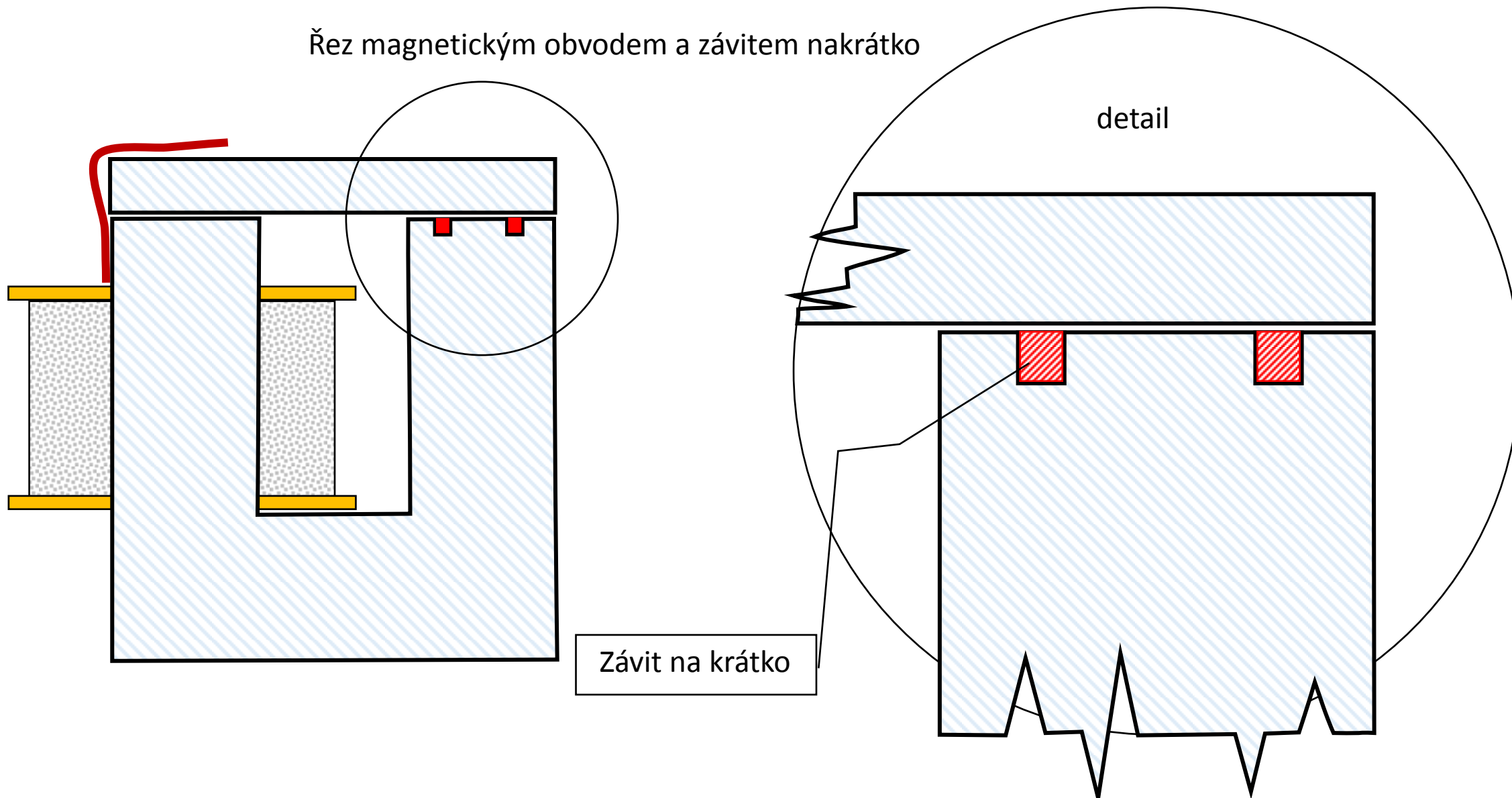
22. Demonstrace funkce pomocného závitu na krátko u relé na střídavý proud 1.



22. Demonstrace funkce pomocného závitu na krátko u relé na střídavý proud 2.

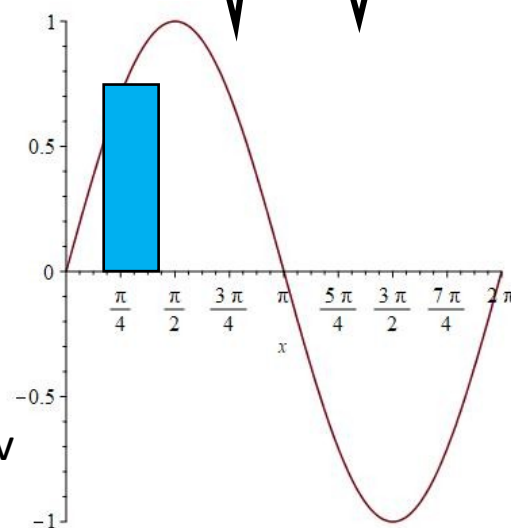
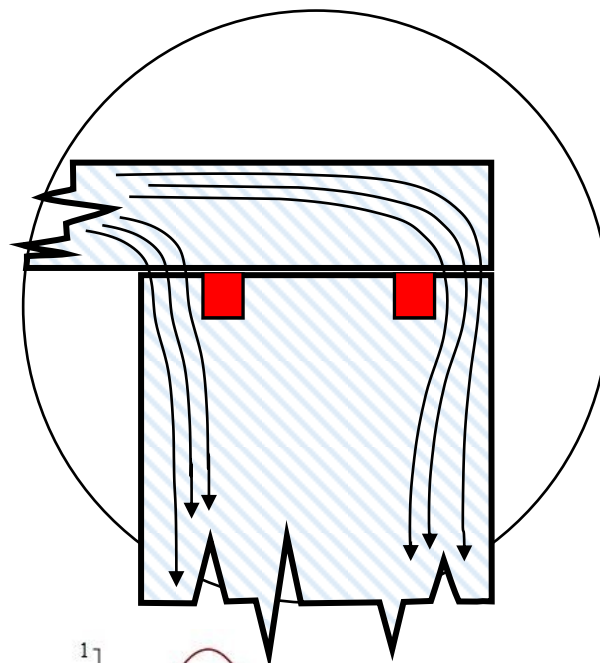


22. Demonstrace funkce pomocného závitu na krátko u relé na střídavý proud 3.

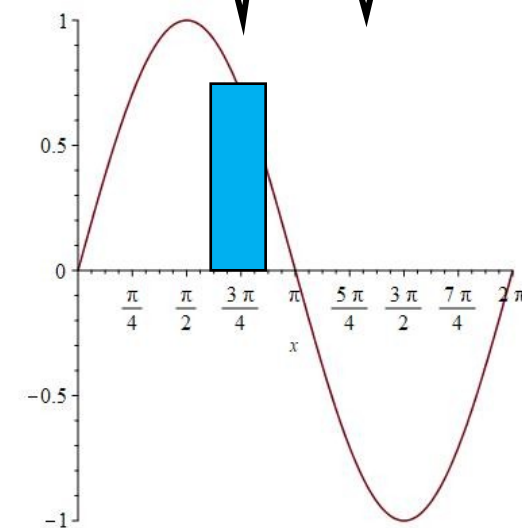
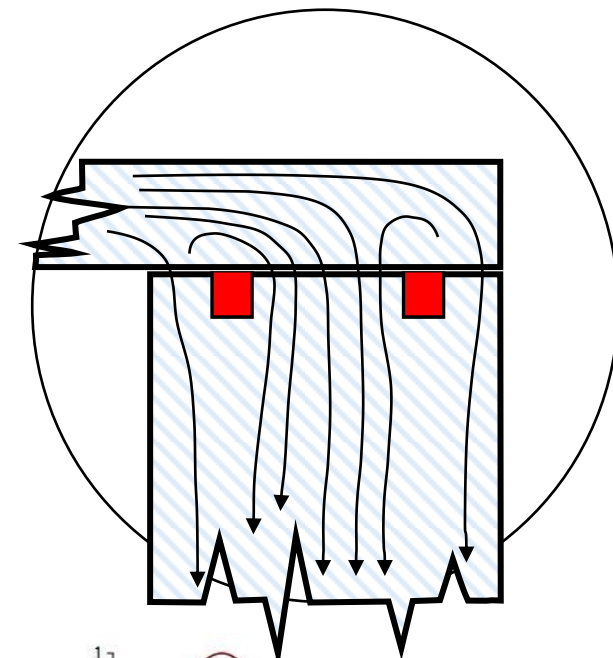


22. Demonstrace funkce pomocného závitu na krátko u relé na střídavý proud 4.

V závitě na krátko se indukuje elektrický proud, který podle Lenzova zákona působí proti změně, která ho vyvolala. Proud v závitě na krátko tedy opoždí vnější magnetické pole, které jím prochází proti poli, které ho obchází. I v okamžicích nulové hodnoty budícího střídavého proudu bude kotvička tímto opožděným polem přidržována v přitaženém stavu.

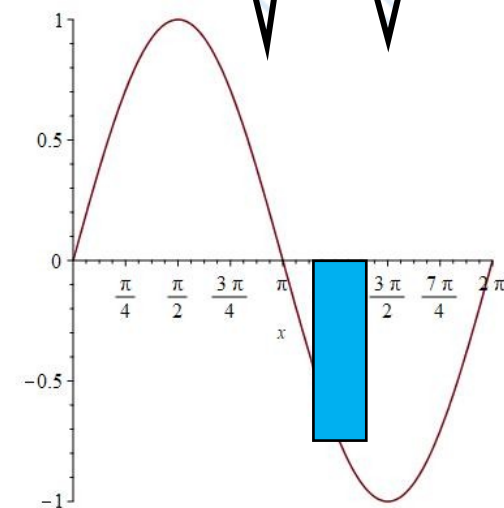
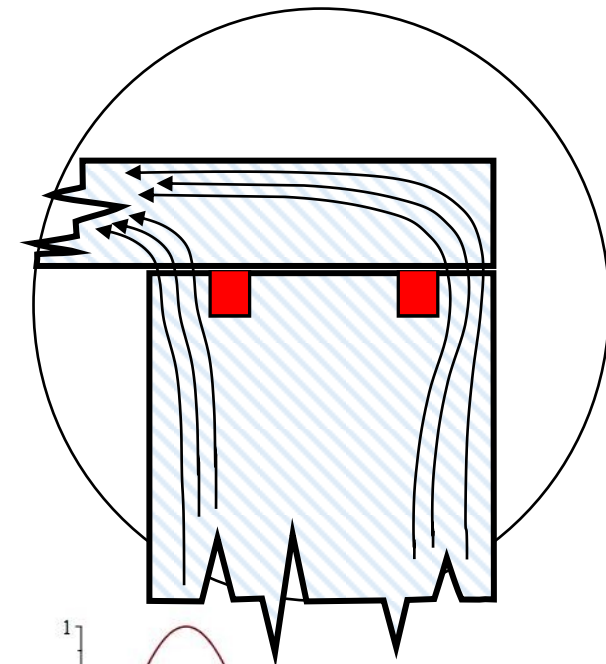
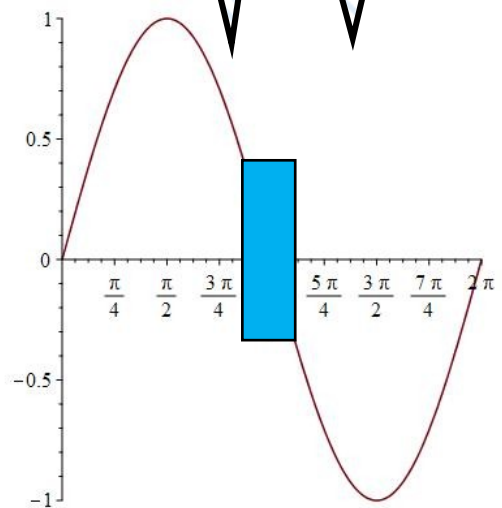
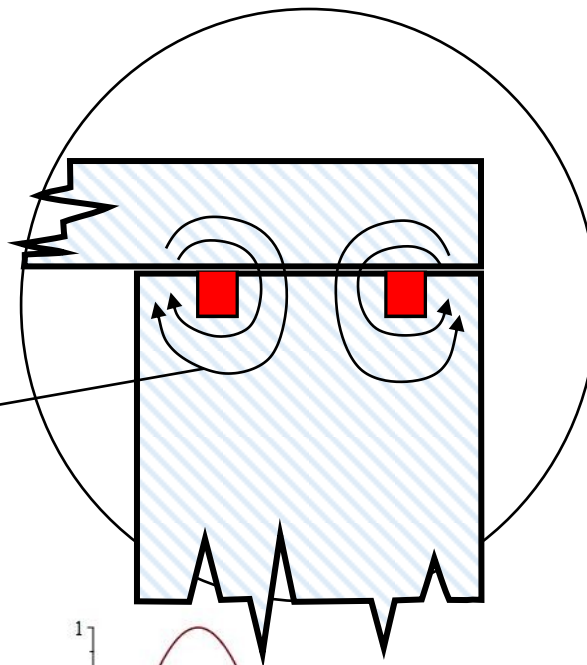


Fáze proudu v cívice relé.

