

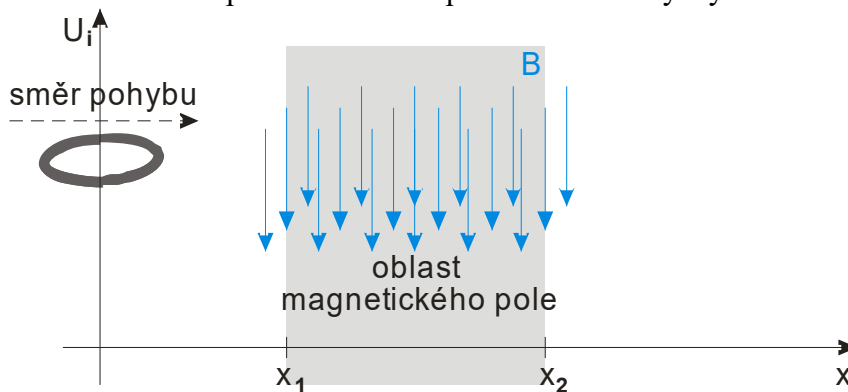
## 4.5.9 Vznik střídavého proudu

**Předpoklady:** 4508

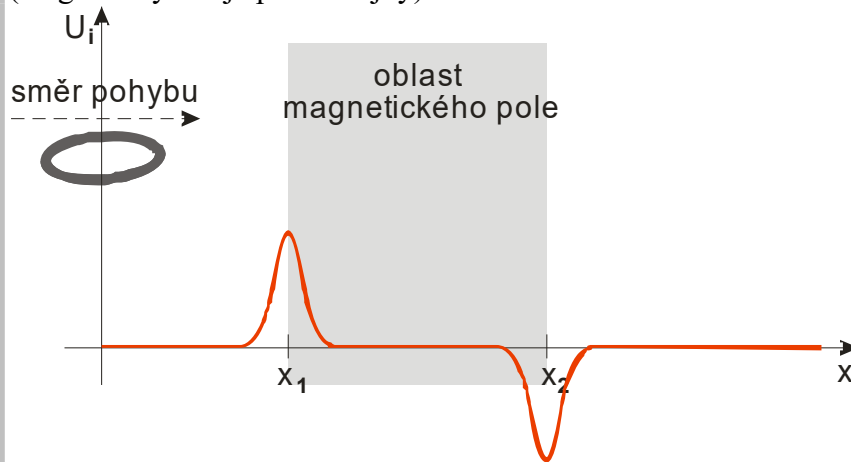
Minulá hodina: Pokud se v uzavřeném závitě mění magnetický indukční tok, indukuje se v něm

elektrické napětí  $U_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ .

**Př. 1:** Vodorovně orientovaná smyčka se pohybuje rovnoměrně vodorovným směrem tak, že za okamžik dosáhne ohraničené homogenní magnetické pole. Zakresli do grafu závislost indukovaného napětí na okamžité poloze středu smyčky.

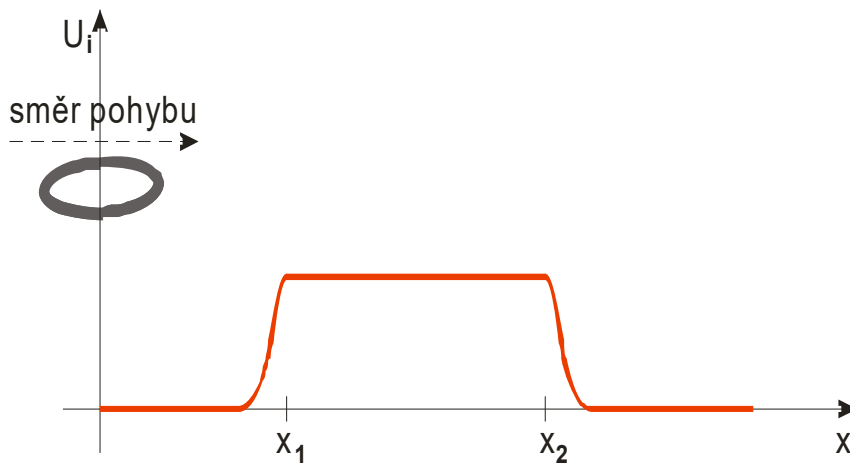


Napětí se ve smyčce indukuje pouze tehdy, když se mění magnetický indukční tok, který přes smyčku prochází  $\Rightarrow$  napětí se bude indukovat pouze během doby, kdy se smyčka zanořuje do a vynořuje z magnetického pole (zřejmě z obrácenými polaritami). Během doby, kdy se smyčka pohybuje celá v magnetickém poli, se v ní žádné napětí indukovat nebude (magnetický tok je pořád stejný).



