

# 20ZEKT: přednáška č. 9

## Elektrické stroje a pohony

- Magnetické obvody
- Netočivé stroje - transformátory
- Točivé stroje – motory a generátory
- Elektrické pohony
- Česká železniční hnací vozidla

# Klasifikace elektrických strojů

- **Netočivé stroje** (transformátory) - žádná část stroje se netočí.  
Transformátory přeměňují střídavou elektřinu na střídavou při stejné frekvenci (mohou měnit amplitudu a fázi harmonických proudů a napětí).
- **Točivé stroje** - část stroje (rotor) se točí, část stroje (stator) se netočí.
  - **Generátory** - přeměňují mechanickou (točivou) energii na elektrickou.
    - **Stejnosemné** (dynama) - elektrická energie na výstupu je stejnosemná
    - **Střídavé** - elektrická energie na výstupu je harmonická (sinusová)
      - **Synchronní** (alternátory) - rotor se při jmenovitých hodnotách točí stejnou rychlostí jako točivé magnetické pole (viz dále), které vytváří.
      - **Asynchronní** (asynchronní generátor) - rotor se při jmenovitých hodnotách točí rychlostí větší než je rychlost točivého magnetického pole statoru.
    - **Univerzální** (univerzální komutátorový generátor) - elektrická energie na výstupu může být stejnosemná i střídavá
  - **Motory** - přeměňují elektrickou energii na mechanickou (točivou).
    - **Stejnosemné** (stejnosemné komutátorové motory) - elektrická energie na vstupu je stejnosemná
    - **Střídavé** - elektrická energie na vstupu je harmonická (sinusová)
      - **Synchronní** (synchronní motory) - rotor se při jmenovitých hodnotách točí stejnou rychlostí jako točivé magnetické pole, které ho uvádí v pohyb.
      - **Asynchronní** (asynchronní motor) - rotor se při jmenovitých hodnotách točí rychlostí nižší než je rychlost točivého magnetického pole statoru.
    - **Univerzální** (univerzální komutátorový motor) - elektrická energie na vstupu může být stejnosemná i střídavá

# Magnetické obvody

$$\phi = B.S = \mu.H.S = \mu_0\mu_r \frac{I.N}{l} S$$

$$I.N = \phi \frac{l}{\mu_0\mu_r S} = \phi.R_m$$

Hopkinsonův zákon (obdoba Ohmova zákona pro magnetické obvody  $U=I.R$ )

Význam veličin:

$\phi$ ...Indukční tok [Wb]

$B$ ...Magnetická indukce uvnitř magnetického obvodu [T]

$H$ ...Intenzita magnetického pole uvnitř magnetického obvodu [A/m]

$S$ ...Průřez plochy magnetického obvodu [m<sup>2</sup>], kterou prochází magnetická indukce a vytváří tak indukční tok  $\phi$

$\mu$ ...Permeabilita materiálu kudy se uzavírá indukční tok  $\phi$  [H/m]

$\mu_0$ ...Permeabilita vakua =  $4\pi.10^{-7}$  [H/m]

$\mu_r$ ...Permeabilita materiálu [H/m]

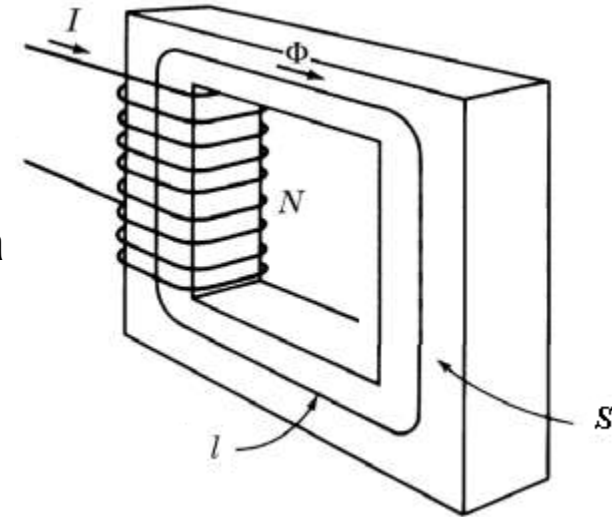
$I$ ...Elektrický proud cívkou [A]