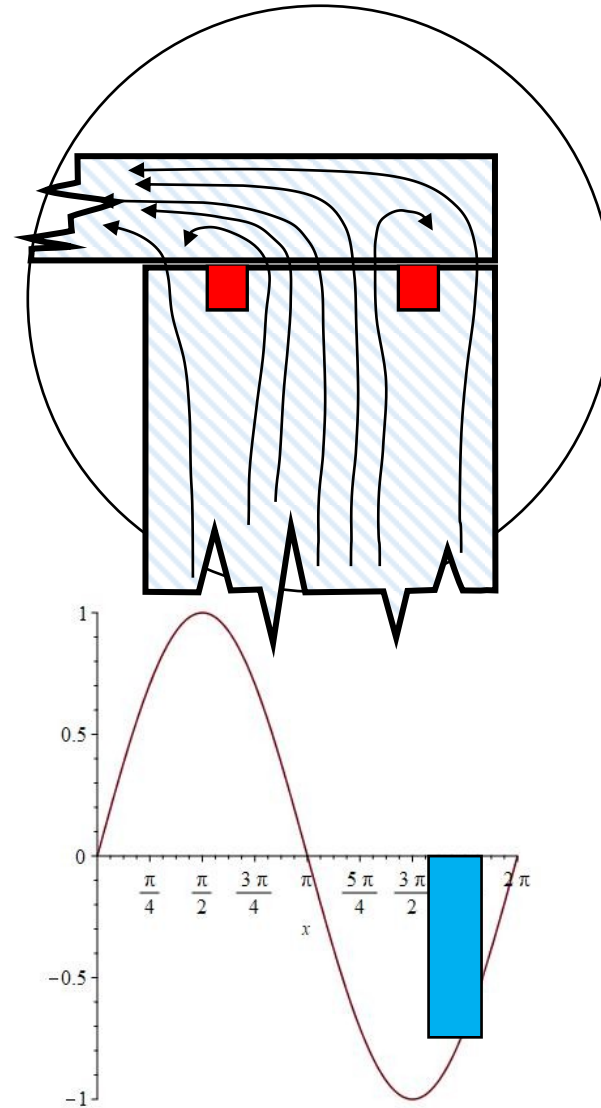


22. Demontrace funkce pomocného závitu na krátko u relé na střídavý proud 5.

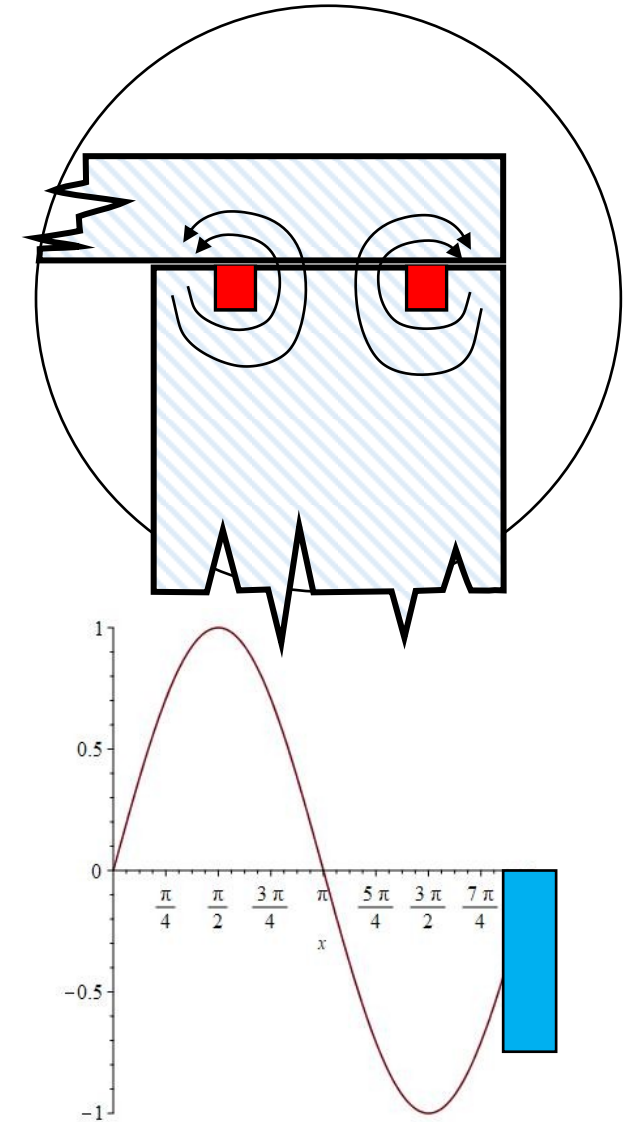
I v okamžicích nulové hodnoty budícího střídavého proudu cívkou relátka je kotvička přidržována v přitaženém stavu opožděným magnetickým polem.



22. Demonstrace funkce pomocného závitu na krátko u relé na střídavý proud 6.

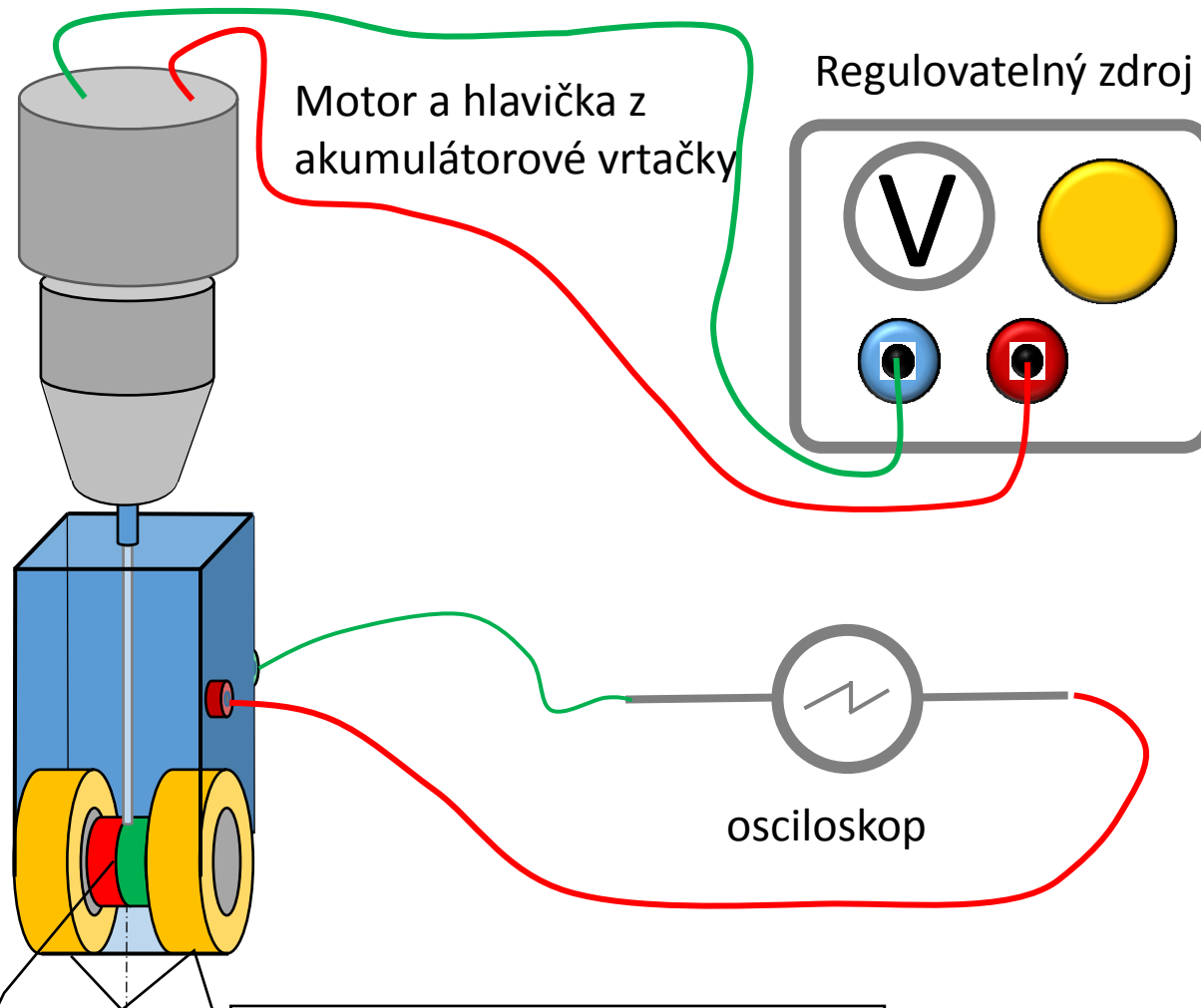


Fáze proudu v
cívce relé.



23. Demonstrace vzniku střídavého napětí elektromagnetickou indukcí 1.

- Sestavte experiment dle obrázku.
- Motor s hlavičkou upevněte do chemického stojanu.
- Součástku PASCO ET-8771 upevněte za hřidel přes gumovou spojku (gumová hadička). Proti otáčení ji zajistěte pružným prvem (opět gumovou hadičkou) k chemickému stojanu.
- Napětí zaznamenejte měřícím systéme PASCO nebo osciloskopem.
- Proložte záznamem funkci $U \cos(\omega t + \varphi)$ a porovnejte se záznamem.



