

ELEKTROMAGNETICKÁ INDUKCE

HANS CHRISTIAN OERSTED

DÁNSKÝ FYZIK A CHEMIK



14. 8. 1777 – 9. 3. 1851

V roce 1820 dokázal, že elektrický proud procházející vodičem vychyluje magnetickou stříčku (magnetku).

Tím odhalil nové souvislosti mezi elektrinou a magnetismem.

MICHAEL FARADAY

ANGLICKÝ FYZIK A CHEMIK



22. 9. 1791 – 25. 8. 1867

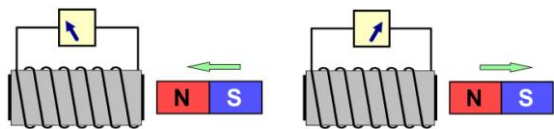
V roce 1831 objevil elektromagnetickou indukci.

Jeho objev byl významný tím, že se elektrická energie získávala doposud pouze chemickou cestou.

ELEKTROMAGNETICKÁ INDUKCE

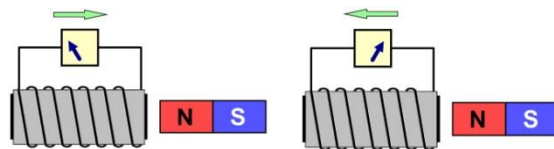
Jestliže se v blízkosti vodiče mění magnetické pole, vzniká (indukuje se) na jeho koncích elektrické napětí → Jestliže je tento vodič součástí uzavřeného obvodu, začne jím procházet elektrický proud → Ručička ampérmetru se vychýlí:

a) VZNIK INDUKOVANÉHO NAPĚTÍ A PROUDU POHYBEM MAGNETU V OKOLÍ CÍVKY:



Přiblížení magnetu k cívce →
Zesílení magnetického pole.
Oddálení magnetu od cívky →
Zeslabení magnetického pole.

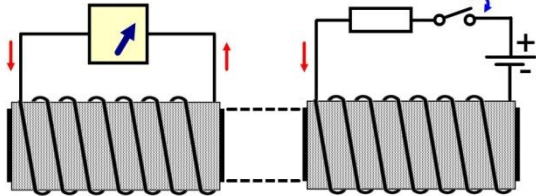
b) VZNIK INDUKOVANÉHO NAPĚTÍ A PROUDU POHYBEM CÍVKY V OKOLÍ MAGNETU:



Přiblížení cívky k magnetu →
Zesílení magnetického pole.
Oddálení cívky od magnetu →
Zeslabení magnetického pole.

Indukovaný proud při zesílení magnetického pole má opačný směr než při jeho zeslabení.

c) VZNIK INDUKOVANÉHO NAPĚTÍ A PROUDU ZAPÍNÁNÍM A VYPÍNÁNÍM SPÍNAČE V PRIMÁRNÍM OBVODU:



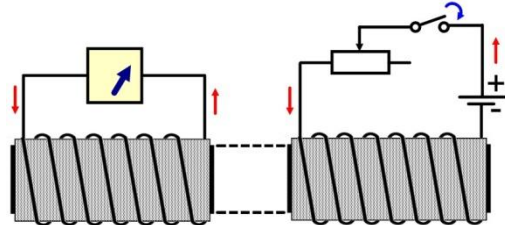
- 1/ Při sepnutí spínače se v primárním obvodu vytvoří magnetické pole.
- 2/ V sekundárním obvodu ukáže ampérmetr výchylku → Sekundárním obvodem prošel elektrický proud.

POZNÁMKA:

Jakmile se však magnetické pole primární cívky ustálí, indukovaný proud v sekundární cívce zanikne.

- 3/ Při přerušení primárního obvodu magnetické pole primární cívky postupně zanikne.
- 4/ V sekundárním obvodu ukáže ampérmetr výchylku → Sekundárním obvodem opět prošel elektrický proud.

b) VZNIK INDUKOVANÉHO NAPĚTÍ A PROUDU ZMĚNOU VELIKOSTI PROUDU V PRIMÁRNÍM OBVODU:



PRIMÁRNÍ OBVOD = Obvod se zdrojem napětí.