$N$ ...Počet závitů cívky

$l$ ...délka magnetického obvodu

$I.N$ ...magnetomotorické napětí

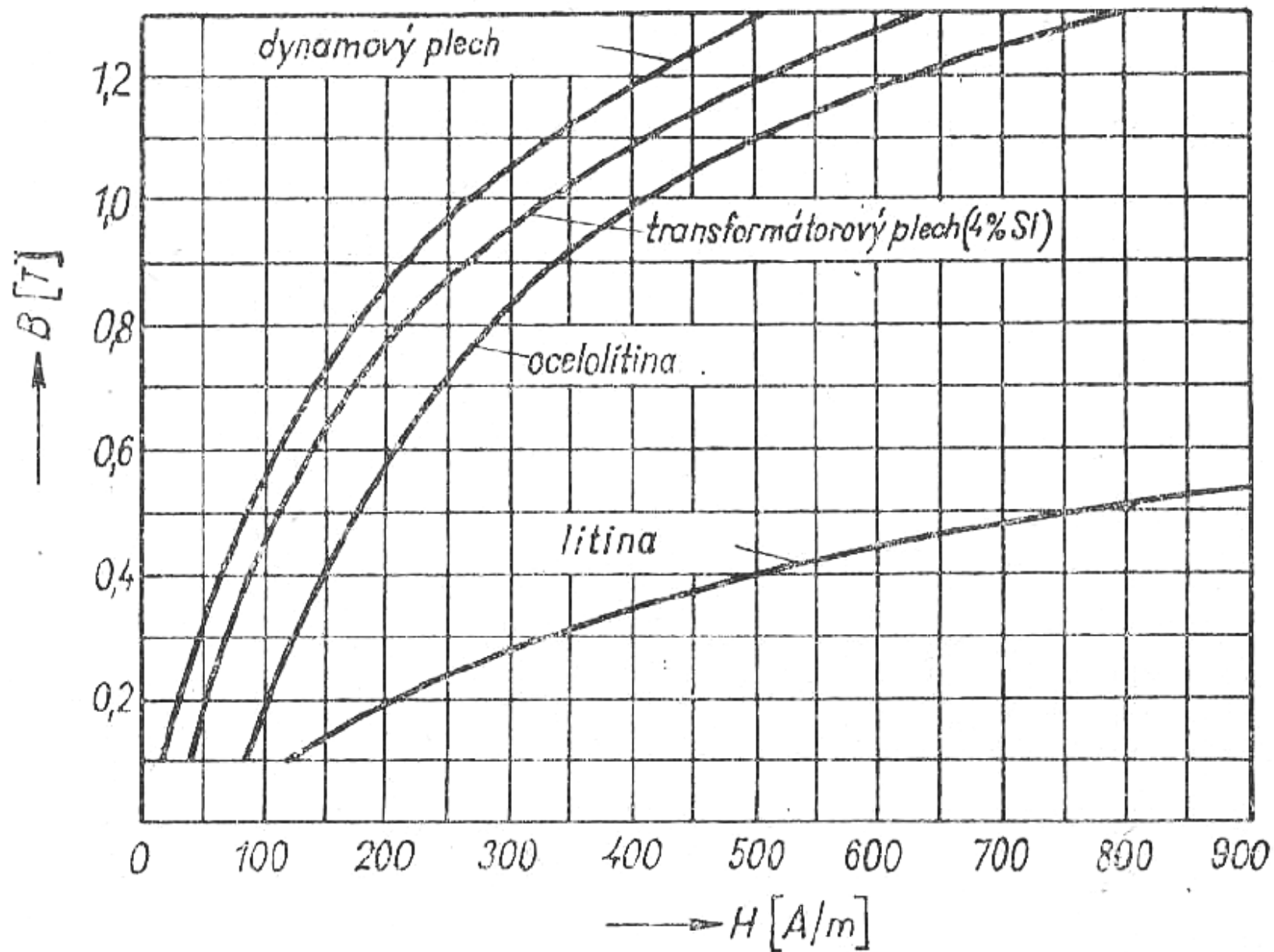
$R_m$ ...Magnetický odpor (reluktance)