**Pedagogická poznámka:** Opět se objeví hodně grafů, které mají pouze jeden široký vrchol v celé oblasti magnetického pole.

**Př. 2:** Jaké by muselo být magnetické pole v předchozím příkladu, aby závislost indukovaného napětí zachycoval následující graf.



Protože mezi body  $x_1$  a  $x_2$  se v závitě stále indukuje napětí, musí se v této oblasti měnit indukční tok závitě  $\Rightarrow$  musí růst velikost magnetického pole. Za bodem  $x_2$  už se žádné napětí neindukuje  $\Rightarrow$  magnetické pole v této oblasti už se nemění a má stále hodnotu jakou mělo v bodě  $x_2$  (v závitě se negenerovalo napětí opačné polarity, které by odpovídalo poklesu indukčního toku závitě).

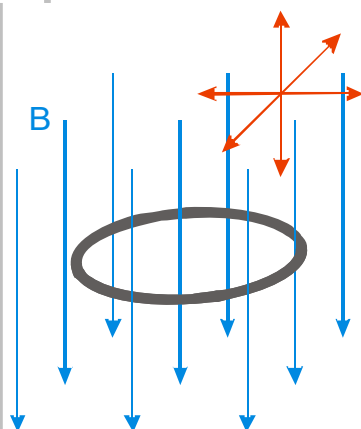
**Př. 3:** V prostorově neohrazeném homogenním magnetickém poli se svislými indukčními čarami je umístěna vodorovná vodivá smyčka.

- Jakým způsobem můžeme smyčkou v poli pohybovat, aby v ní nevznikal elektrický proud?
- Jakým způsobem musíme smyčkou v poli pohybovat, aby v ní vznikl elektrický proud?

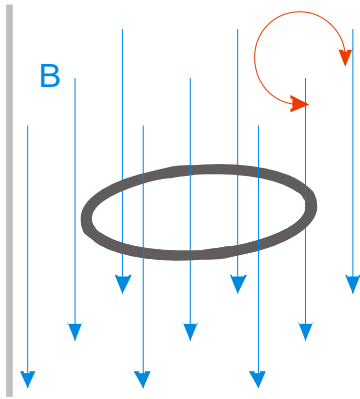
Ve vodivé smyčce se bude indukovat elektrický proud, pokud se v ní bude v čase měnit magnetický indukční tok („počet indukčních čar, které smyčkou procházejí“).

a) Můžeme smyčkou pohybovat libovolným způsobem, při kterém se nebude měnit počet indukčních čar, které přes ní procházejí  $\Rightarrow$  můžeme se smyčkou pohybovat:

- vodorovně v libovolném směru,
- svisle,
- šikmo v libovolném směru, pokud se nezmění vodorovná orientace smyčky.



b) Musíme smyčkou pohybovat tak, aby se změnil počet indukčních čar, které přes ni procházejí  $\Rightarrow$  musíme změnit její vodorovnou orientaci  $\Rightarrow$  stačí s ní libovolně otočit.



Vztah pro indukované napětí  $U_i = -\frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$ . Tímto způsobem vyrábíme v elektrárnách elektřinu.

