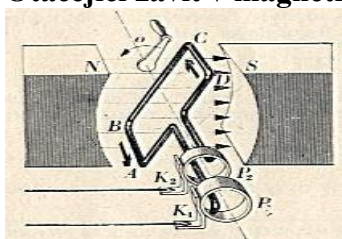


## 4. Střídavý proud

### 4.1 Vznik střídavého proudu

Doteď jsme se zabývali pouze proudem, který obvodem prochází stále stejným směrem (stejnosměrný proud). V praxi se ukázalo, že tento proud je značně nevýhodný. Zdrojem napětí může být také závit nebo častěji cívka otáčející se v magnetickém poli.

#### Otáčející závit v magnetickém poli

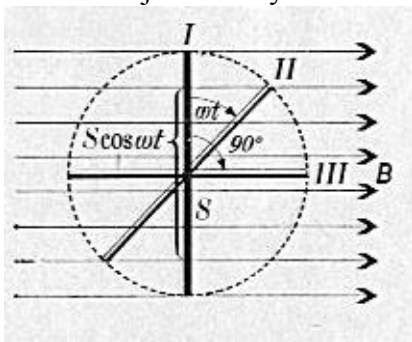


Při pohybu vodiče v magnetickém poli vzniká na jeho hranách indukované elektromotorické napětí, jehož směr i velikost se mění podle pohybu vodiče – vzniká **střídavé napětí**.

Při otáčení kolem osy o úhlovou rychlost  $\omega$ , protíná plocha ABCD indukční čáry na svorkách se indukuje napětí. Během otáčení napětí mění svou velikost i směr.

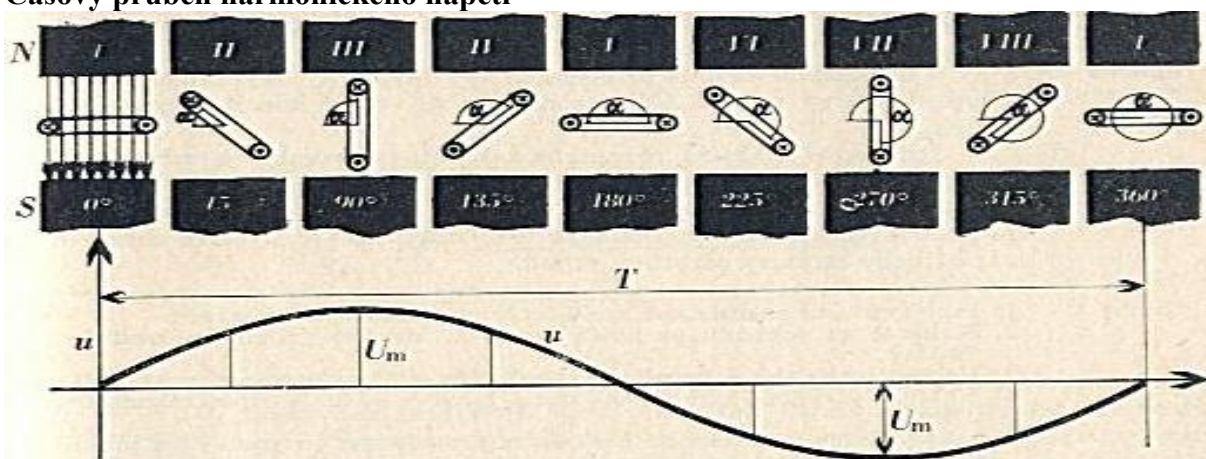
Velikost napětí závisí na změně magnetického indukčního toku.

Při otáčení jsou největší změny v polohách, v nichž se vodič pohybuje kolmo k indukčním čarám a nejmenší když se vodič pohybuje rovnoběžně s indukčními čarami.



V bodě I. je magnetický indukční tok největší:  $\Phi = B \cdot S$  ( $U_i = 0$ ). V bodě II. je  $\Phi = B \cdot S \cdot \cos \omega t$ . V bodě III. je  $\Phi = 0$  ( $U_m$ ). Dalším otáčením roste  $\Phi$ , ale má zápornou hodnotu,  $U_i$  klesá až na nulu, pak klesá k  $U_m$  a opět roste k nule.

#### Časový průběh harmonického napětí



Okamžitá hodnota napětí  $u$  je určena vztahem:  $u = U_m \sin \omega \cdot t$ , kde  $U_m$  - je amplituda (největší hodnota) indukovaného napětí,  $\omega$  - je úhlová rychlost,  $u$  - okamžitá hodnota indukovaného napětí.

Mění se polarita napětí a díky tomu se periodicky mění i proud v připojeném obvodu. Vše má harmonický průběh.

Perioda  $T$  - doba za kterou proběhne střídavé napětí všechny možné hodnoty jedenkrát.

Kmitočet (frekvence) je to počet period za jednu sekundu a vypočítáme ji takto:  $f = \frac{1}{T}$

V energetice se využívá střídavé napětí nízké frekvence 50 Hz.

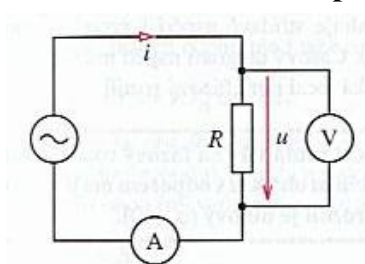
### **Střídavý proud**

V uzavřeném obvodu připojeném ke svorkám  $K_1$ ,  $K_2$  prochází střídavý sinusový proud. Volné elektrony ve vedení konají harmonický pohyb.

### **Střídavá veličina**

Střídavou veličinou rozumíme takovou periodicky se měnící veličinu, při jejímž grafickém znázornění mají plochy ohraničené časovou osou a grafem veličiny nad časovou osou a pod ní stejný obsah.