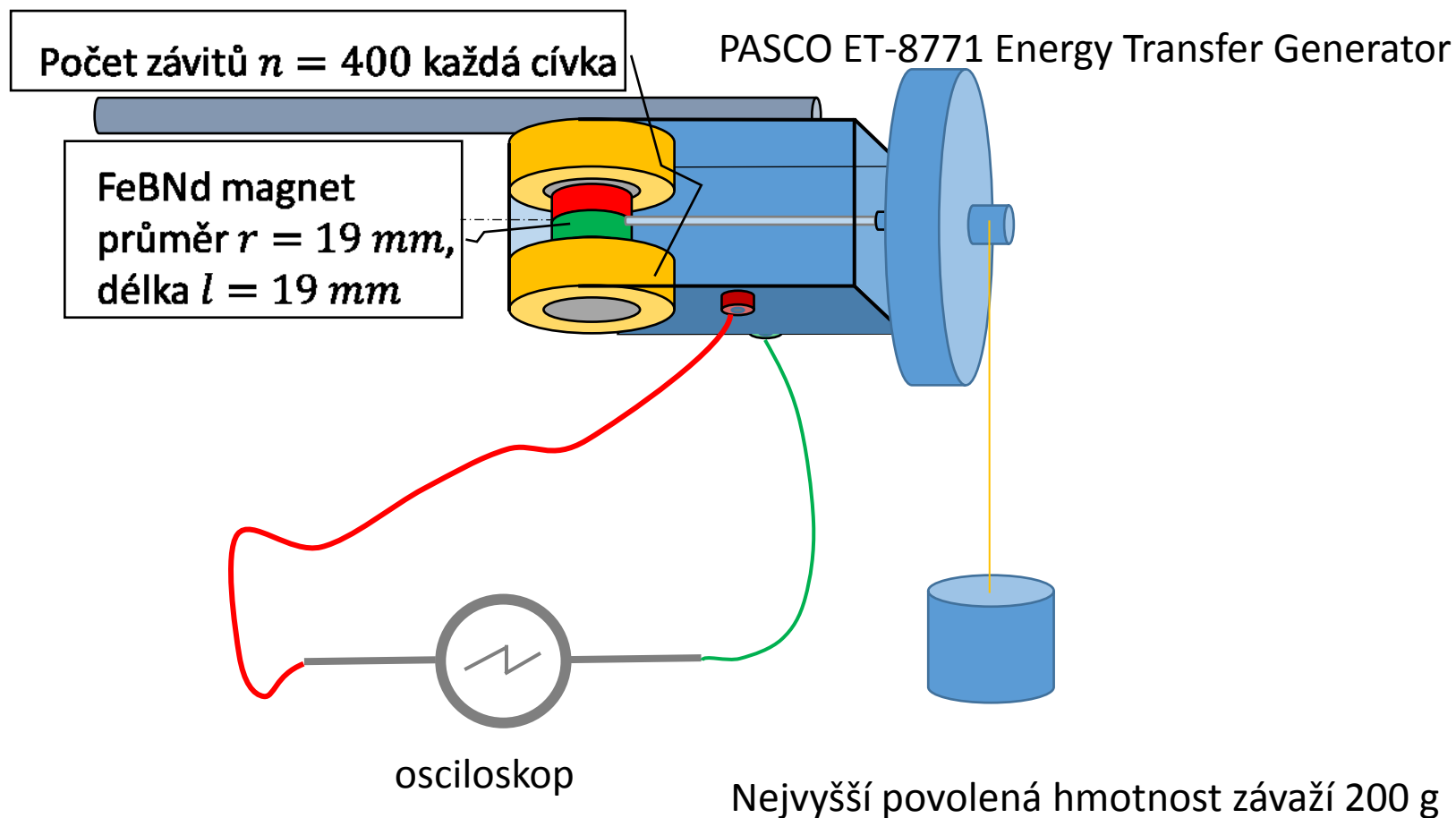
FeNd magnet
průměr $r = 19 \text{ mm}$,
délka $l = 19 \text{ mm}$

Počet závitů $n = 400$ každá cívka

PASCO ET-8771 Energy Transfer Generator

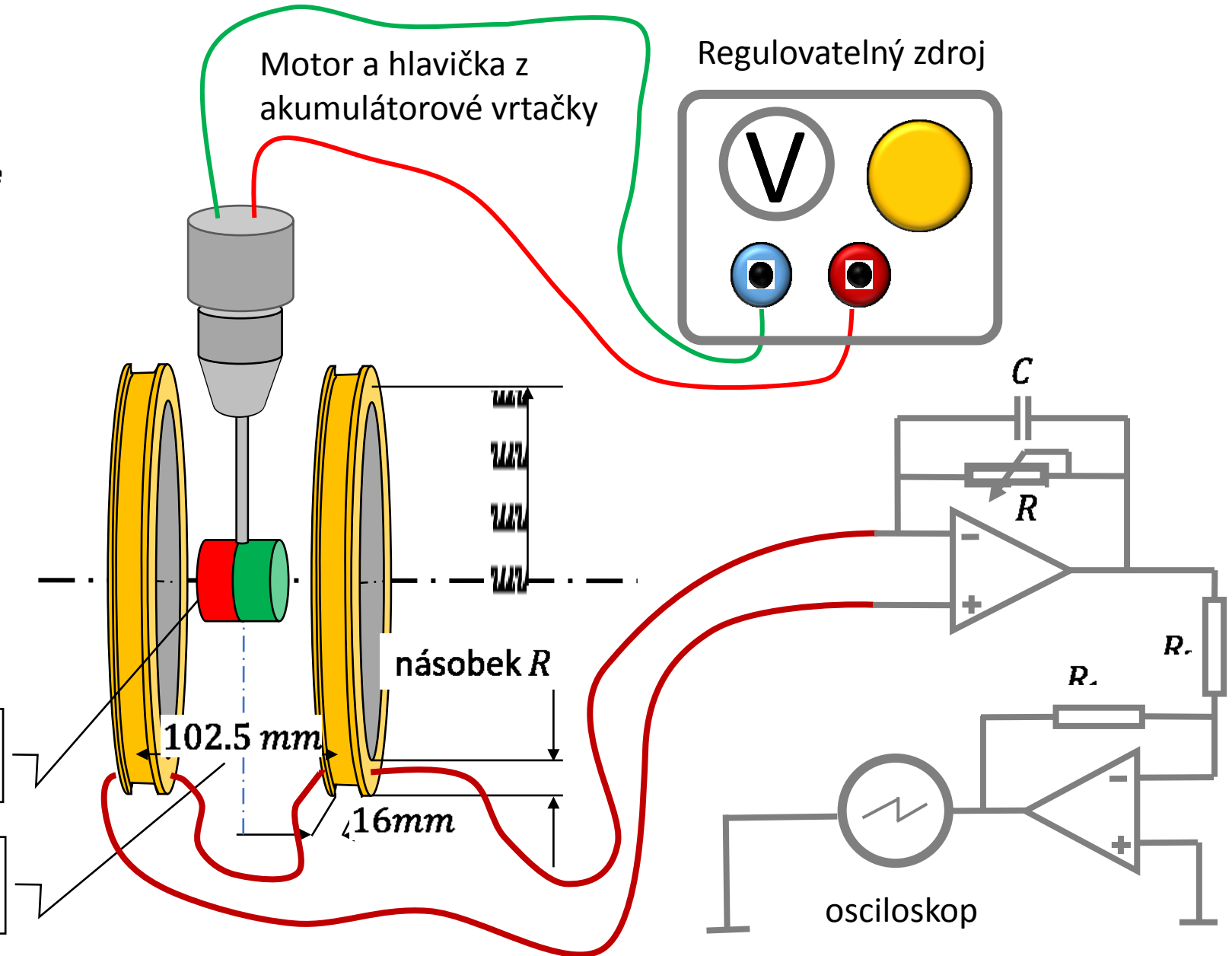
23. Demonstrace vzniku střídavého napětí elektromagnetickou indukcí 2.

- Sestavte experiment dle obrázku.
- Zařízení PASCO ET-8771 upevněte co nejvýš do dlouhého chemického stojanu.
- Na kladku namotejte nit a zavěste závaží.
- Uvolněte závaží a zaznamenejte měřícím systéme PASCO nebo osciloskopem průběh napětí na čase.
- Zatižte generátor zátěží $100\ \Omega$ a měření opakujte.



23. Demonstrace vzniku střídavého napětí elektromagnetickou indukcí 3.

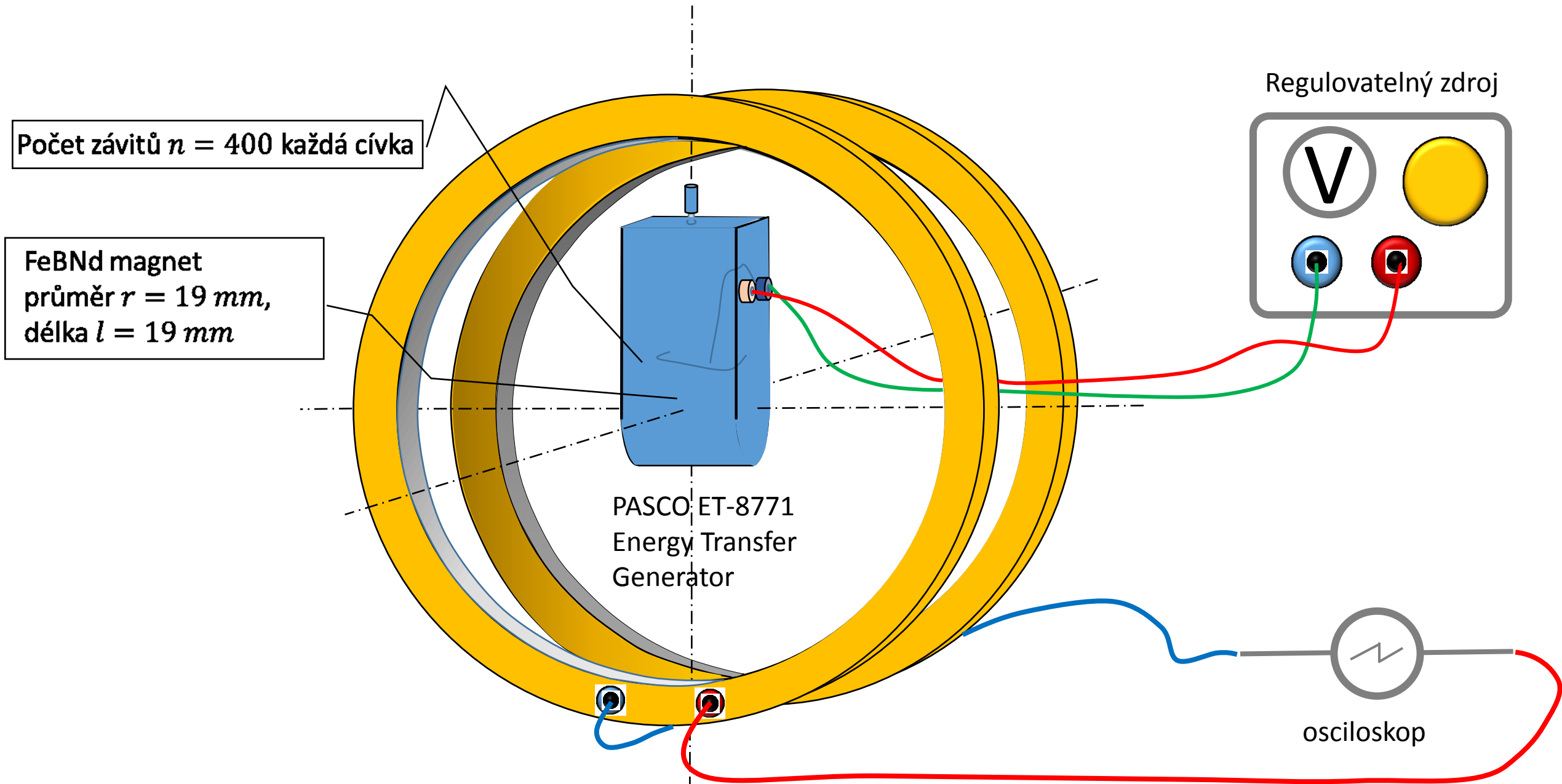
- Sestavte experiment dle obrázku.
- Do motorkem poháněné vrtačkové hlavičky upevněte hřídel s magnetem.
- Motorek upevněte k chemickému stojanu a seřídte tak, aby magnet byl ve středu Helmholtzových cívek.
- Cívky připojte k integrátoru.
- Zdrojem napětí regulujte otáčky v rozmezích 1 až 5 Hz.
- Napětí na integrátoru zaznamenejte měřícím systéme PASCO nebo osciloskopem.
- Proložte záznamem funkci $U \cos(\omega t + \varphi)$ a porovnejte se záznamem. Proč amplituda signálu z integrátoru nezávisí na otáčkách?



Permanentní FeBNd magnet průměr $r = 19\text{mm}$, délka $d = 19\text{mm}$.

Helmholtzovy cívky, každá $n = 200$ závitů, zapojena jako proudová cívka W. metru.