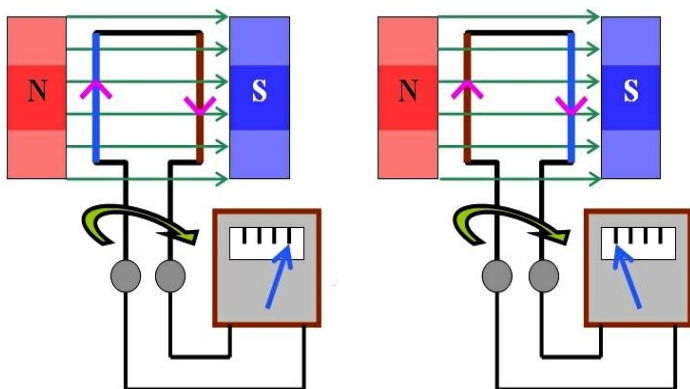
SEKUNDÁRNÍ OBVOD = Obvod s měřicím přístrojem (ampérmetrem).

- 1/ Prostřednictvím reostatu měníme velikost proudu v uzavřeném primárním obvodu.
- 2/ Změnou magnetického pole v primárním obvodu se v sekundárním obvodu indukuje elektrický proud.

POZNÁMKA:

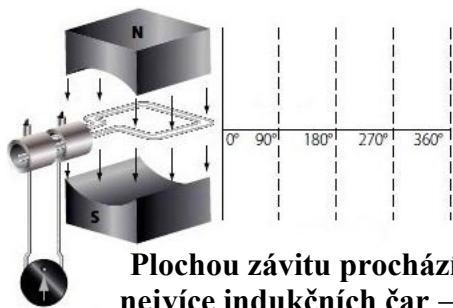
Indukovaný elektrický proud je tím větší, čím rychlejší a větší jsou změny magnetického pole.

☞ VZNIK STŘÍDAVÉHO ELEKTRICKÉHO NAPĚTÍ A PROUDU:

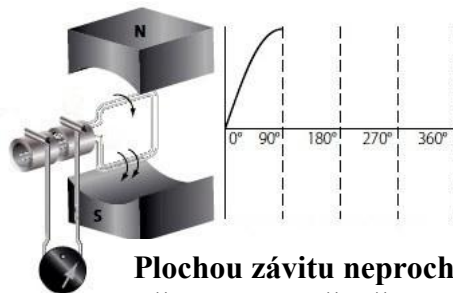


- 1/ Při rovnoměrném otáčení cívky (znázorněna jedním závitem) ve stejnorodém magnetickém poli se na svorkách cívky indukuje elektrické napětí.
- 2/ Při otočení cívky o 180° ukazuje měřidlo výchylku na opačnou stranu → Při indukci vzniklo napětí opačné polarity.
- 3/ Proměnné napětí s harmonickým průběhem se nazývá **STŘÍDAVÉ NAPĚTÍ** a uzavřeným elektrickým obvodem prochází **STŘÍDAVÝ PROUD**, který má rovněž harmonický průběh.

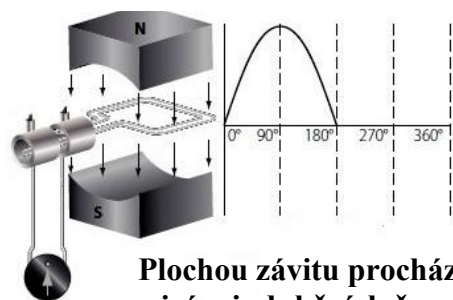
průběhem se nazývá **STŘÍDAVÉ NAPĚTÍ** a uzavřeným elektrickým obvodem prochází **STŘÍDAVÝ PROUD**, který má rovněž harmonický průběh.