## **4.2 Obvod střídavého proudu s odporem**



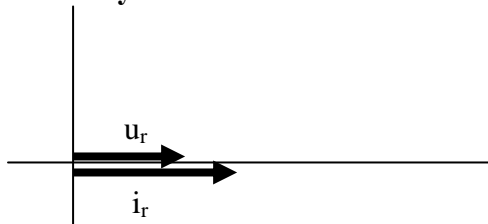
Nejjednodušší střídavý obvod je tvořen rezistorem, který má jen odpor. Obvod připojíme ke střídavému napětí, prochází obvodem střídavý proud.

Jaká je hodnota okamžitého proudu  $i$ ?

$$R = \frac{u}{i} = \frac{U_m \sin \omega t}{I_m \sin \omega t} = \frac{U_m}{I_m}$$

Ukazuje se, že pro střídavý proud s odporem platí Ohmův zákon stejně jako pro obvod se stejnosměrným proudem. Amplituda střídavého proudu nezávisí na jeho frekvenci.

Odpor  $R$  rezistoru v obvodu střídavého proudu je stejný jako v obvodu stejnosměrného proudu. **Nazývá se rezistence.**



V obvodu s rezistancí dosahuje střídavé napětí i proud hodnoty rovné amplitudě ve stejném okamžiku. **Nevzniká tedy fázový rozdíl.**

## **4.3 Měření střídavého proudu a napětí**

Užíváme přístrojů, kde výchylka nezávisí na směru proudu. Ručka by měla v rytmu kmitočtu kmitat kolem nulové polohy, avšak následkem setrvačnosti nestačí sledovat tak rychlé změny a zůstane proto na nule.

Pro měření střídavého proudu a napětí je nutné použít měřič, jehož výchylka na směru proudu nezávisí. Používáme elektromagnetické přístroje. Výchylka ručky závisí v každém okamžiku na druhé mocnině velikosti proudu a nezávisí na jeho směru. Přístroje ukazují hodnotu mezi 0 a maximální a označujeme jí jako efektivní.

Efektivní napětí a efektivní proud střídavého proudu jsou hodnoty takového stejnosměrného proudu, který má v obvodu jen s odporem  $R$  stejný výkon jako proud střídavý.

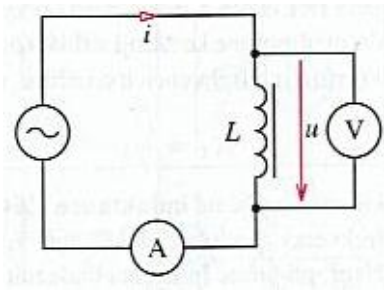
Pro efektivní proud:  $I_{ef} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0,707 I_m$     Pro efektivní napětí:  $U_{ef} = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = 0,707 U_m$

V síti je efektivní napětí  $U_{ef} = 220 \text{ V}$ , skutečné napětí má maximální hodnotu  $U_m = 311 \text{ V}$ .  
Nebo máme  $U_{ef} = 380 \text{ V}$ , skutečné napětí má maximální hodnotu  $U_m = 537 \text{ V}$ .

Voltmetr a ampérmetr vždy ukazují efektivní hodnoty proudu a napětí.

## 4.4 Obvod střídavého proudu s vlastní indukčností (cívkou)

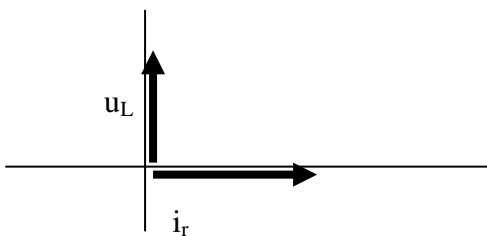
### a) ideální cívka



Dalším jednoduchým střídavým obvodem je obvod s ideální cívkou, která má jen indukčnost  $L$ . Střídavý proud procházející vinutím cívky vytváří měnící se magnetické pole. To způsobí, že se v cívce indukuje napětí, které podle Lenzova zákona má opačnou polaritu než zdroj napětí. Následkem toho proud v obvodu nabývá největší hodnoty později než napětí. Výsledkem toho je, že napětí předbíhá proud. Proud dosáhne své amplitudy teprve tehdy, když indukované napětí klesne na nulu.

**Odpor cívky v obvodu se střídavým proudem je větší než v obvodu se stejnosměrným proudem.**

**Posunutí fázoru:**



Fázor napětí je vzhledem k fázoru proudu posunut o úhel  $\frac{1}{2}\pi$  v kladném směru, tzn. proti směru pohybu hodinových ručiček.

Všimněte si, že cívka střídavého proudu zmenšuje jeho amplitudu (proudu) a působí tedy obdobně jako odpor  $R$ . Poněvadž tento účinek má původ ve vlastní indukci, nazývá se veličina, která ho vyjadřuje, se nazývá **induktance** a

označujeme ji  $X_L$  a vztah je:  $X_L = \omega \cdot L$

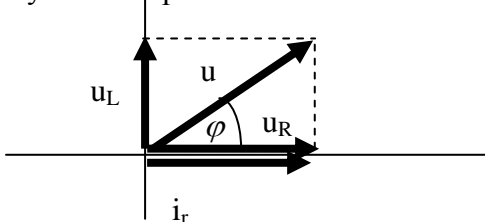
Uvědomte si, že cívka s v obvodu se střídavým proudem chová jako odpor, ale nedochází k přeměně energie střídavého proudu v teplo (jako u rezistoru), nýbrž jen vzniká a zaniká magnetické pole. Avšak jednotkou bude jeden ohm.

### Využití v praxi

V technické praxi se k dosažení velkých induktancí používají tlumivky. Tlumivky pro střídavé proudy nízké frekvence mají mnoho závitů izolovaného drátu navinutého na ocelovém uzavřeném jádře. Tlumivky pro vysokofrekvenční střídavé proudy mají feritové jádro v obvodech pro velmi vysoké frekvence postačuje několik volně navinutých závitů drátu.