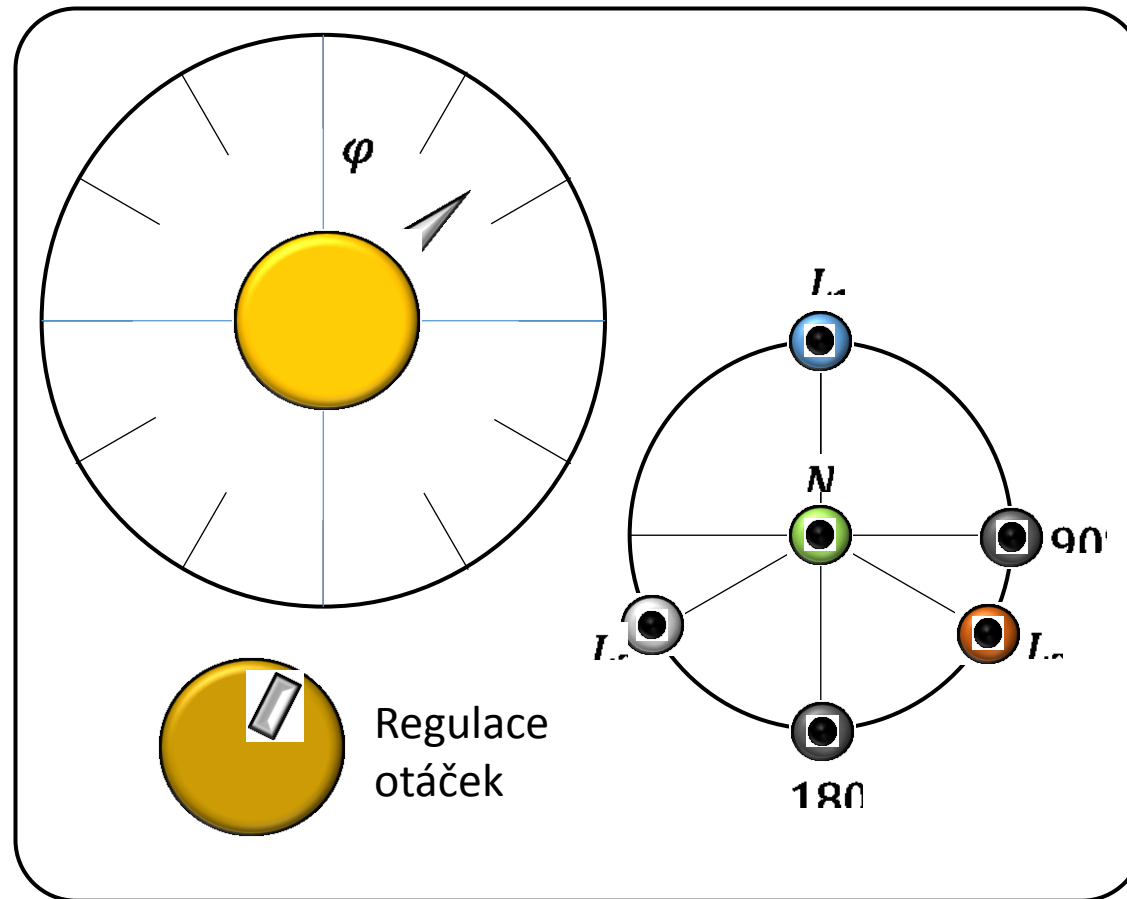
23. Demonstrace vzniku střídavého napětí elektromagnetickou indukcí 2.



24. Demonstrace trojfázové soustavy.

Aparatura pro demonstraci trojfázové soustavy

- Pomocí voltmetru nebo měřících modulů změřte napětí $U_{L_1-N}(\varphi)$, $U_{L_2-N}(\varphi)$, $U_{L_3-N}(\varphi)$.
- Pro různé hodnoty úhlu φ a vyhodnoťte $U = U_{L_1-N}(\varphi) + U_{L_2-N}(\varphi) + U_{L_3-N}(\varphi)$.
- Změřte napětí $U_{L_1-L_2}(\varphi)$, $U_{L_2-L_3}(\varphi)$, $U_{L_3-L_1}(\varphi)$
- Pro různé úhly a vyhodnoťte $U = U_{L_1-L_2}(\varphi) + U_{L_2-L_3}(\varphi) + U_{L_3-L_1}(\varphi)$.
- Porovnejte amplitudu $U_{L_1-N}(\varphi)$ s amplitudou $U_{L_1-L_2}(\varphi)$.



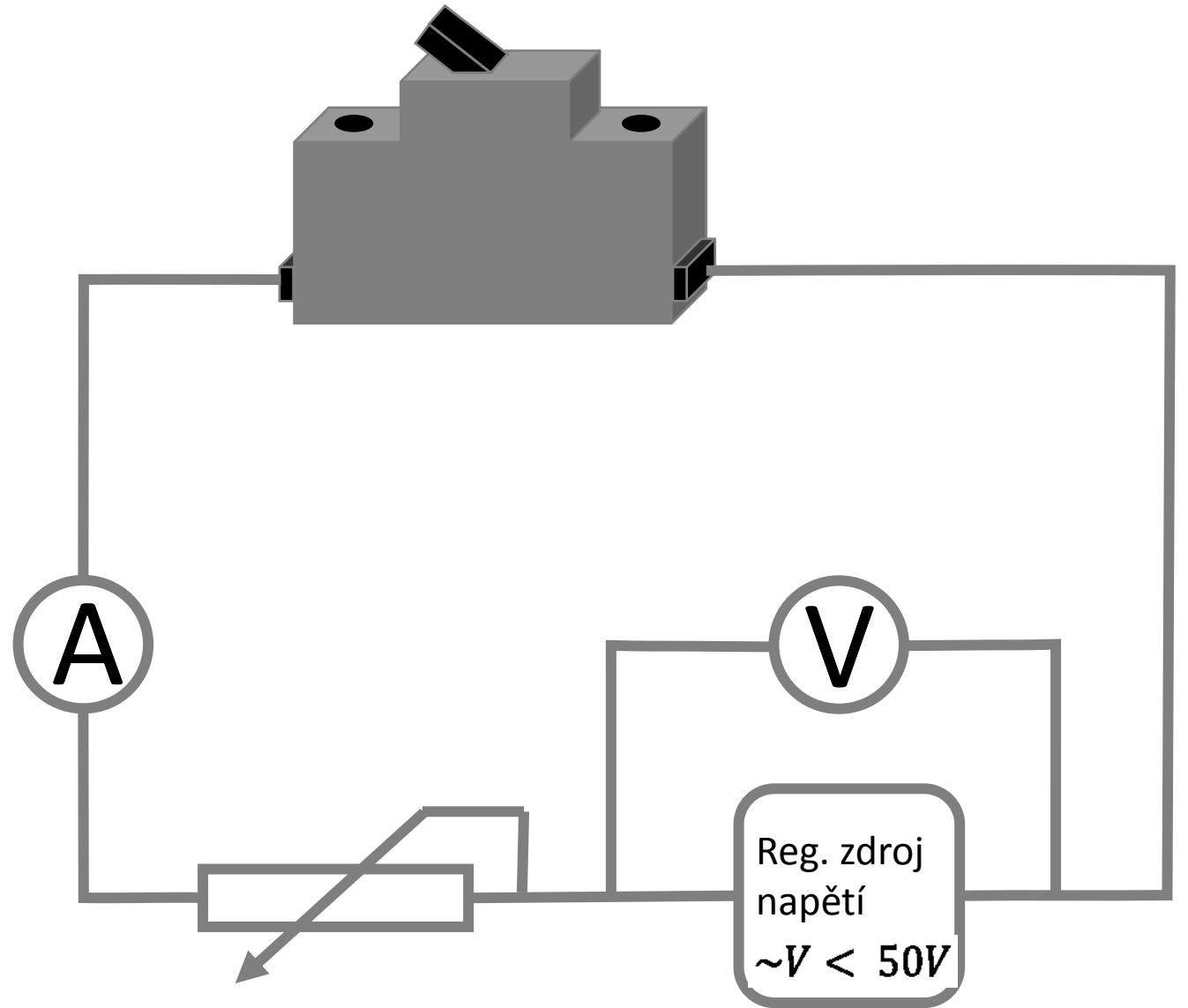
$$U_{L_1-N}(\varphi) = U_o \cos(\omega t + \varphi)$$

$$U_{L_2-N}(\varphi) = U_o \cos(\omega t + \varphi + \frac{2}{3}\pi)$$

$$U_{L_3-N}(\varphi) = U_o \cos(\omega t + \varphi + \frac{2}{3}\pi)$$

25. Demonstrace funkce jističe 1.

- Sestavte experiment podle obrázku.
- Zapojte do obvodu zdroj bezpečného střídavého napětí $U < 50V$.
- Nalezněte proud pro vybavení jističe kdy zafunguje rozepnutí magnetickým relátkem (viz dále).



25. Demontrace funkce jističe 2.

Charakteristické hodnoty jističe

Jmenovité napětí: pro jaké napětí je jistič určen.

Jmenovitý proud I_A : maximální trvalý proud, na který jistič nereaguje rozpojením.

Zkratový proud I_Z : maximální proud, který ještě jistič vypne (u domácích jističů $I_Z = 6$ až 25 kA).

Poměrný proud I_n : násobek jmenovitého proudu jističe $I_n = \frac{I}{I_a}$.

Vypínací čas t_a : závisí na poměrném proudu (obvykle v mezích od $1 I_n$ do $80 I_n$), je to čas za jaký jistič vypne (obvykle od $0,01$ s do 10000 s)

Normalizované barvy jističů:

2 A růžová,	
4 A hnědá,	32 A fialová,
6 A zelená,	40 A černá,
10 A červená,	50 A bílá,
13 A písková,	60 a 63 A hnědá (měděná),
16 A šedá,	80 A stříbrná,
20 A modrá,	100 A červená,
25 A žlutá,	125 A žlutá.

Zkratový proud je určen napětím a impedancí vypínací smyčky.

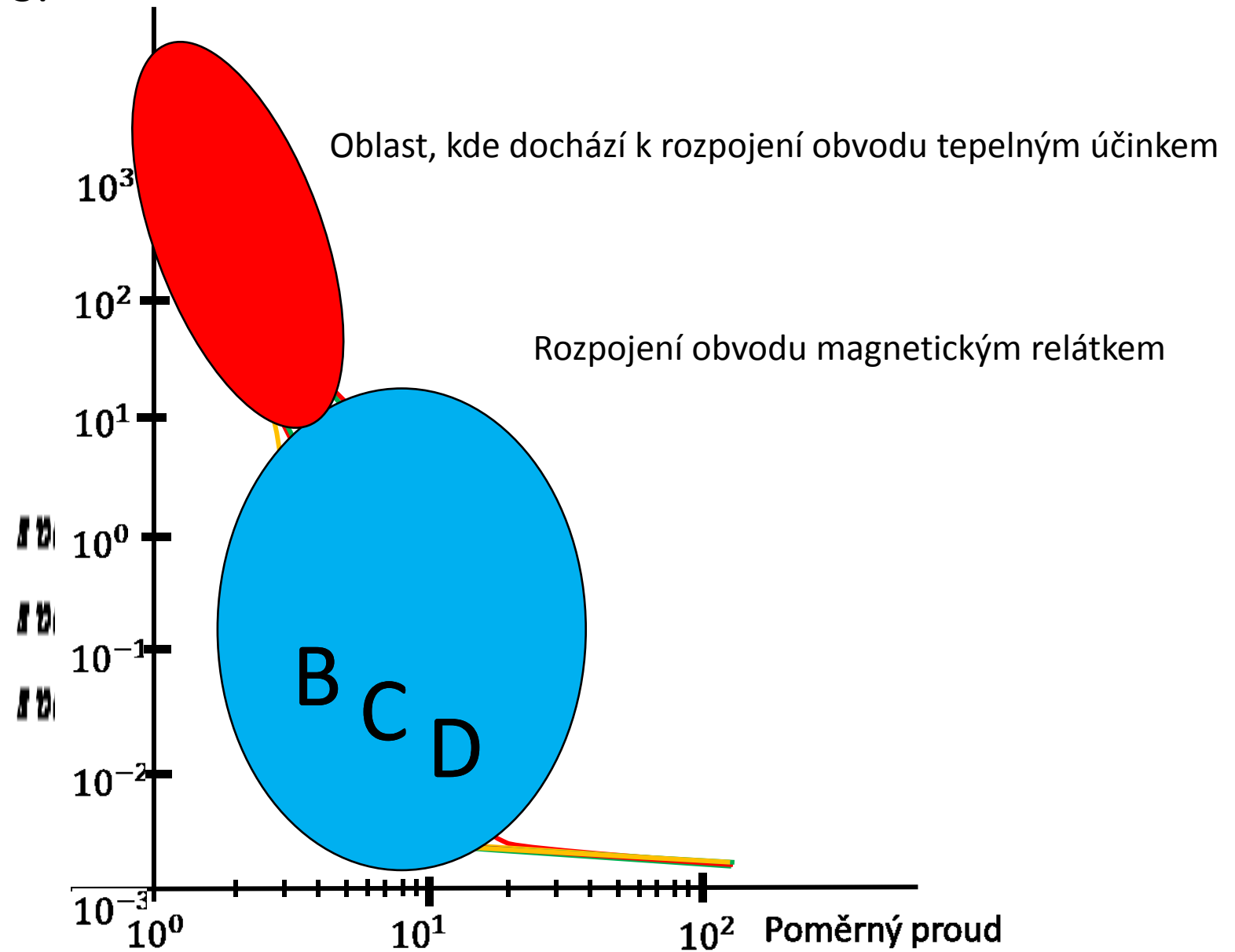
Vypínací charakteristiky. Podle toho, k čemu jsou určeny se běžné jističe odlišují vypínacími charakteristikami. Běžné jističe se s ohledem na toto kritérium označují písmeny B,C,D.