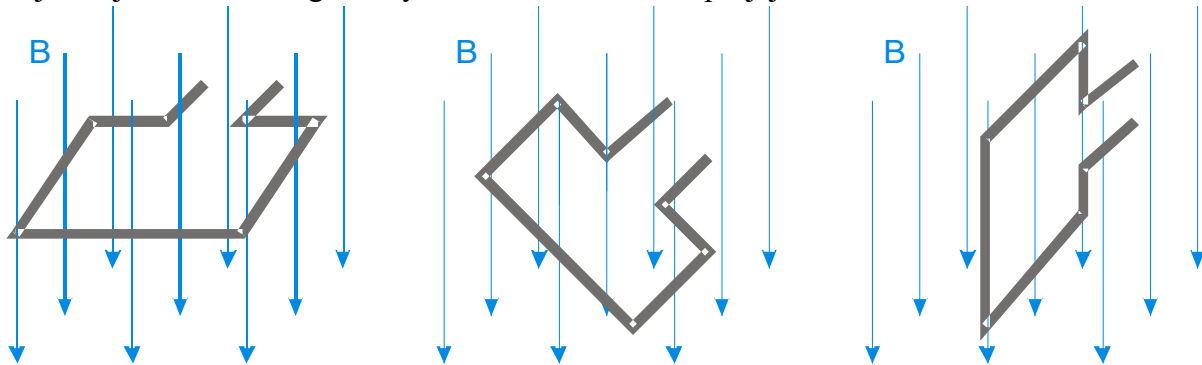
Pokud chceme vyrobit hodně elektřiny, musíme zajistit velké změny magnetického toku v cívkách. Jaké jsou možnosti?

- Velmi silné magnety
- rychlý pohyb těchto magnetů v okolí cívky.

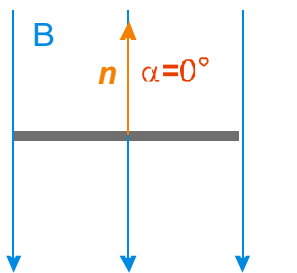
**Problém:** Zandavání a vyndavání magnetu z cívky není technicky zrovna jednoduchá záležitost, musíme neustále zrychlovat a zpomalovat magnet.

**Řešení (viz. předchozí příklad):** Změnu magnetického indukčního toku v závitě cívky zajistíme tím, že s ní budeme otáčet (strojů, které vytvářejí otáčivý pohyb je řada).

Sledujeme, jak se mění magnetický indukční tok závitem při jejím otáčení.

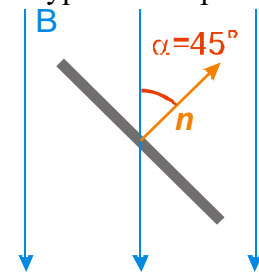


Jak vypadá čelní pohled?



největší hodnota  $\Phi$

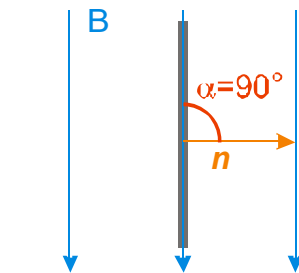
$$\Phi = BS \cos 0^\circ = BS \cdot 1 = BS$$



střední hodnota  $\Phi$

Zkusíme vzorec:  $\Phi = BS \cos \alpha$

$$\Phi = BS \cos 45^\circ = \frac{BS \cdot \sqrt{2}}{2}$$



nulová hodnota  $\Phi$

$$\Phi = BS \cos 90^\circ = BS \cdot 0 = 0$$

Pro magnetický indukční tok závitem, který se otáčí v homogenním magnetickém poli, tedy platí  $\Phi = BS \cos \alpha$ , kde  $\alpha$  je okamžitá hodnota úhlu, který svírá normálový vektor roviny závitu s indukčními čarami magnetického pole.

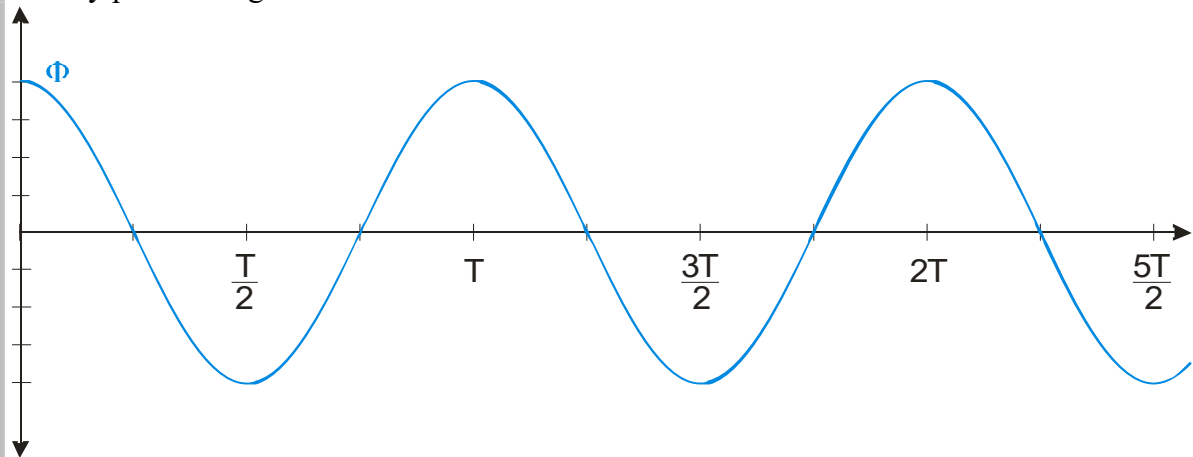
Závit se točí  $\Rightarrow \alpha$  se mění.