### b) reálná cívka (RL obvod)

Výsledné napětí:



**Výsledná hodnota napětí:**

$$u = \sqrt{u_L^2 + u_R^2} = \sqrt{(R \cdot i)^2 + (L \cdot \omega \cdot i)^2} = i \cdot \sqrt{R^2 + L^2 \cdot \omega^2}$$

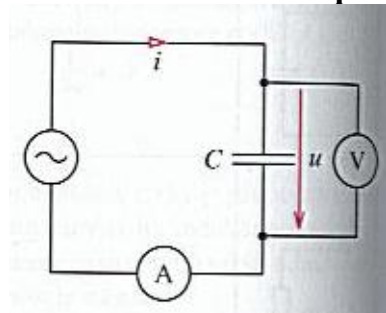
**Posunutí:**

Reálná cívka má vedle indukčnosti  $L$  také určitý odpor  $R$ . To způsobuje, že fázové posunutí střídavého proudu a napětí v obvodu s cívkou není  $\frac{\pi}{2}$ , ale je vždy menší.

Reálnou cívku považujeme za obvod RL v sérii, jehož názorový diagram vidíte na obrázku. .

Z obrázku plyne, že  $\operatorname{tg} \varphi = \frac{L\omega i}{Ri} = \frac{\omega \cdot L}{R}$ .

#### 4.5 Obvod střídavého proudu s kapacitou



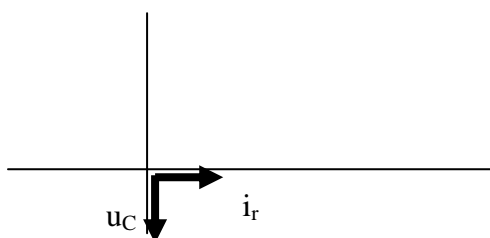
Opačné účinky než cívka má kondenzátor. Ten se při připojení ke zdroji střídavého napětí, periodicky nabíjí a vybíjí. Mezi deskami kondenzátoru neprochází proud. Mění se jen intenzita elektrického pole a dielektrikum se střídavě polarizuje.

##### Jak je to s nabíjením a vybíjením?

Nabíjecí proud kondenzátoru je největší v okamžiku, když je kondenzátor nenabitý, tj. když napětí mezi deskami kondenzátoru je nulové.

Naopak v okamžiku, kdy je kondenzátor nabit na max. napětí

je proud v obvodu nulový.



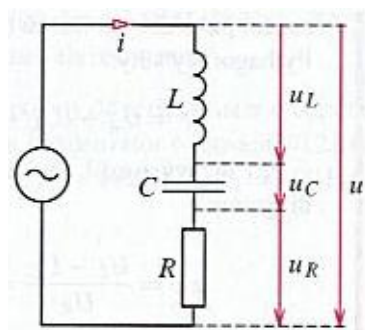
##### Posun napětí:

Experimentálně bylo dokázáno, že křivka napětí zpožďuje o  $\varphi = -\frac{1}{2}\pi$ .

Zavedeme pojem **kapacitance**. Jednotkou je ohm. Při větší kapacitě C kondenzátoru je kapacitance menší a platí to i obráceně. V kondenzátoru dochází pouze k periodickému vzniku a zániku elektrického pole mezi jeho deskami (kondenzátor se neustále nabíjí a vybíjí).

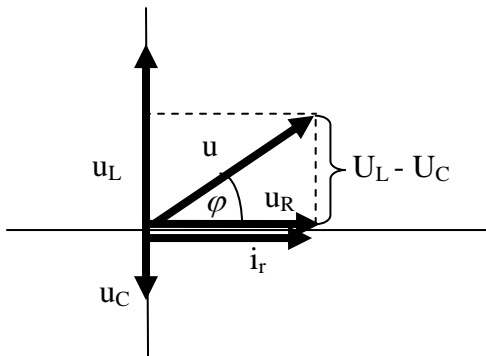
Výpočet kapacitance:  $X_c = \frac{1}{\omega C}$

#### 4.6 Složený obvod střídavého proudu (RLC)



Obvody střídavého proudu mohou mít současně odpor, indukčnost i kapacitu tedy s rezistencí, induktancí a kapacitancí a označujeme to jako RLC obvod. Při sériovém spojení prochází všemi prvky obvodu stejný proud i, napětí na jednotlivých prvcích se liší velikostí i vzájemnou fází.

### Určení výsledného napětí



$$u = \sqrt{u_R^2 + (u_L - u_C)^2} = \sqrt{(R \cdot i)^2 + \left(L \cdot \omega \cdot i - \frac{i}{\omega \cdot C}\right)^2} = i \cdot \sqrt{(R)^2 + \left(L \cdot \omega - \frac{1}{\omega \cdot C}\right)^2} = i \cdot Z$$

Obvod charakterizuje jediný parametr, který se nazývá impedance (Z) a určíme jí:

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega \cdot L - \frac{1}{\omega \cdot C}\right)^2}. \text{ Impedanci měříme v ohmech.}$$

### Určení úhlu posunutí

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{u_L - u_C}{u_R} = \frac{L \cdot \omega \cdot i - \frac{i}{\omega \cdot C}}{i \cdot R} = \frac{L \cdot \omega - \frac{1}{\omega \cdot C}}{R}$$