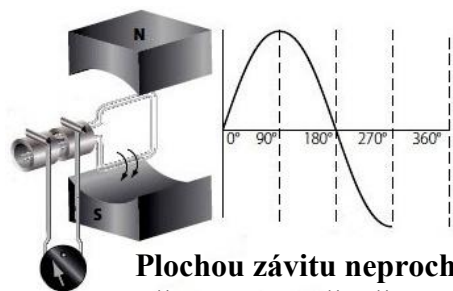
Plochou závitů prochází nejvíce indukčních čar → Maximální magnetický indukční tok → $U = 0 \text{ V}$



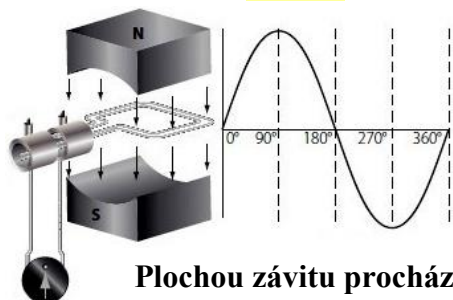
Plochou závitů neprochází žádná indukční čára → $U = U_m (+)$



Plochou závitů prochází nejvíce indukčních čar → Maximální magnetický indukční tok → $U = 0 \text{ V}$



Plochou závitů neprochází žádná indukční čára → $U = U_m (-)$

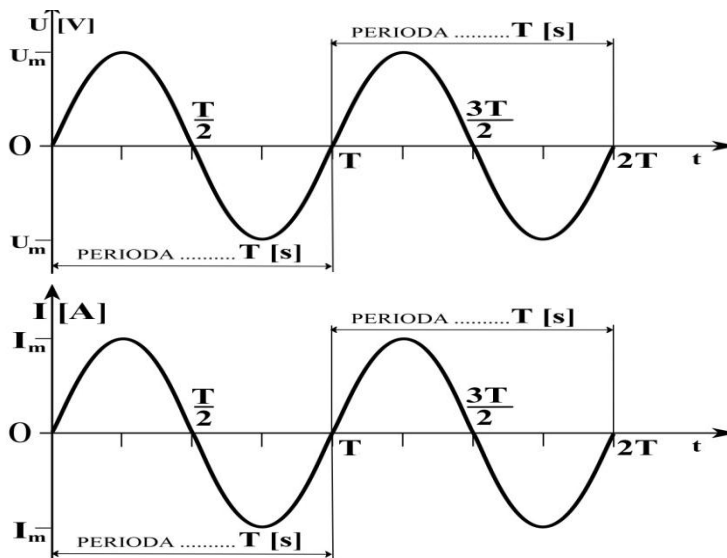


Plochou závitů prochází nejvíce indukčních čar → Maximální magnetický indukční tok → $U = 0 \text{ V}$

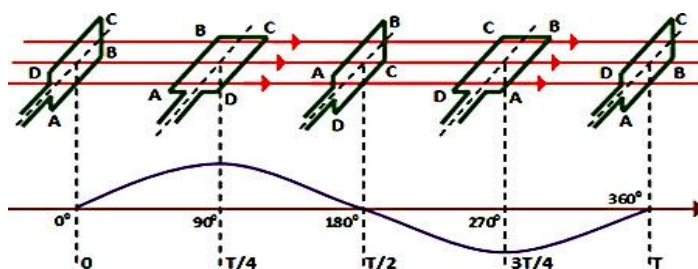
☞ Největší napětí se indukuje, jsou-li závitů cívky kolmo k magnetickým indukčním čarám → $\alpha = 90^\circ, 270^\circ, \dots$

☞ Napětí se neindukuje, jsou-li závitů cívky rovnoběžné s magnetickými indukčními čarami → $\alpha = 0^\circ, \alpha = 180^\circ, \alpha = 360^\circ, \dots$

Časový průběh střídavého napětí a proudu znázorňuje křivka zvaná **SINUSOIDA**:



U_m = Maximální hodnota (amplituda) napětí
I_m = Maximální hodnota (amplituda) proudu
T = PERIODA = Doba, za kterou se průběh střídavého napětí (proudu) opakuje → Proběhne jedna celá otočka cívky.
f = FREKVENCE = KMITOČET střídavého napětí (proudu) → Udává počet period za 1 s.
Jednotkou frekvence je HERTZ [Hz].
$T = \frac{1}{f}$
$f = \frac{1}{T}$



NEŘEŠENÉ ÚLOHY Z UČEBNICE

(Tesař, Jáchim – č. 4, ELEKTROMAGNETICKÉ DĚJE), Str. 79, úlohy 1 – 2:

1) Jaké frekvence elektrického napětí jste dosáhli při pokusu s otáčivou cívkou, jestliže perioda pohybu byla **2 sekundy**?

2) Kolik period za sekundu má střídavé síťové napětí s kmitočtem **50 Hz**?

ŘEŠENÍ ÚLOH:

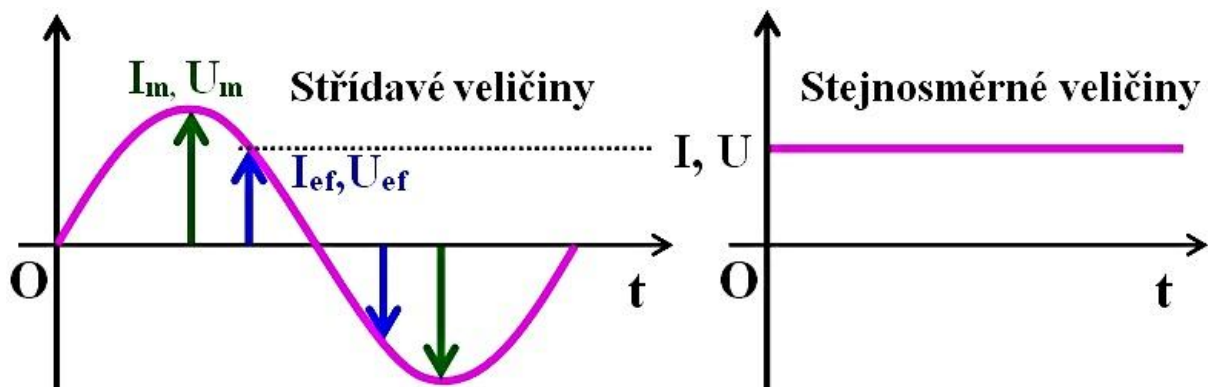
1) $T = 2 \text{ s}$ $f = ?$	$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2} = \mathbf{0,5 \text{ Hz}}$
Odpověď: Při pokusu jsme dosáhli frekvence 0,5 Hz.	

2) $f = 50 \text{ Hz}$	Odpověď: Střídavé síťové napětí má 50 period za sekundu.
------------------------	--

EFEKTIVNÍ HODNOTA STŘÍDAVÉHO NAPĚTÍ A PROUDU

Střídavé napětí v domácí elektrické síti má frekvenci **50 Hz** a kolísá mezi hodnotami **-310 V** až **+310 V**.

V tomto rozmezí má střídavé napětí stejný účinek (efekt) jako **stejnosemné napětí** o hodnotě **230 V** = **EFEKTIVNÍ HODNOTA** střídavého napětí v domácí elektrické síti.



EFEKTIVNÍ HODNOTA STŘÍDAVÉHO NAPĚTÍ

Měří se voltmetrem na střídavé napětí.

$$U_{ef} = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = 0,707 \cdot U_m$$

EFEKTIVNÍ HODNOTA STŘÍDAVÉHO PROUDU

Měří se ampérmetrem na střídavý proud.