B – jistič vedení, $t_a < 0.1$ s, $I > xI_n$, $x \in \langle 3; 5 \rangle$, k ochraně zařízení s malou tepelnou kapacitou

C – motorový jistič, $t_a < 0.1$ s, $I > xI_n$, $x \in \langle 5; 10 \rangle$, k ochraně zařízení s připojenou indukční zátěží

D – jistič pro zařízení s velkými zapínacími proudy $t_a < 0.1$ s, $I > xI_n$, $x \in \langle 10; 20 \rangle$, podobně jako C

25. Demonstrace funkce jističe 3.

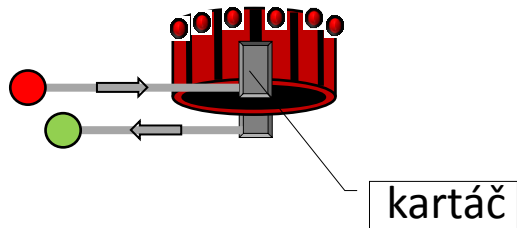


26. Komutátorový elektromotor 1.

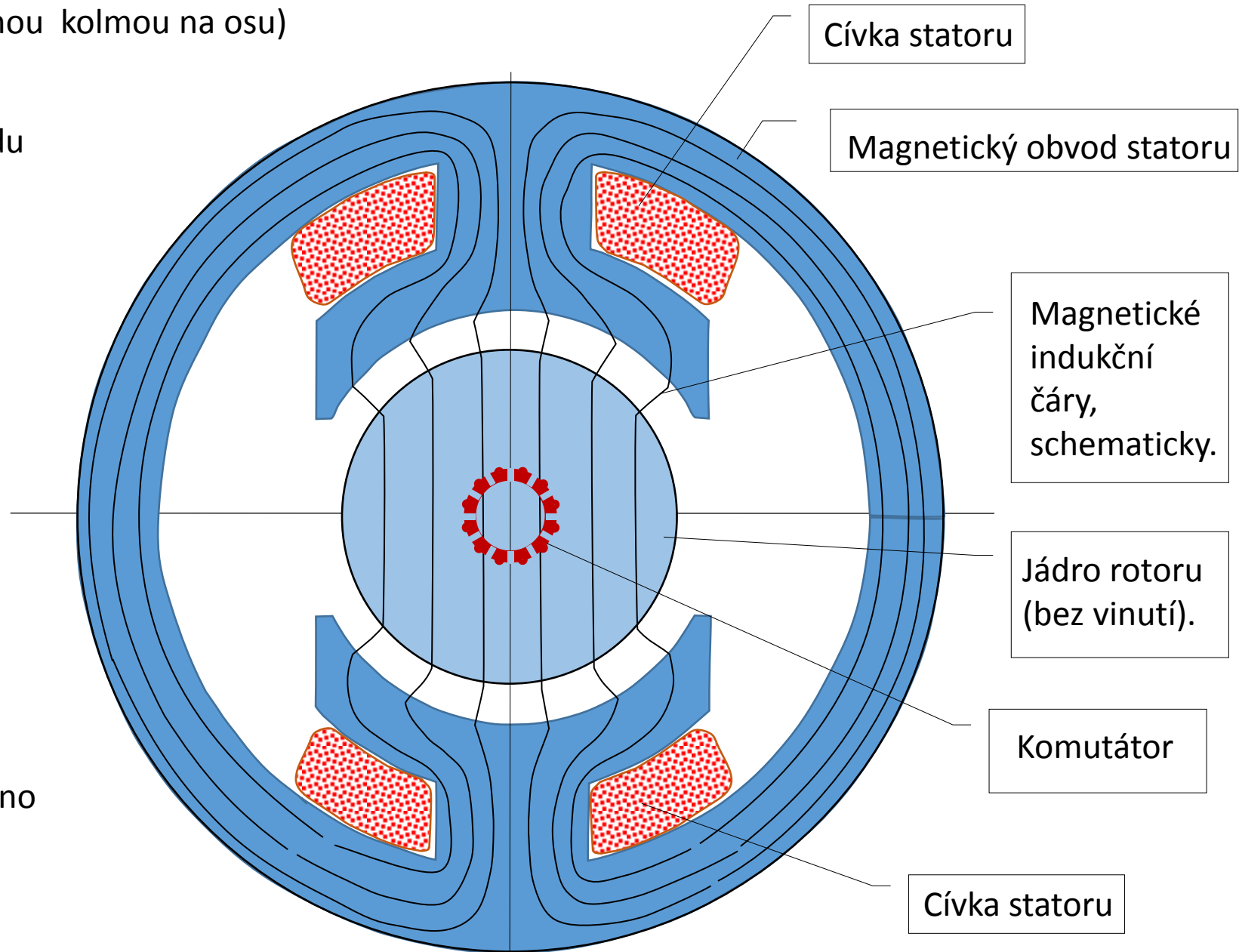
Řez komutátorovým elektromotorem (rovinou kolmou na osu)
Bez vinutí rotoru.

Cívka statoru vytváří v magnetickém obvodu magnetické pole.

Komutátor je váleček sestavený s vůči sobě izolovaných lamel z materiálu s dobrou elektrickou vodivostí a dobrými kluznými vlastnostmi vůči materiálu elektrických kontaktů, tzv. kartáčů nebo taky uhlíků.



Jádro rotoru je pro jednoduchost zobrazeno bez struktury pro uložení vinutí



26. Komutátorový elektromotor 2.

Část řezu statorem spolu s pohledem na rotor s komutátorem a schematicky znázorněným vinutím.

Pohled na rotor (bez vinutí) a komutátor.

Komutátor

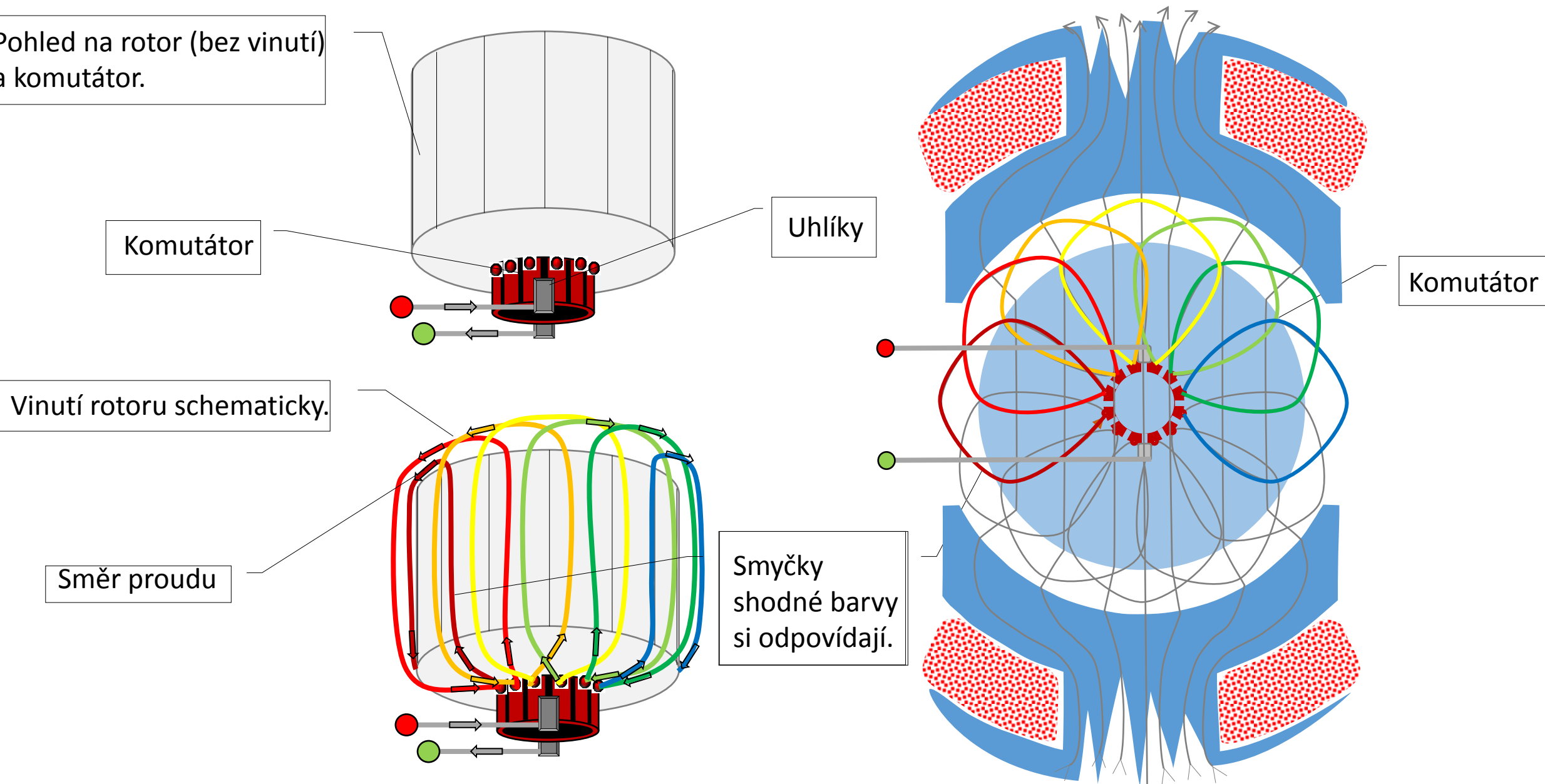
Uhlíky

Vinutí rotoru schematicky.

Směr proudu

Smyčky shodné barvy si odpovídají.