### Speciální případ

Speciální případ nastane u obvodu RLC v sérii, pokud je při dané frekvenci indukance obvodu stejně veliká jako jeho kapacitance. Pak ze vztahu pro impedanci vyplývá, že  $Z=R$ . Fázový rozdíl napětí a proudu je v tomto případě nulový a obvod má vlastnosti rezistence. Proud v obvodu dosahuje největší hodnoty. Tento případ označujeme jako rezonanci střídavého obvodu a příslušnou rezonanční frekvenci  $f_0$  určíme z podmínky:

$$\omega_0 \cdot L = \frac{1}{\omega_0 \cdot C}, \text{ odtud}$$

**Thompsonův vztah**

$$f_0 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}.$$

## 4.7 Výkon střídavého proudu

Určíme okamžitý výkon:

$$\begin{aligned} p &= u \cdot i = U_m \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot I_m \cdot \sin(\omega \cdot t - \varphi) = \frac{1}{2} \cdot U_m \cdot I_m \cdot [\cos \varphi - \cos(2 \cdot \omega \cdot t - \varphi)] = \\ &= \frac{1}{2} \cdot U_m \cdot I_m \cdot \cos \varphi - \frac{1}{2} \cdot U_m \cdot I_m \cdot \cos(2 \cdot \omega \cdot t - \varphi) \end{aligned}$$

Průměrný výkon:

$$P = U_m \cdot I_m \cdot \frac{\cos \varphi}{2} = U_{ef} \cdot I_{ef} \cdot \cos \varphi$$

**Můžeme dojít k dalším veličinám:**

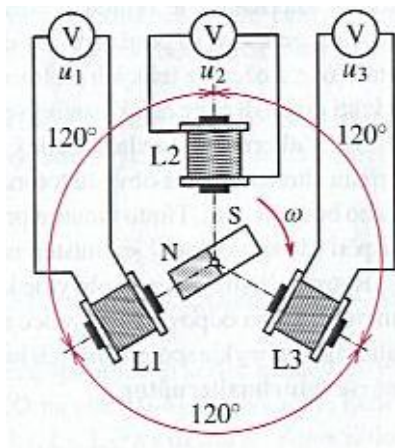
$\cos \varphi$  - účinník

$U_{ef} \cdot I_{ef}$  - zdánlivý výkon

$U_{ef} \cdot I_{ef} \cdot \cos \varphi$  - činný výkon

$U_{ef} \cdot I_{ef} \cdot [\cos(2 \cdot \omega \cdot t - \varphi)]$  - jalový výkon

## 4.8 Trojfázový proud



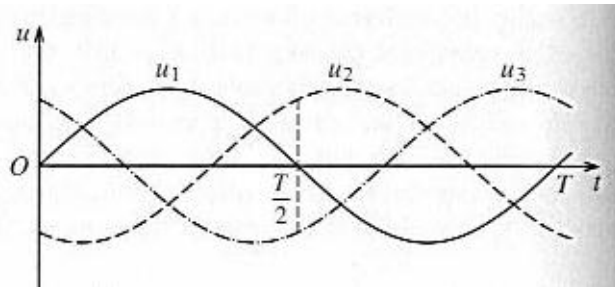
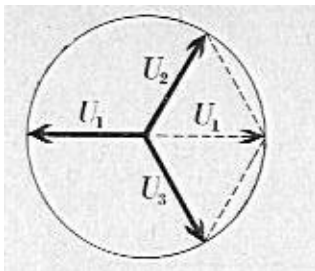
Soustava několika střídavých proudů fázově posunutých se nazývá vícefázový proud. V praxi se používá třífázový proud. Vytvoříme ho tak, že použijeme tři stejné cívky posunuté o  $120^\circ$ . Uprostřed mezi cívkami se otáčí magnet a v cívkách se indukují střídavá napětí. Indukovaná napětí mají stejnou amplitudu  $U_m$  a jsou navzájem posunuta o

$\frac{1}{3}$  periody.

Platí pro ně rovnice:

$$u_1 = U_m \sin \omega t,$$

$$u_2 = U_m \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right), \quad u_3 = U_m \sin\left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right).$$

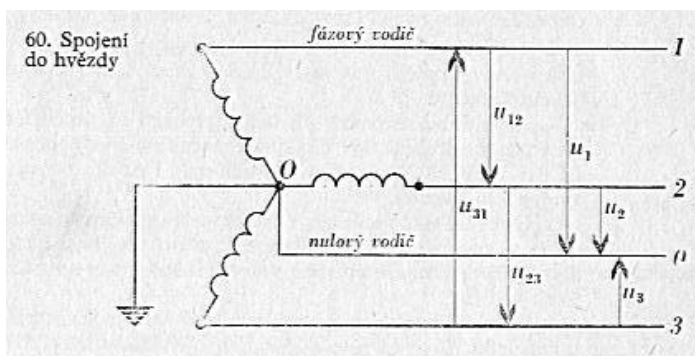


Z obrázku plyne, že v kterékoliv okamžiku je součet okamžitých hodnot napětí roven nule.

$$u_1 + u_2 + u_3 = 0$$

v každém okamžiku je součet okamžitých hodnot napětí roven nule.

Vhodným spojením lze třífázový proud odebírat méně než 6 vodiči. Lze to provést dvěma základními způsoby:

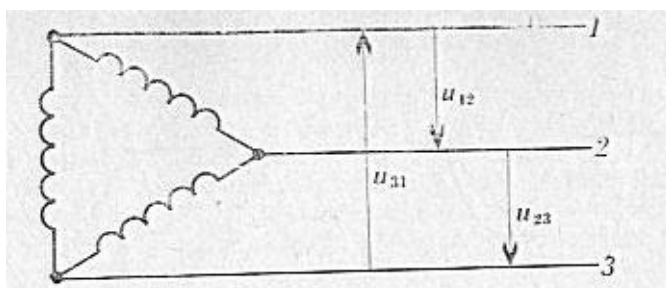


### a) spojení do hvězdy

Při spojení do hvězdy jsou jednotlivé části spotřebiče připojeny k napětí fázovému (230V). Vodiče jsou připojeny fázově, je-li uzel spojen s nulovacím vodičem (O). Na toto napětí se zapínají žárovky či různé spotřebiče. Mezi kterýmikoliv dvěma fázovými vodiči máme napětí **sdužené**. Amplituda sduženého napětí je  $\sqrt{3}$  krát větší než

hodnota napětí fázového. Ve spotřebitelské síti o napětí fázovém platí  $U = \sqrt{3} \cdot 230 = 400 \text{ V}$ .