$$I_{ef} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0,707 \cdot I_m$$

ÚLOHY K PROCVIČOVÁNÍ

- 1) Urči efektivní hodnotu střídavého proudu, jestliže jeho maximální hodnota je **1,5 A**.
- 2) Na štítku elektrického přístroje je uvedena přípustná efektivní hodnota proudu **0,25 A**.
Jaký maximální proud prochází přístrojem v průběhu jedné periody?
- 3) Urči efektivní hodnotu střídavého napětí, jestliže jeho maximální hodnota je **30 V**.
- 4) Na štítku elektrického přístroje je uvedena přípustná efektivní hodnota napětí **230 V**.
Jaké je maximální napětí na přístroji v průběhu jedné periody?
- 5) Maximální hodnota střídavého proudu je **1,2 A**.
Zjisti efektivní hodnotu proudu, kterou naměří ampérmetr.
- 6) Jaké efektivní napětí naměříme na voltmetru při školním pokusu, když amplituda střídavého napětí je **10 V**?

ŘEŠENÍ ÚLOH:

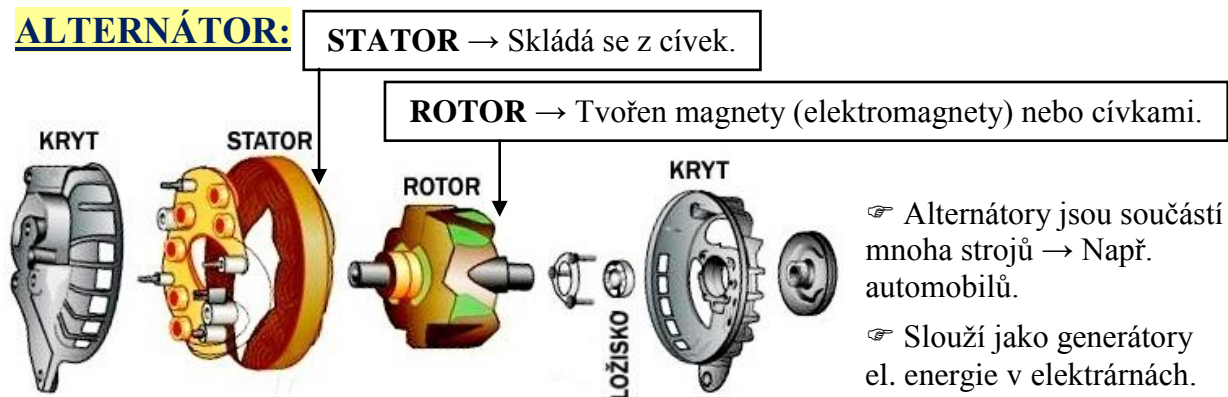
1) $I_m = 1,5 \text{ A}$ $I_{ef} = ?$	$I_{ef} = 0,707 \cdot I_m = 0,707 \cdot 1,5 = \mathbf{1,06 \text{ A}}$
Odpověď: Efektivní hodnota střídavého proudu je 1,06 A.	
2) $I_{ef} = 0,25 \text{ A}$ $I_m = ?$	$I_{ef} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \Rightarrow I_m = \sqrt{2} \cdot I_{ef} = \sqrt{2} \cdot 0,25 = \mathbf{0,35 \text{ A}}$
Odpověď: V průběhu jedné periody prochází přístrojem maximální proud 0,35 A.	
3) $U_m = 30 \text{ V}$ $U_{ef} = ?$	$U_{ef} = 0,707 \cdot U_m = 0,707 \cdot 30 = \mathbf{21,21 \text{ V}}$
Odpověď: Efektivní hodnota střídavého napětí je 21,21 V.	
4) $U_{ef} = 230 \text{ V}$ $U_m = ?$	$U_{ef} = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \Rightarrow U_m = \sqrt{2} \cdot U_{ef} = \sqrt{2} \cdot 230 = \mathbf{325,3 \text{ V}}$
Odpověď: V průběhu jedné periody je na přístroji maximální napětí 325,3 V.	
5) $I_m = 1,2 \text{ A}$ $I_{ef} = ?$	$I_{ef} = 0,707 \cdot I_m = 0,707 \cdot 1,2 = \mathbf{0,85 \text{ A}}$
Odpověď: Efektivní hodnota střídavého proudu je 0,85 A.	
3) $U_m = 10 \text{ V}$ $U_{ef} = ?$	$U_{ef} = 0,707 \cdot U_m = 0,707 \cdot 10 = \mathbf{7,1 \text{ V}}$
Odpověď: Na voltmetru naměříme efektivní napětí 7,1 V.	