Pokud se závit točí rovnoměrně s konstantní úhlovou rychlostí  $\omega$  platí:

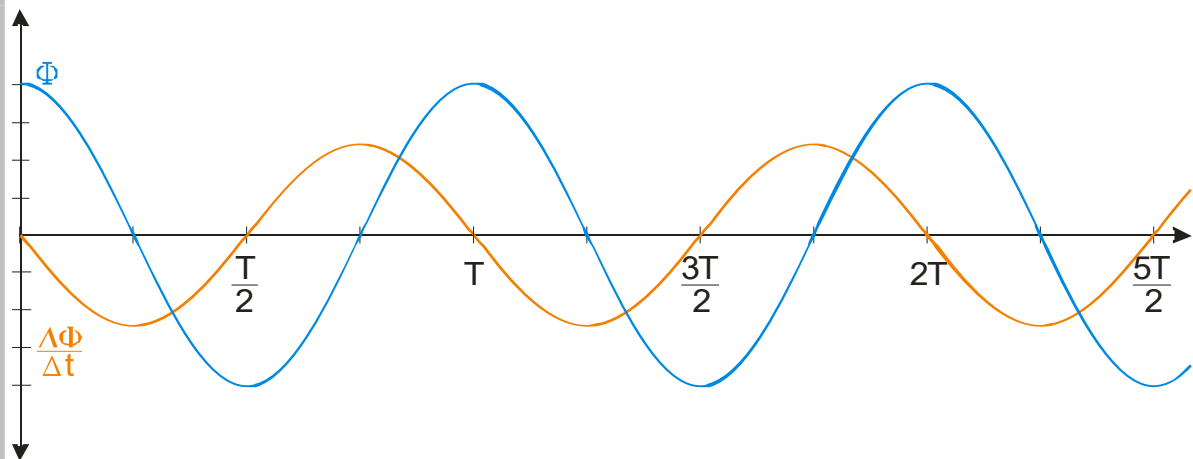
$\alpha = \omega \cdot t \Rightarrow \Phi = BS \cos(\omega t) \Rightarrow$  hodnota  $\Phi$  se neustále mění, stejně jako se mění hodnoty funkce  $\cos(\omega t)$ , součin  $BS$  pak udává pouze výšku této kosinusovky (protože se neustále mění velikost  $\Phi$ , bude se v závitě neustále indukovat napětí).

**Př. 4:** Magnetický indukční tok v otáčejícím se závitě je dán vztahem  $\Phi = BS \cos(\omega t)$ . Nakresli graf závislosti  $\Phi$  na čase. Do grafu poté dokresli křivku, která udává závislost  $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$  na čase, a pak křivku udávající časovou závislost indukovaného napětí  $U_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ .

Časový průběh magnetického indukčního toku cívky.