Je tedy možné použít při tomto zapojení tři napětí fázová 230 V a tři napětí sdužená 400 V. Proto spotřebitelskou síť označujeme 3 x 400 V/230 V.



### b) spojení do trojúhelníku

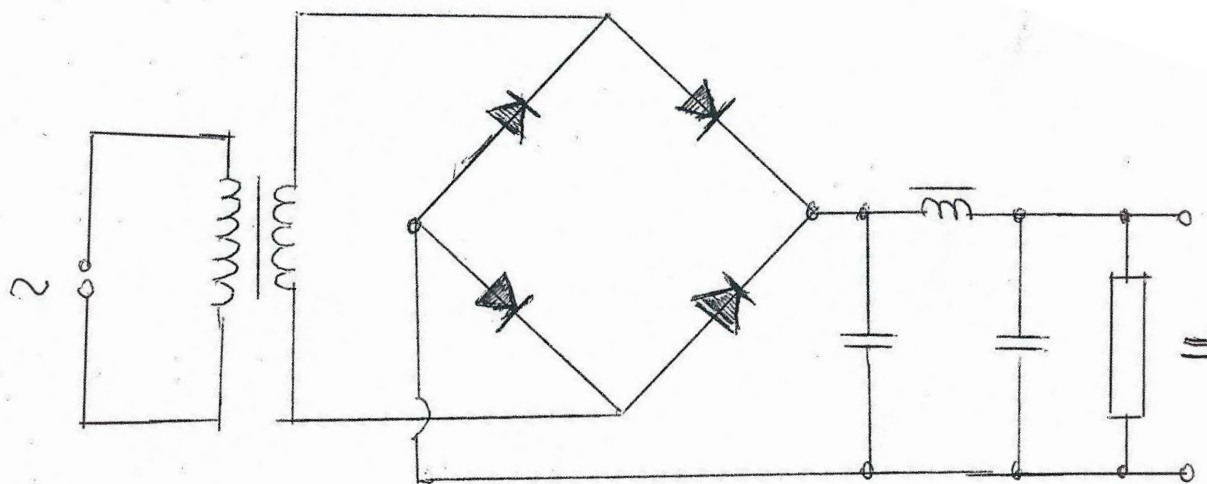
Cívky lze také spojit tak, že konec jedné spojíme se začátkem následující (spojíme je za sebou). Do vnějšího vedení můžeme tedy odvádět proud jen třemi vodiči. Efektivní napětí mezi kterýmikoliv dvěma vodiči je při

spojení do trojúhelníku 400 V. Můžeme tedy při spojení do trojúhelníku získat napětí 3 x 400 V.

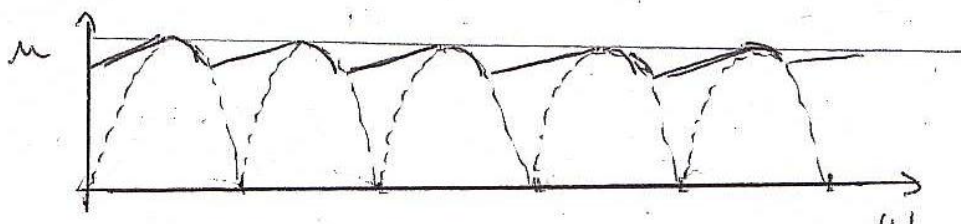
#### 4.9 Usměrňovače střídavého proudu

Z elektráren se u nás rozvádí na místo spotřeb jen střídavý proud. Pro různé účely je však nutné použít proudu stejnosměrného. Získává se zpravidla usměrněním střídavého proudu. Máme tyto druhy usměrňovačů:

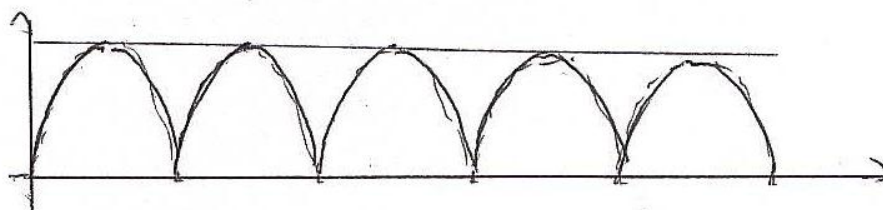
##### a) polovodičové



$\Delta T$  člankem

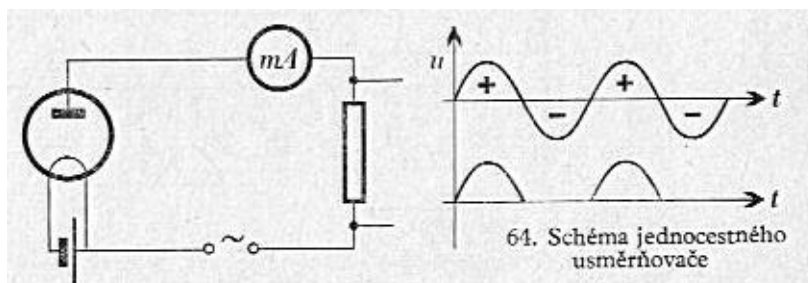


bez člankem

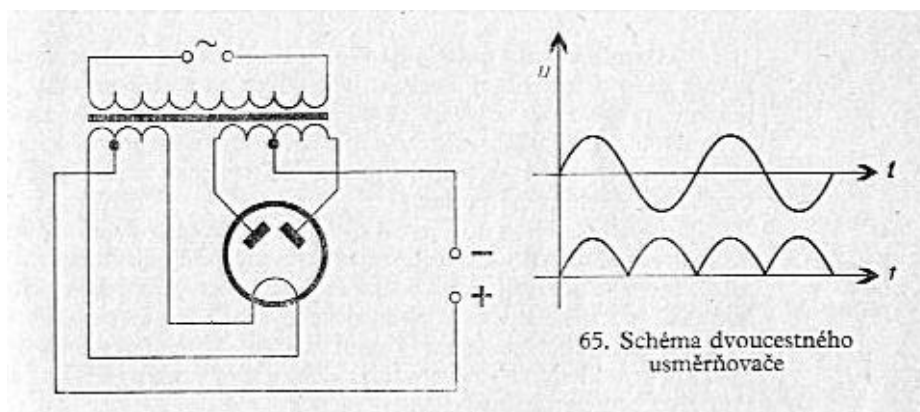


### b) elektronkové

1) **jednocestné** – Diodou prochází proud jen tehdy, jestliže zdroj střídavého napětí má takovou polaritu, že jeho kladný pól je spojen s anodou a záporný pól s katodou. Tento stav nastává v jedné polovině periody (+) střídavého napětí. V další polovině periody (-) neprochází diodou proud, neboť je k anodě připojen záporný pól zdroje. V obvodu prochází pulsující proud. Název jednocestný usměrňovač plyne z toho, že se ze střídavého proudu využije jen polovina periody.



2) **dvoucestné** – Můžeme zužítkovat obě poloviny periody střídavého napětí, musíme použít dvou jednocestných usměrňovačů nebo usměrňovače dvoucestného. V praxi se k tomu používá diody se dvěma anodami, která se nazývá duodioda.



## 4.10 Alternátor

Generátory elektrického proudu jsou stroje, které slouží k přeměně mechanické energie v energii elektrickou a využívají ke své činnosti elektromagnetické indukce. Generátory střídavého proudu se nazývají alternátory, generátory stejnosměrného proudu se nazývají dynama. Princip alternátoru jsme poznali již při výkladu vzniku proudu.

**Složení:** stator, rotor.

Trojfázové alternátory používané v energie jsou konstruovány na velký výkon, a proto jsou charakterické i mohutnou konstrukcí.

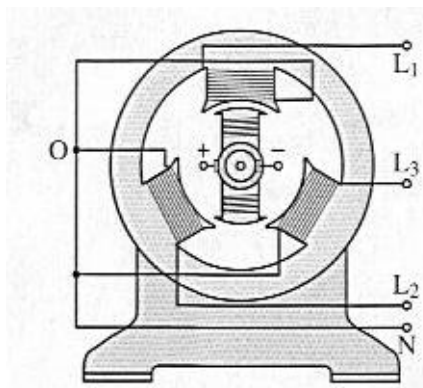
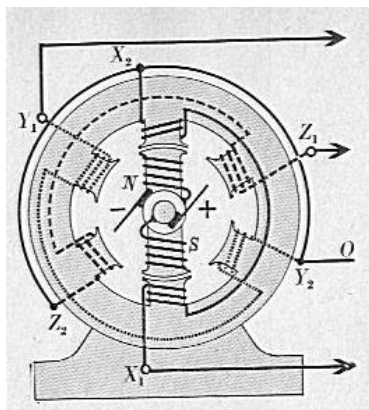
**Stator** těchto alternátorů je tvořen pláštěm, který je pevně přišroubován k nosné plošině generátoru, poněvadž musí odolávat velkému momentu síly. Jádro statoru je složeno z tenkých izolovaných plechů a jeho drážkách je uloženo vinutí cívek. Konce cívek jsou vyvedeny na svorkovnici alternátoru.

**Rotor** alternátoru je vlastně silný elektromagnet, uložený na ocelové ose ve středu alternátoru. Na obvodu rotoru jsou vyfrézovány drážky, do nichž je vloženo budící vinutí. Tímto vinutím prochází proud z generátoru stejnosměrného napětí (dynama), který je umístěn na společné ose a nazývá se **budič**.

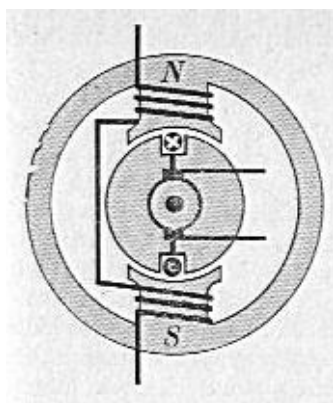
**Rotory alternátorů jsou obvykle konstruovány na frekvenci 3 000 otáček za minutu. Tomu odpovídá frekvence střídavého napětí 50 Hz.**

Trojfázový generátor je zapojen do hvězdy. Pro lepší využití prostoru a zmenšení magnetického rozptylu dělíme cívky do dvou částí (každou cívku).

**Příklady zapojení alternátorů**



## 4.11 Dynama



Stator, rotor, komutátor

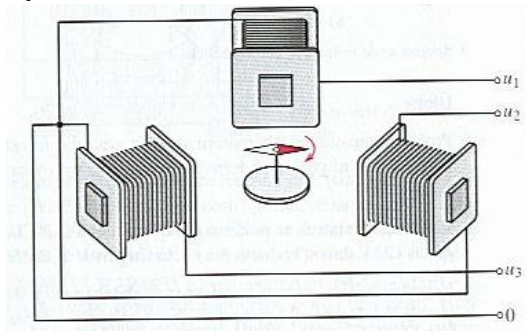
Stator vytváří magnetické pole a je jako elektromagnet. Rotor (kotva) je válec vyroben z plechů, v drážkách cívka. Má tvar obdelníka, v jehož stranách se indukuje napětí.