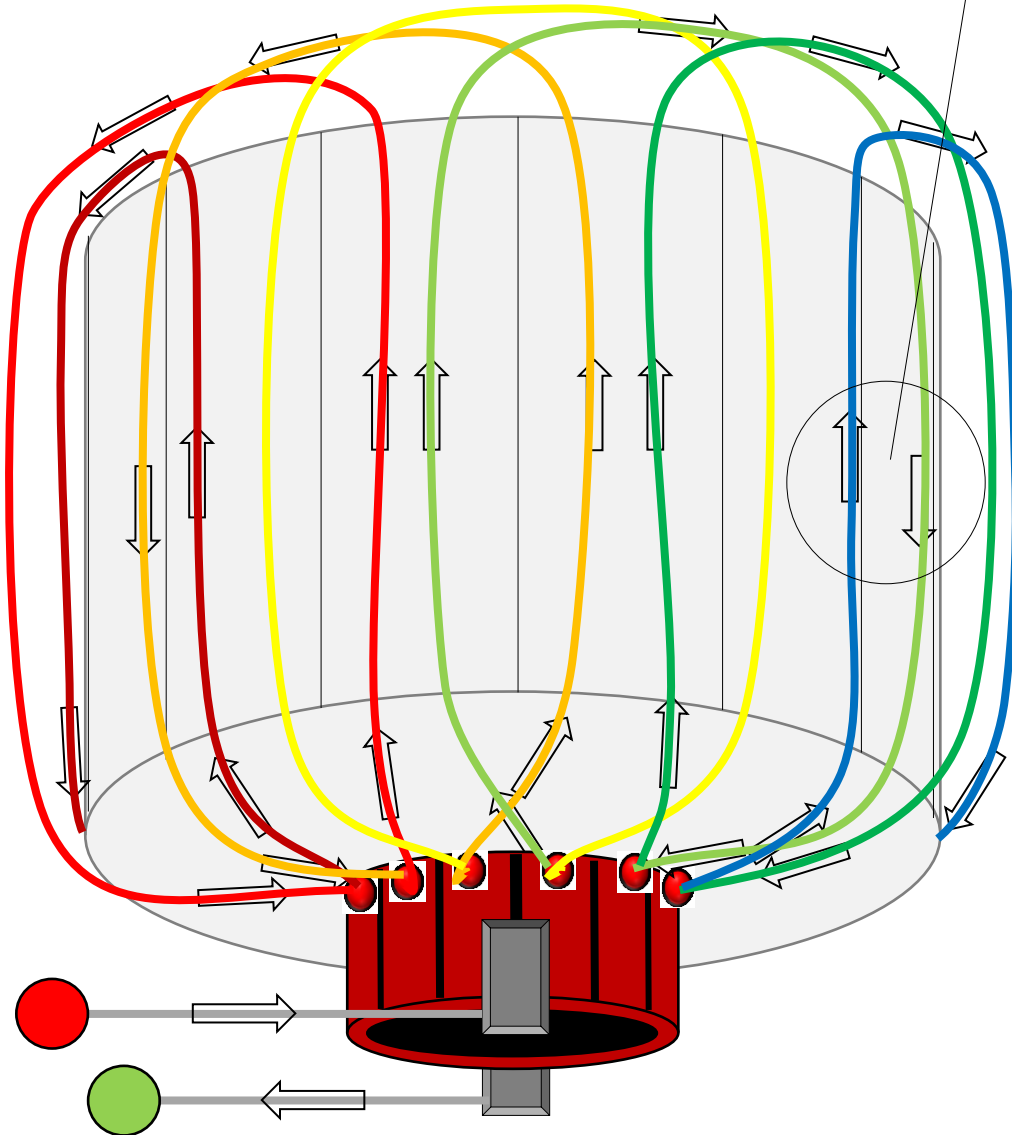
Komutátor



26. Komutátorový elektromotor 3.

Schéma vinutí

V této části vinutí se proudy kompenzují.



Vzhledem k tomu, že se v části vinutí proudy kompenzují, lze v principu tuto soustavu smyček v každém okamžiku nahradit jednou smyčkou podle obrázku.

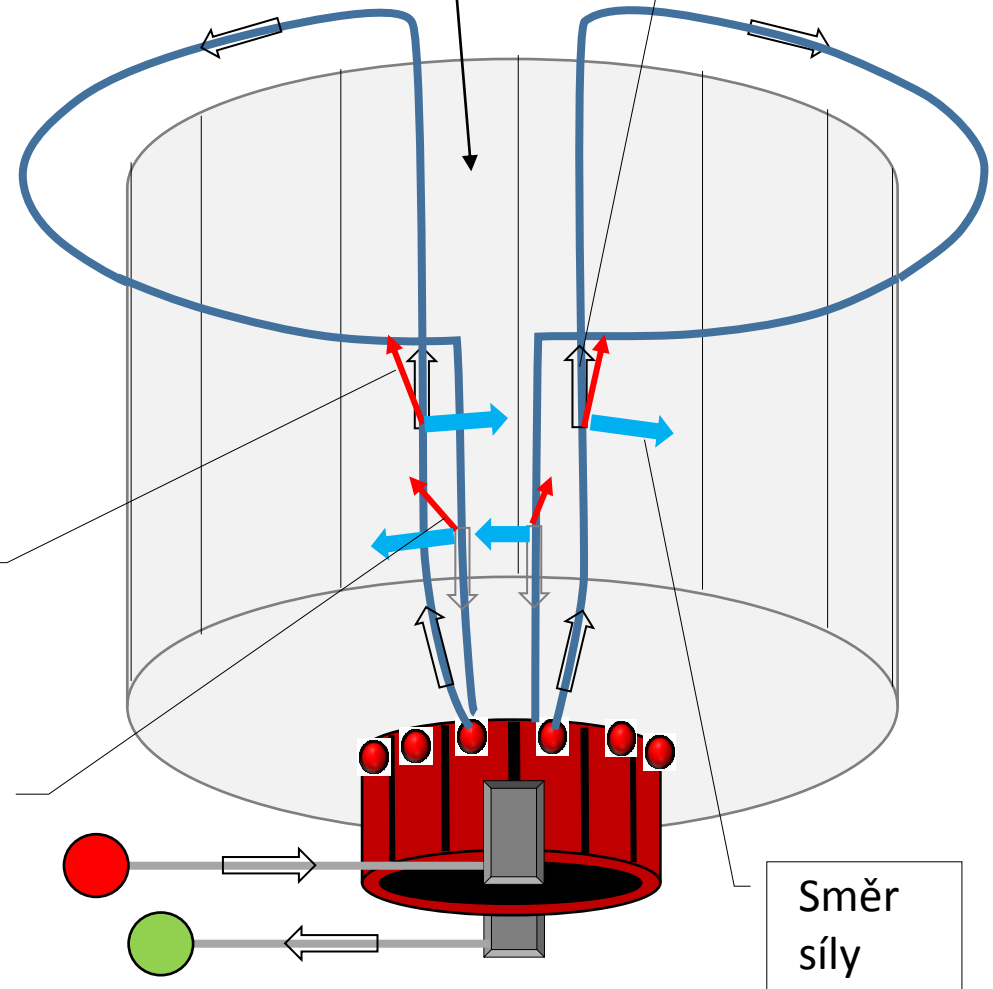
Tato smyčka je v pozici, kdy se na ni indukuje maximální napětí a působí na ni maximální moment sil.

Vektor magnetické indukce.

Vektor magnetické indukce zespolu rotoru.

Rotor je zobrazen jako poloprůhledný, vidíme skrz něj.

Směr proudu



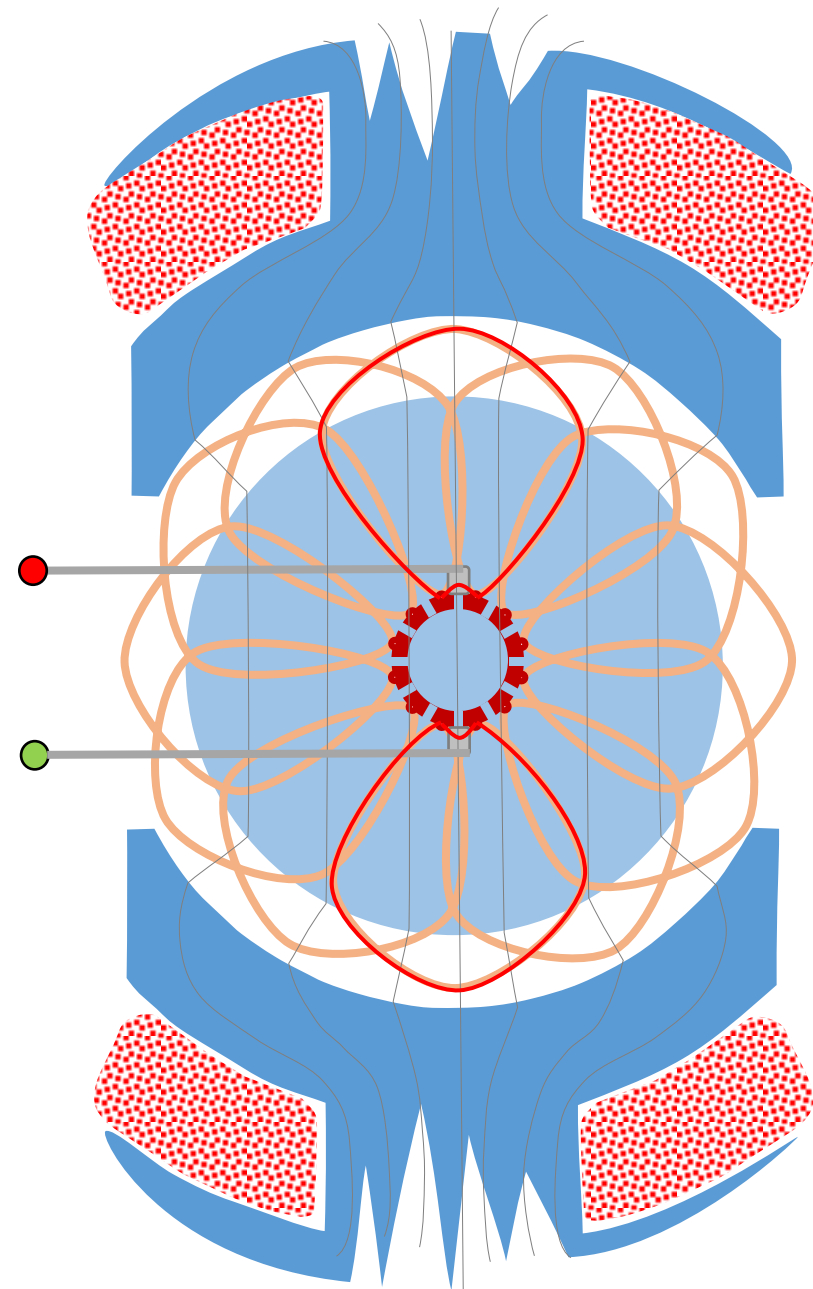
26. Komutátorový elektromotor 4.

Uhlík při pohybu po komutátoru přechází přes dva sousední segmenty a přitom zkratuje odpovídající smyčku vinutí. Nemá-li docházet ke ztrátám energie a opalování uhlíků a komutátoru, musí být smyčka v takové poloze vůči magnetickému poli statoru, kdy je na smyčce indukované napětí blízké nule.

V zakreslené poloze je toto splněno. Při malém pootočení rotoru se indukční tok zakreslenou smyčkou téměř nemění.

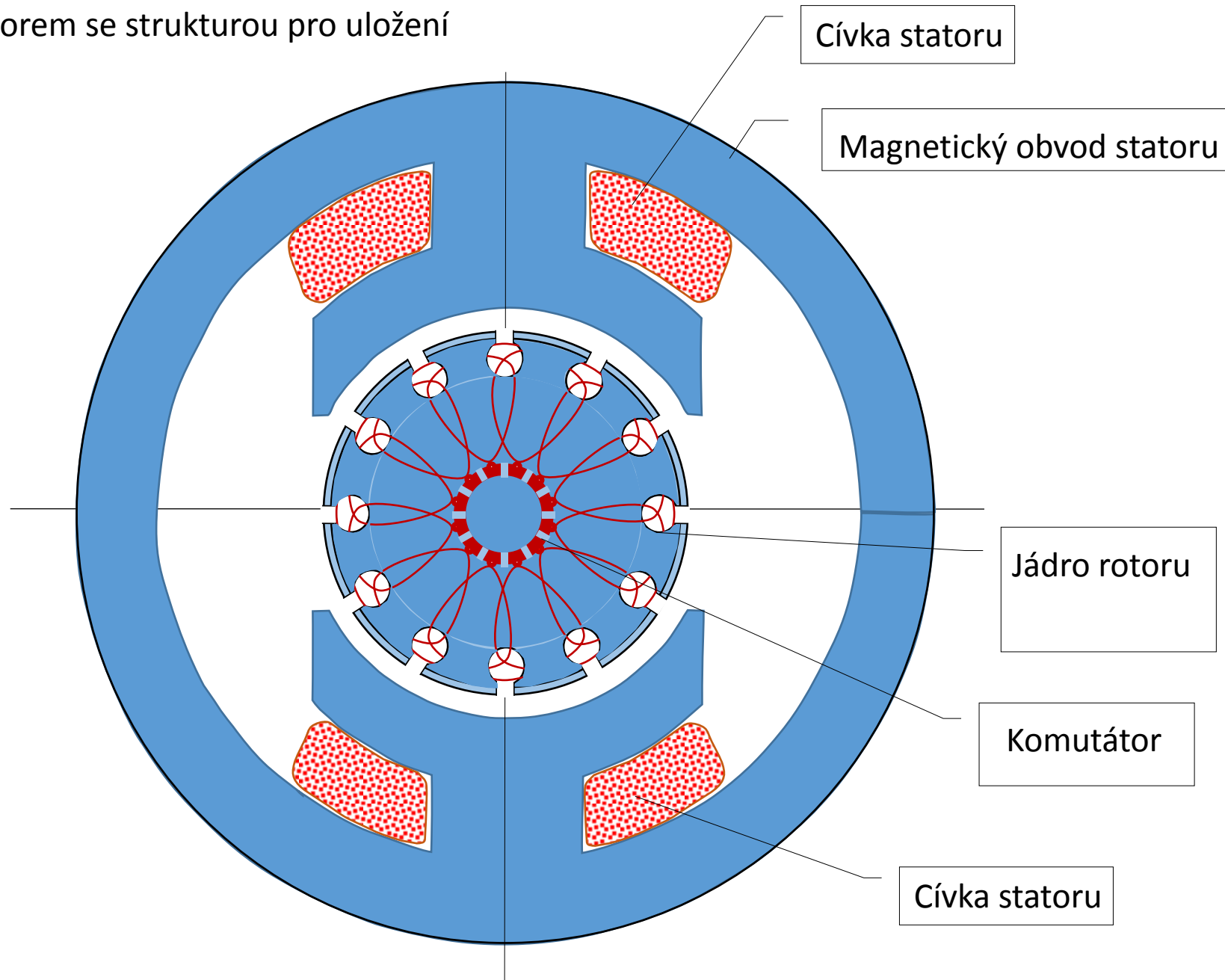
Otázky:

1. Jak závisí otáčky komutátorového elektromotoru na napětí napájecího zdroje?
2. Jak závisí otáčky komutátorového elektromotoru na buzení statoru?