ELEKTRICKÝ GENERÁTOR

ELEKTRICKÝ GENERÁTOR = Točivý stroj, který přeměňuje mechanickou energii na energii elektrickou → Vyrábí elektrický proud.

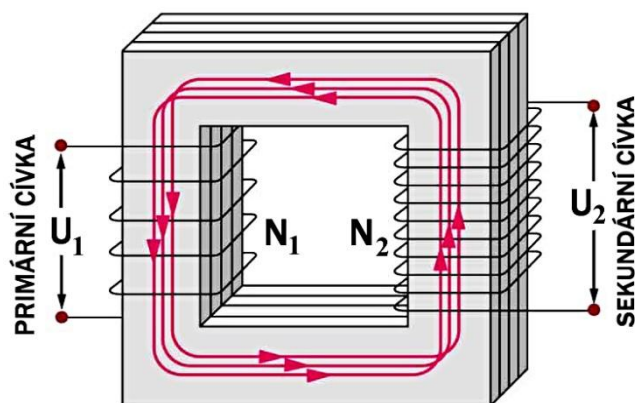
ALTERNÁTOR	DYNAMO
Generátor vyrábějící střídavý elektrický proud.	Generátor vyrábějící stejnosměrný elektrický proud.
V rotoru je vytvářeno magnetické pole, jehož otáčením se ve statoru indukuje elektrické napětí.	K usměrnění střídavého elektrického proudu slouží KOMUTÁTOR.

ALTERNÁTOR:



TRANSFORMÁTOR, TRANSFORMAČNÍ POMĚR

TRANSFORMÁTOR = Zařízení, které umožňuje měnit střídavé napětí U_1 na střídavé napětí U_2 se stejným kmitočtem, avšak jinou efektivní hodnotou.



Běžný transformátor je tvořen dvěma cívkami (primární a sekundární), které jsou umístěny na společném ocelovém jádře z magneticky měkké oceli.

U_1 = Vstupní napětí

U_2 = Výstupní napětí

N_1 = Počet závitů primární cívky

N_2 = Počet závitů sekundární cívky

I_1 = Proud v primární cívce

I_2 = Proud v sekundární cívce

PRIMÁRNÍ CÍVKA → Připojena ke zdroji

SEKUNDÁRNÍ CÍVKA → $U_1 \rightarrow U_2, I_1 \rightarrow I_2$

Střídavý elektrický proud v primární cívce vytváří proměnlivé magnetické pole, které v sekundární cívce vyvolává indukované napětí → Elektromagnetická indukce.

TRANSFORMAČNÍ POMĚR:

Poměr napětí na sekundární a primární cívce transformátoru je roven poměru počtu závitů sekundární a primární cívky.

$$k = \frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1} \Rightarrow U_1 \cdot N_2 = U_2 \cdot N_1$$

Poměr proudů v primárním a sekundárním obvodu transformátoru je opačný než poměr napětí na příslušných cívkách transformátoru.

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{I_1}{I_2} \Rightarrow U_1 \cdot I_1 = U_2 \cdot I_2$$

TRANSFORMACE NAHORU

$$k > 1 \dots U_2 > U_1, N_2 > N_1$$

TRANSFORMACE DOLŮ

$$k < 1 \dots U_2 < U_1, N_2 < N_1$$

ŘEŠENÁ ÚLOHA Z UČEBNICE

(Tesař, Jáchim – č. 4, ELEKTROMAGNETICKÉ DĚJE)

☞ Str. 84, příklad 1:

K sekundárnímu vinutí transformátoru je připojena topná spirála s příkonem **200 W**. Primární obvod transformátoru je jištěn pojistkou **4 A**.
Může být topná spirála trvale zapojena, dochází-li k transformaci dolů z napětí **230 V** na **24 V**?

$$\begin{aligned} P_1 &= 200 \text{ W} \\ U_1 &= 230 \text{ V} \\ U_2 &= 24 \text{ V} \\ I_1 &= ? \end{aligned}$$

$$P_1 = U_1 \cdot I_1 \Rightarrow I_1 = \frac{P_1}{U_1} = \frac{200}{230} = \mathbf{0,87 \text{ A}} < 4 \text{ A}$$

Odpověď: Primární proud je přibližně 0,87 A, proto se pojistka nepřepálí a topná spirála může být trvale zapojena.