Usměrňování: v okamžiku změny polarit se zamění vývody – komutace.

Komutátor je z izolačního kroužku, k němuž jsou připevněny kovové lamely, k nim jsou připojeny vývody jednotlivých cívek. Usměrněné napětí odvádíme z komutátoru pomocí kartáčů.

## 4.12 Elektromotor

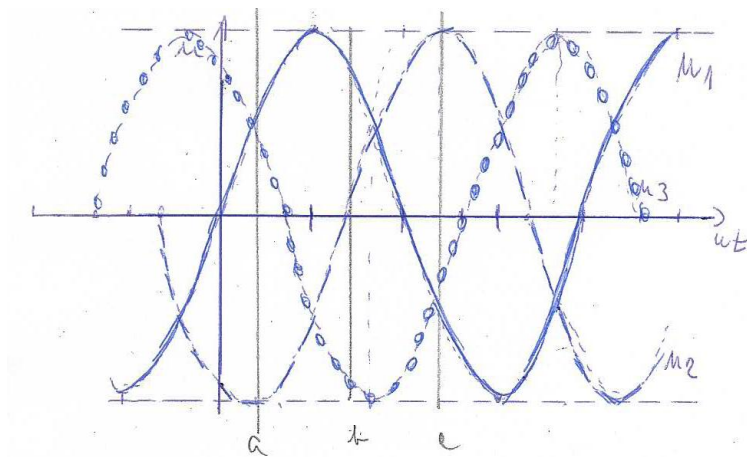
### Synchronní motor



Elektromotory jsou založeny na pohybu vodičů s proudem v magnetickém poli, které vytváří proud ve vinutí statoru. Princip elektromotoru vidíme na obrázku, kde máme tři cívky, jejich vinutí jsou spojena do hvězdy. Cívky jsou připojeny k trojfázovému napětí. Proud procházející cívkami vytváří v prostoru mezi nimi magnetické pole. O tom se přesvědčíme tím, že do středu umístíme magnetku, která se začne otáčet. Frekvence otáčení je rovna frekvenci střídavého

proudu. Magnetka se otáčí synchronně s magnetickým polem. Příčinou otáčení magnetky je působení magnetického pole, jehož vektor magnetické indukce periodicky mění směr, tím vznikne točivé magnetické pole.

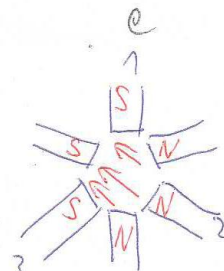
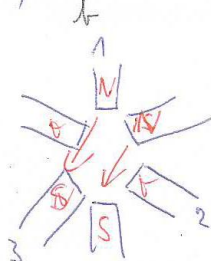
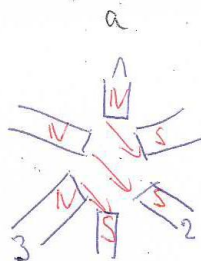
### Vznik točivého magnetického pole



$$i_1 = I_m \sin \omega t$$

$$i_2 = I_m \sin \left( \omega t - \frac{2}{3} \pi \right)$$

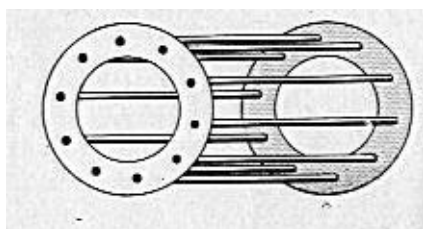
$$i_3 = I_m \sin \left( \omega t - \frac{4}{3} \pi \right)$$



### Asynchronní motor

#### Části trojfázového elektromotoru:

1. Stator má obdobnou konstrukci jako stator alternátoru.



2. Rotor neboli kotva je válec zhotovený z ocelových plechů s drážkami v nich je uloženo vinutí. Používáme tzv.

klecové vinutí, které je vytvořeno tak, že se do drážek nalije roztavený hliník. Jeho ztuhnutím vznikne vodivá klec ze silných hliníkových tyčí, které jsou v čelech rotoru vodivě spojeny hliníkovými prstenci. Vinutí kotvy má zanedbatelný odpor a motor ozn. jako motor s kotvou nakrátko.

Vzhledem k malému odporu kotvy indukuje točivé magnetické pole ve vinutí velké proudy. To má za následek vznik magnetické síly, která uvede rotor do otáčivého pohybu. Kotva se však neroztočí s frekvencí točivého pole. Kdyby tomu tak bylo nedocházelo by ke změnám magnetického indukčního toku vinutím, zanikl by indukovaný proud a tím i příčina otáčení.

Kotva trojfázového elektromotoru vždy s menší frekvencí než je 50 Hz, či-li **asynchronně**.

Veličina charakterizující chod asynchronního elektromotoru se nazývá skluz s.

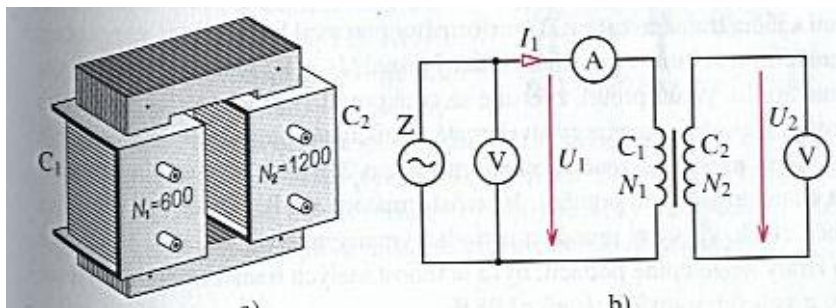
Pokud kotva při otáčení nepřekonává žádný odpor, tzn. když jde zařízení motorem poháněné naprázdno, je skluz nepatrný a vinutím kotvy prochází jen malý proud. Při zatížení motoru skluz roste, ve vinutí se indukuje větší proud a otáčení rotoru je udrženo větší magnetickou silou. V praxi bývá skluz při plném zatížení elektromotoru 2% - 5%.