26. Komutátorový elektromotor 5.

Řez komutátorovým elektromotorem s rotorem se strukturou pro uložení vinutí



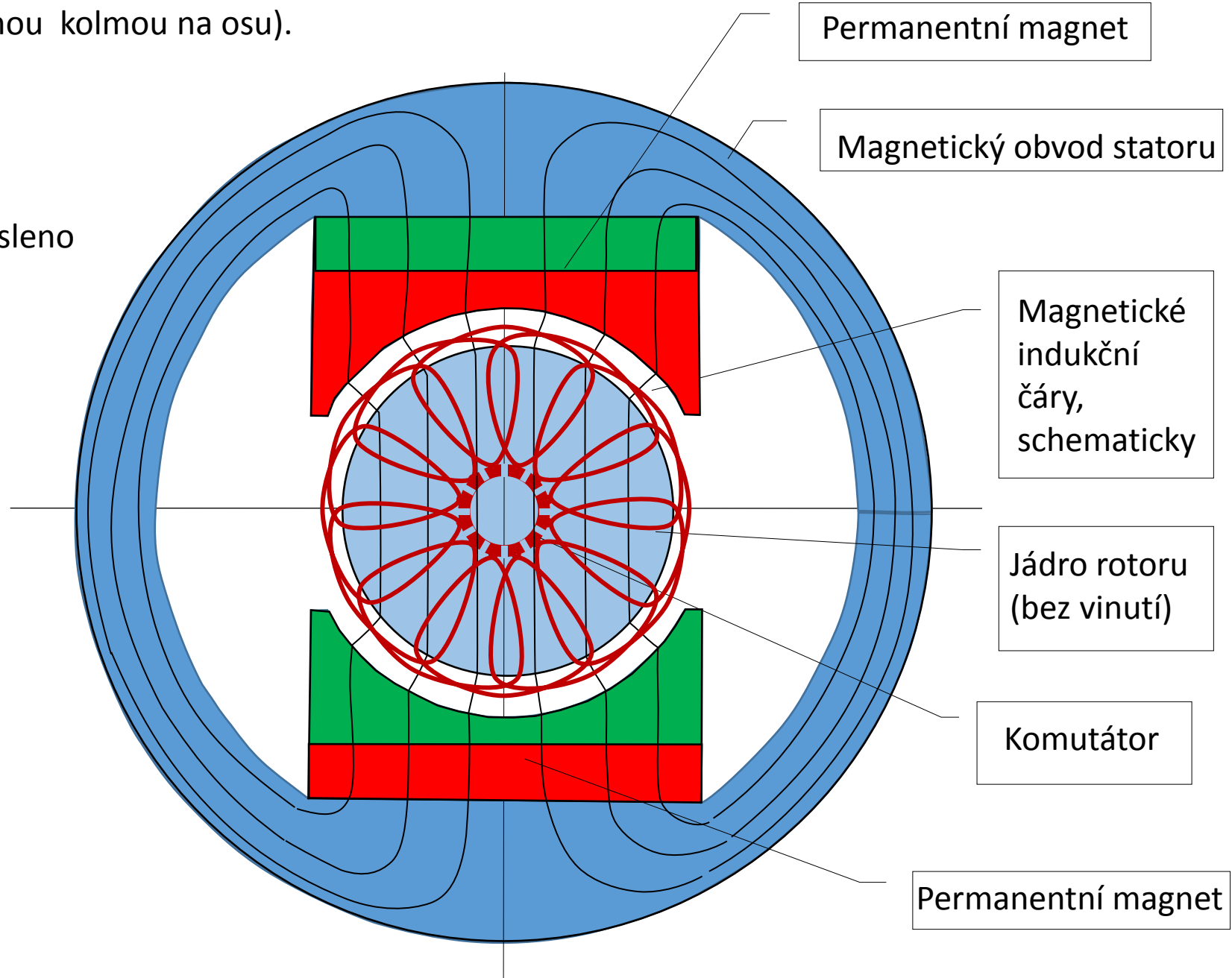
26. Komutátorový elektromotor s permanentním magnetem varianta A, 6.

Řez komutátorovým elektromotorem (rovinou kolmou na osu).

Permanentní magnet vytváří v magnetickém obvodu magnetické pole.

Jádro rotoru je pro větší přehlednost zakresleno bez struktury pro uložení vinutí.

U servomotorů, kde záleží na co nejrychlejší akceleraci rotoru není vinutí s jádrem mechanicky spojeno, jádro je např. volně otočné, aby byl moment setrvačnosti pohyblivých dílů co nejmenší.

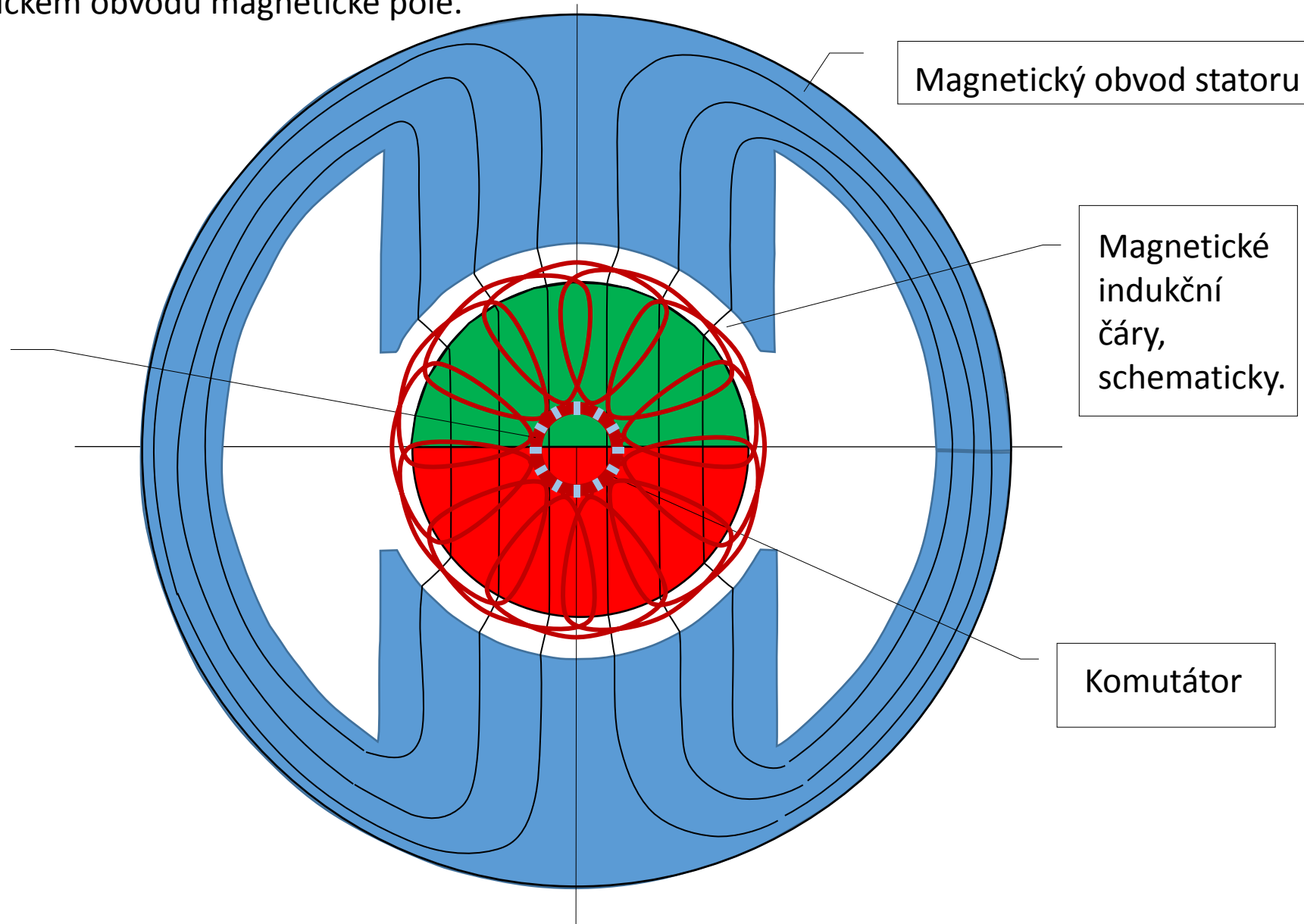


26. Komutátorový elektromotor s permanentním magnetem varianta B, 7.

Řez komutátorovým elektromotorem (rovinou kolmou na osu).

Permanentní magnet vytváří v magnetickém obvodu magnetické pole.

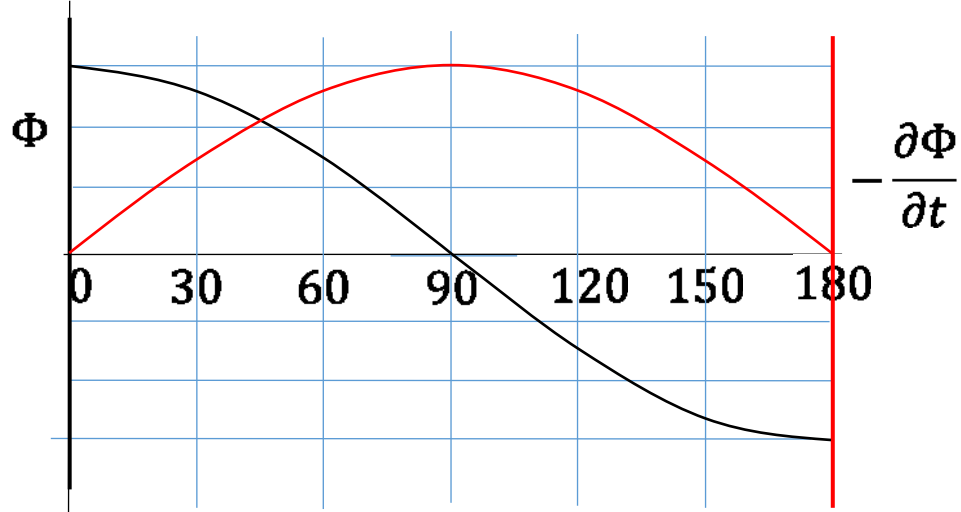
Permanentní magnet pevně upevněný, neotáčí se, otáčí se jen cívka s komutátorem.