ÚLOHY K PROCVIČOVÁNÍ

- 1) Kolik závitů musí mít sekundární cívka, chceme-li transformovat střídavé napětí **220 V** na napětí **11 V** a primární cívka má **1 200** závitů?
- 2) Napětí na primární cívce transformátoru je **220 V**. Primární cívka má **990** závitů. Kolik závitů musí mít sekundární cívka, aby na ní bylo napětí **24 V**?
- 3) Transformátor pro elektrický zvonek má na primárním vinutí **660** závitů a napětí **220 V**. Určete počet závitů sekundárního vinutí, je-li výstupní napětí **5 V**.
- 4) Určete primární proud transformátoru, prochází-li sekundárním obvodem proud **12 A**, vstupní napětí je **360 V** a výstupní napětí je **300 V**.
- 5) Střídavé napětí **120 V** se má transformovat na napětí **2 400 V**. Primární vinutí má **75** závitů. Kolik závitů má sekundární vinutí?

ŘEŠENÍ ÚLOH:

1) $U_1 = 220 \text{ V}$ $U_2 = 11 \text{ V}$ $N_1 = 1\,200 \text{ z}$ $N_2 = ?$	$U_1 \cdot N_2 = U_2 \cdot N_1$ $220 \cdot N_2 = 11 \cdot 1\,200$ $220 \cdot N_2 = 13\,200 \quad /: 220$ $N_2 = \mathbf{60 \text{ z}}$
Odpověď: Sekundární cívka musí mít 60 závitů.	
2) $U_1 = 220 \text{ V}$ $U_2 = 24 \text{ V}$ $N_1 = 990 \text{ z}$ $N_2 = ?$	$U_1 \cdot N_2 = U_2 \cdot N_1$ $220 \cdot N_2 = 24 \cdot 990$ $220 \cdot N_2 = 23\,760 \quad /: 220$ $N_2 = \mathbf{108 \text{ z}}$
Odpověď: Sekundární cívka musí mít 108 závitů.	
3) $U_1 = 220 \text{ V}$ $U_2 = 5 \text{ V}$ $N_1 = 660 \text{ z}$ $N_2 = ?$	$U_1 \cdot N_2 = U_2 \cdot N_1$ $220 \cdot N_2 = 5 \cdot 660$ $220 \cdot N_2 = 3\,300 \quad /: 220$ $N_2 = \mathbf{15 \text{ z}}$
Odpověď: Sekundární cívka má 15 závitů.	
4) $U_1 = 360 \text{ V}$ $U_2 = 300 \text{ V}$ $I_2 = 12 \text{ A}$ $I_1 = ?$	$U_1 \cdot I_1 = U_2 \cdot I_2$ $360 \cdot I_1 = 300 \cdot 12$ $360 \cdot I_1 = 3\,600 \quad /: 360$ $I_1 = \mathbf{10 \text{ A}}$
Odpověď: Primární proud transformátoru je 10 A.	
5) $U_1 = 120 \text{ V}$ $U_2 = 2\,400 \text{ V}$ $N_1 = 75 \text{ z}$ $N_2 = ?$	$U_1 \cdot N_2 = U_2 \cdot N_1$ $120 \cdot N_2 = 2\,400 \cdot 75$ $220 \cdot N_2 = 180\,000 \quad /: 120$ $N_2 = \mathbf{1\,500 \text{ z}}$
Odpověď: Sekundární vinutí má 1 500 závitů.	