Díky těmto vlastnostem se v praxi používají častěji a to díky tomu, že mají jednoduchou konstrukci, snadno se obsluhují, mají dlouhou životnost a neznečisťují pracovní prostředí. Uplatňují se tam, kde není třeba měnit frekvenci otáčení pohony strojů, čerpadel.

### 4.13 Transformátory

Zařízení, které mění střídavý proud s daným napětím na střídavý proud s jiným napětím, též frekvence. Jeho fyzikální princip je založen na elektromagnetické indukci. Transformátory jsou konstruovány jako jednofázové a trojfázové.

Složení: primární cívka, sekundární cívka, jádro. Jádro je z plechů a ty jsou vzájemně izolovány.



**Jednofázový transformátor** tvoří dvě cívky (primární a sekundární) na společném ocelovém jádře z měkké oceli (z plechů). Primární cívka  $C_1$  je připojena ke zdroji střídavého napětí  $U_1$  a prochází jí střídavý proud  $I_1$ . Ten vytváří v jádře transformátoru proměnné magnetické pole

a v libovolném závitu primární nebo sekundární cívky se indukuje napětí  $u_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ .

Závity cívek jsou navzájem spojeny za sebou, takže napětí na jednotlivých závitcích se sčítají.

Celkové napětí na primární cívce s  $N_1$  závity bude  $u_1 = -N_1 \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$  a na sekundární cívce s  $N_2$

závitů bude napětí  $u_2 = -N_2 \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ .

Cívka primární má zanedbatelný odpor a indukované napětí  $u_1$  stejnou velikost jako připojený zdroj, má však opačnou fázi. Pro poměr efektivních hodnot indukovaných napětí je

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1} = p.$$

Veličina  $p = N_2 / N_1$  se nazývá **transformační poměr transformátoru**. Může nastat:

- 1)  $N_2 > N_1$ , je  $p > 1$  a jde o transformaci nahoru (zvyšujeme napětí)
- 2)  $N_2 < N_1$  je  $k < 1$  a nastává transformace dolů (snižujeme napětí)

Rovnici transformátoru jsme odvodili za zjednodušených podmínek. Neuvažovali jsme ztráty, které vznikají přeměnou elektrické energie na vnitřní energii vinutí a jádra transformátoru. Transformátor pracoval bez zatížení, naprázdno; sekundárním vinutím neprocházela žádná proud ( $I_2 = 0$ ). Jestliže odebíráme ze sekundárního vinutí proud, zvětšuje se také proud  $I_1$  procházející primárním vinutím. Třebaže jsou odpory cívek malé, vznikají ve vinutí ztráty, a proto bývá sekundární napětí zatíženého transformátoru o 2 % až 10 % menší než odpovídá transformačnímu poměru. V transformátoru vznikají ztráty zahříváním vodičů cívek, vířivými proudy a periodickým magnetováním jádra. Poněvadž tyto ztráty nelze úplně potlačit, bývá účinnost malých transformátorů 90 % až 95 % a velkých transformátorů až 98 %.

### Výkon transformátoru

V souladu se zákonem zachování energie musí být příkon  $P_1$  transformátoru při zanedbatelných ztrátách roven jeho výkonu  $P_2$  v sekundární části (za předpokladu, že je transformátor plně zatížen a zátěž má jen rezistenci). Platí tedy pro činné výkony

$$P_1 = P_2 \text{ nebo } U_1 I_1 \cos \varphi_1 = U_2 I_2 \cos \varphi_2.$$

Za uvedených podmínek jsou hodnoty  $\varphi_1$  a  $\varphi_2$  malé ( $\cos \varphi_1 \approx 1, \cos \varphi_2 \approx 1$ ) a platí

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{I_1}{I_2}.$$

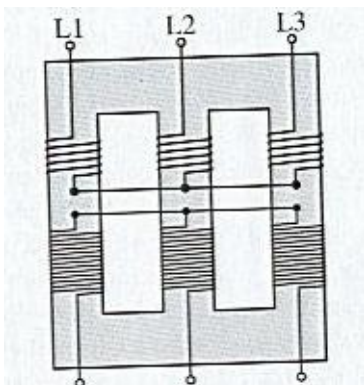
To znamená, že **proudy se transformují v obráceném poměru počtu závitů**.

Při vyšším sekundárním napětí můžeme z transformátoru odebírat menší proud a naopak.

### Využití

Jednofázové transformátory se používají tam, kde potřebujeme měnit hodnotu proudu nebo napětí, např. v rozhlasových přijímačích a televizorech, v měřicích přístrojích apod.

### Trojfázový proud



K transformaci trojfázového proudu v energetice se používají trojfázové transformátory. Jejich konstrukce je obdobná jako u transformátorů jednofázových. Jádro trojfázového transformátoru má tři magnetické větve. Každá fáze má vlastní primární a sekundární vinutí. Cívky primárního, popř. sekundárního vinutí jsou navzájem spojeny do hvězdy nebo do trojúhelníku.

Transformátory pro velké výkony se při práci značně zahřívají, a proto se musí chladit. Větší transformátory bývají ponořeny ve speciální nádobě s olejem, který odvádí teplo a chladí se přes stěny nádoby vzduchem.

## 4.14 Výroba elektrické energie

Vyrábíme ji v elektrárnách pomocí alternátorů. K pohonu alternátorů užíváme parních nebo vodních turbín a podle toho mluvíme o tepelných, vodních elektrárnách. Turbina je spojena s alternátorem na společné hřídeli.

## 4.15 Přenos energie na dálku