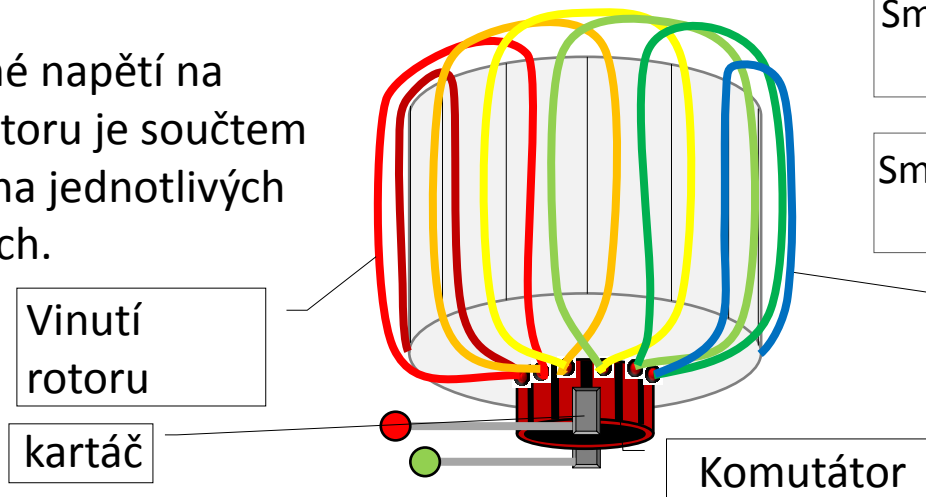
27. Dynamo 1.

Jádro rotoru je pro jednoduchost vyznačeno bez struktury pro uložení vinutí.

Φ indukční tok ve smyčce za zjednodušujícího předpokladu homogenního pole.



Výsledné napětí na komutátoru je součtem napětí na jednotlivých smyčkách.



Část řezu statorem spolu s pohledem na rotor a komutátor a schematicky znázorněným vinutím.

Smyčka 1, $\varphi = 0^\circ$ $-\frac{\partial \Phi}{\partial t} \rightarrow 0$

Smyčka 2, $\varphi = 30^\circ$

Smyčka 3, $\varphi = 60^\circ$

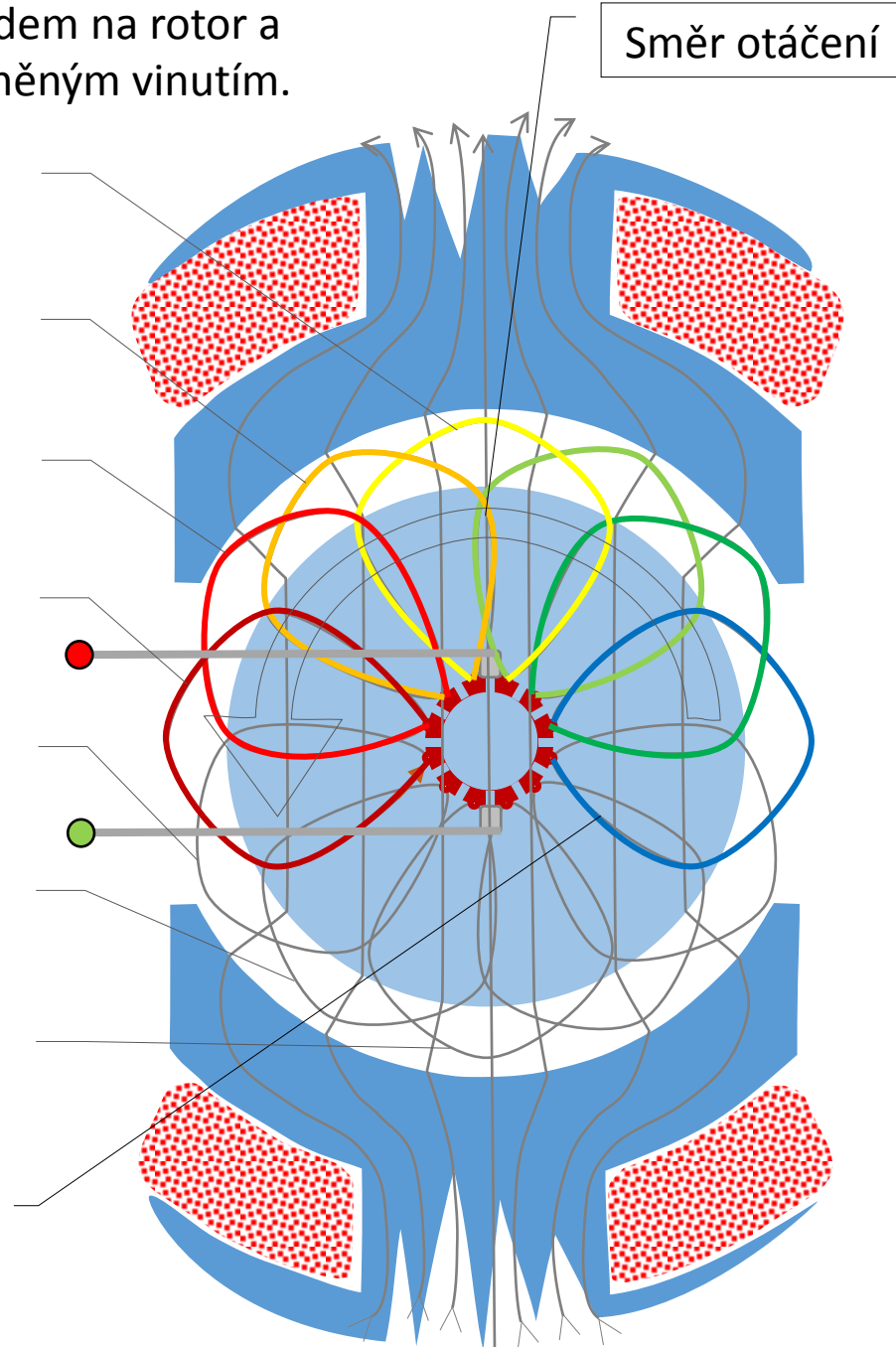
Smyčka 4, $\varphi = 90^\circ$

Smyčka 5, $\varphi = 120^\circ$

Smyčka 6, $\varphi = 150^\circ$

Smyčka 7, $\varphi = 180^\circ$ $-\frac{\partial \Phi}{\partial t} \rightarrow 0$

Smyčky shodné barvy si odpovídají.

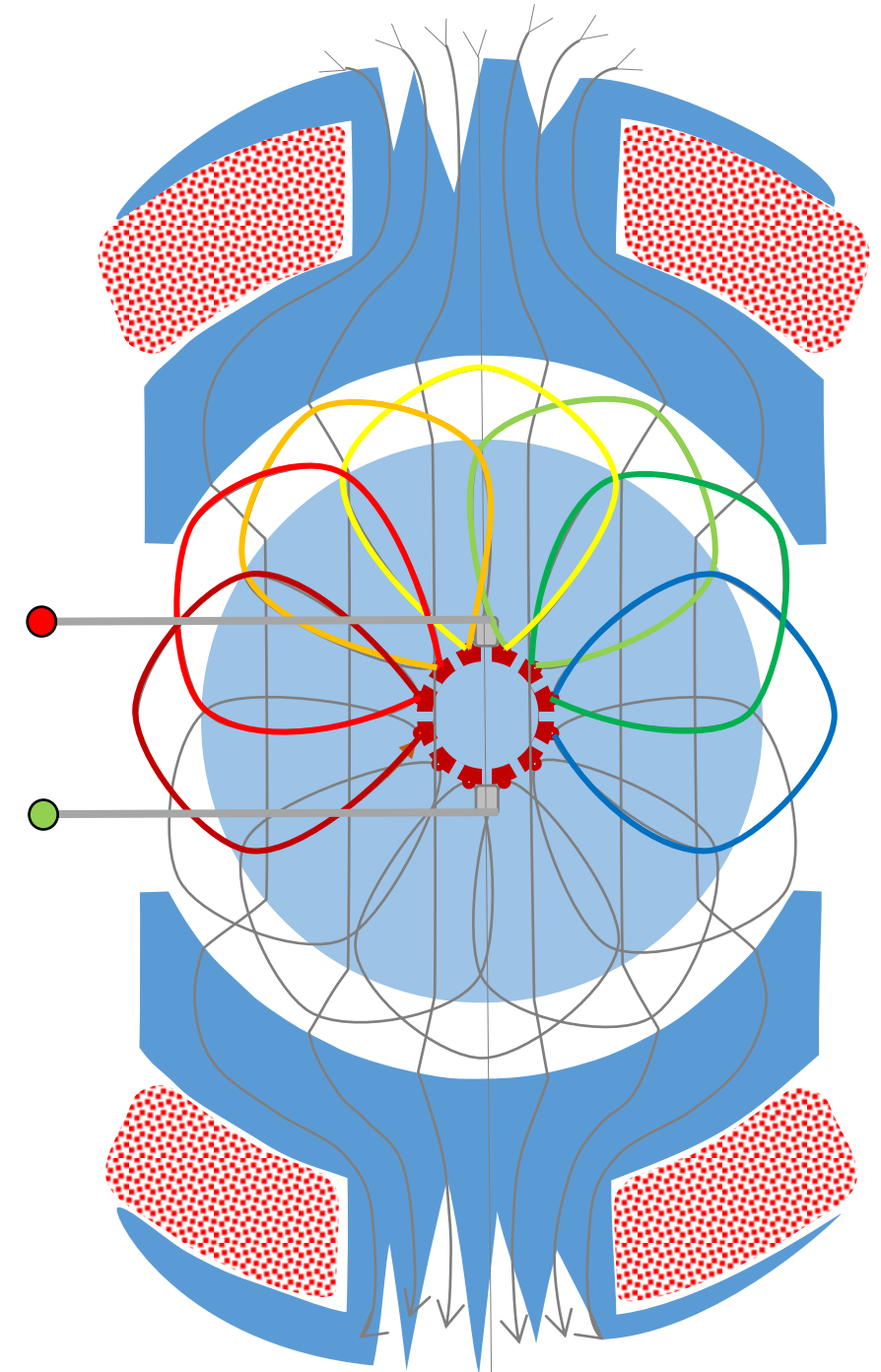
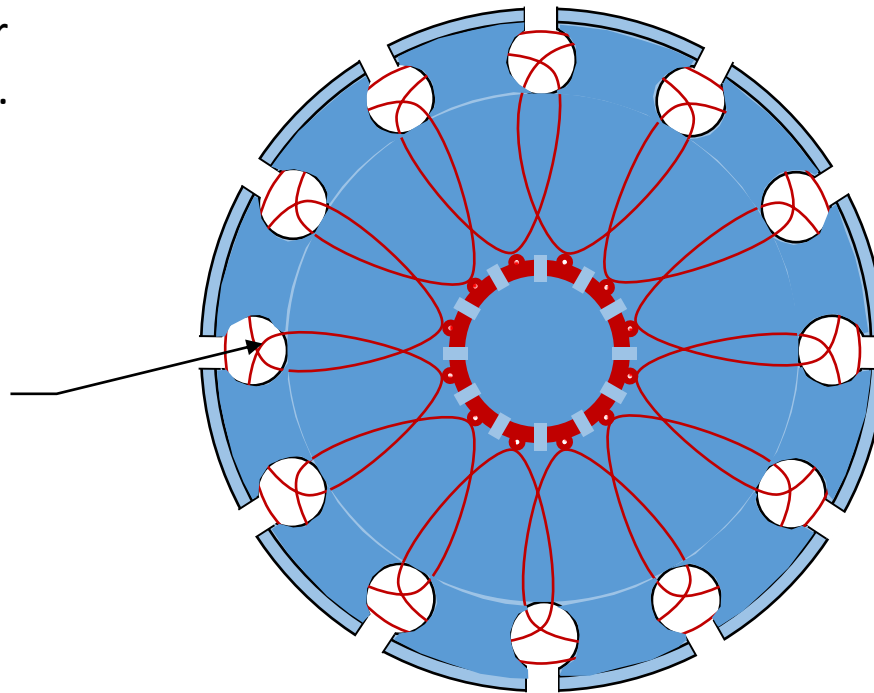


27. Dynamo 2.

Základní schéma dynama je stejné, jako u stejnosměrného komutátorového motoru.

Schematický pohled na rotor dynama s vyznačením vinutí.

Struktura pro uložení vinutí



Otázky:

1. Jak závisí napětí dynama na otáčkách?
2. Jak závisí napětí dynama na buzení statoru?