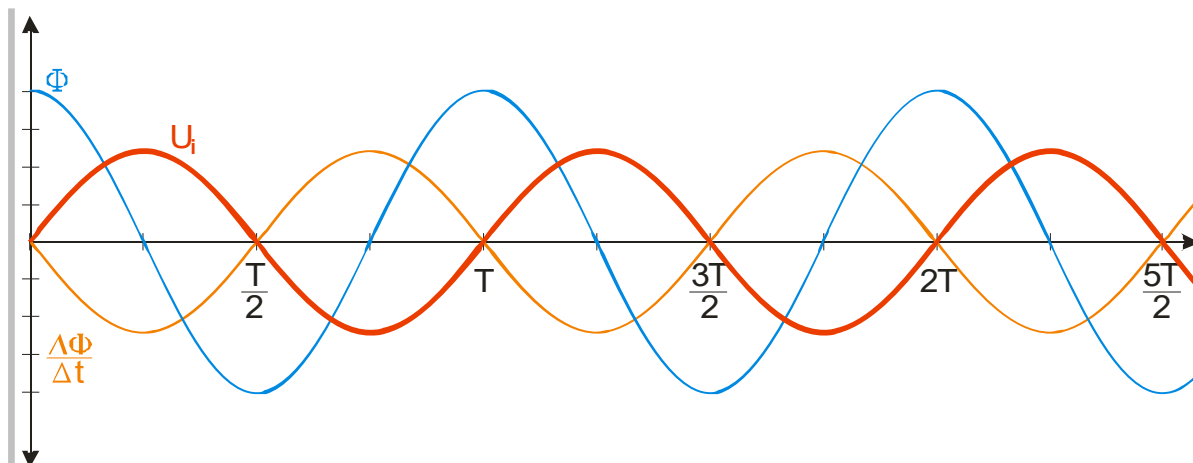


Křivka udávající časovou závislost  $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$  je dána jako změna modré křivky v čase.



Například mezi časem 0 a  $\frac{T}{4}$  hodnoty  $\Phi$  nejdříve pomalu potom čím dále rychleji klesají a proto jsou hodnoty  $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$  čím dál menší záporná čísla (záporná čísla s čím dál větší absolutní hodnotou). Podobně získáme graf pro další intervaly. Zdá se, že grafem funkce  $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$  je obrácená sinusoida.

Křivka udávající časovou závislost indukovaného napětí  $U_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ .



Naindukované napětí se liší od časové změny indukčního toku pouze znaménkem, stačí křivku převrátit podle osy  $t$ .  
Křivka má tvar sinusoidy.

**Pedagogická poznámka:** Předchozí příklad předpokládá, že studenti v první ročníku zvládli kreslení grafické derivace jednoduchých křivek. Jinak řešení příklad nekontrolujeme najednou, ale po jednotlivých křivkách, studenti je samozřejmě kreslí do jednoho obrázku.

Podobně můžeme provést výpočet indukovaného napětí.

$$\Phi = BS \cos(\omega t)$$

$$\frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = -BS \omega \sin(\omega t) \quad (\text{zatím nevíme, jak se to počítá. Musíme počkat do čtvrtého ročníku})$$

$U_i = BS \omega \sin(\omega t)$  Funkce, která udává okamžitou velikost napětí indukovaného v otáčejícím se závitě.

Hodnota tohoto napětí se neustále mění, takové napětí se nazývá **střídavé napětí**. A přesně tento druh napětí máme v zásuvkách.

Jedna perioda síťového napětí se rovná padesátině sekundy, frekvence je tedy 50 Hz.

**Př. 5:** Rotory generátorů střídavého proudu v elektrárnách (alternátorů) se vždy otáčejí s konstantní úhlovou rychlostí 3000 otáček za minutu. Vysvětli.

Frekvence indukovaného napětí se rovná frekvenci otáčení cívky (nebo magnetického pole v cívkách), ve které se napětí indukuje  $\Rightarrow$  rotor alternátoru by se měl otáčet s frekvencí 50 Hz.

$$\text{Ověříme: } \omega = \frac{3000 \text{ ot}}{1 \text{ min}} = \frac{3000 \text{ ot}}{60 \text{ s}} = \frac{50 \text{ ot}}{1 \text{ s}} \Rightarrow \text{rotor se otočí 50x za sekundu tedy s}$$

frekvencí 50 Hz.

Úhlová rychlost otáčení generátorů v elektrárnách je dána frekvencí sítě 50 Hz a musí být 3000 otáček za minutu.

**Shrnutí:** Elektrická energie v elektrárnách se vyrábí otáčením cívek v magnetickém poli (častěji otáčením magnetů v dutinách cívek), časový průběh naindukovaného napětí má tvar sinusoidy a říkáme mu střídavé.