# Magnetické obvody

Návrh magnetického obvodu:

- Např. chceme vytvořit daný indukční tok  $\phi$ , který bude stejný v celém magnetickém obvodu
- Z tvaru magnetického obvodu určíme velikost  $B$  v jednotlivých úsecích (  $B_i = \frac{\phi}{S_i}$  )
- Pro jednotlivé úseky určíme z grafu  $B(H)$  nebo tabulek hodnoty  $H$  - viz další snímek. Pokud tok prochází vzduchem, lze použít vztah  $B = \mu_0 H$
- Budicí proud vyjde ze vztahu  $N.I = \oint_l \vec{H} \cdot d\vec{l} = \sum_i H_i \cdot l_i$
- Jiný příklad - úkolem může být zajistit určitou hodnotu  $B$  ve vzduchové mezeře.

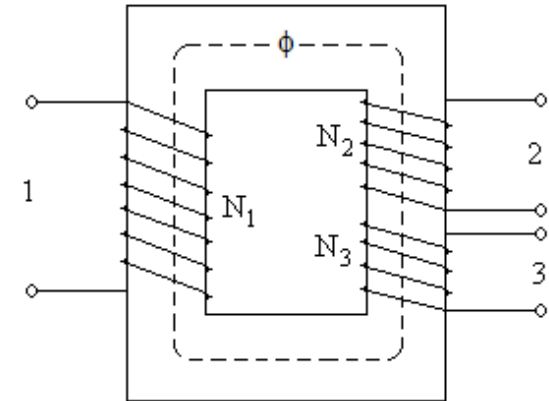


# Transformátory - význam, použití

- Transformátor je **měníč elektrické energie**. Používá se ke zvyšování nebo snižování střídavého napětí při konstantní frekvenci
- Použití pro **přenos a rozvod elektrické energie** (transformací se v daném poměru zvýší napětí a sníží proud, tím se zmenšují ztráty  $R \cdot I^2$ )
- Speciální použití v energetice mají tzv. **přístrojové transformátory** proudu resp. napětí, které mění hodnoty proudu resp. napětí na hodnoty vhodné pro měření.
- Speciální použití pro trakci mají tzv. **trakční transformátory**
  - používané v trakčních napájecích stanicích pro napájení trakčního vedení
  - používané v elektrických vozidlech pro úpravu napětí z troleje na trakční měnič a trakční motor.

# Transformátory - princip působení

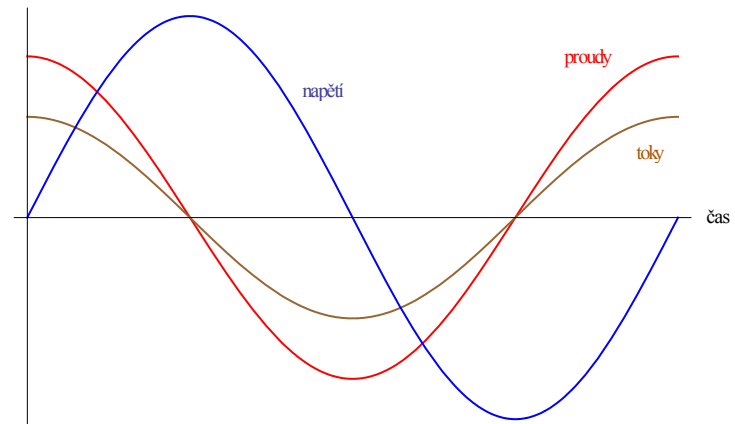
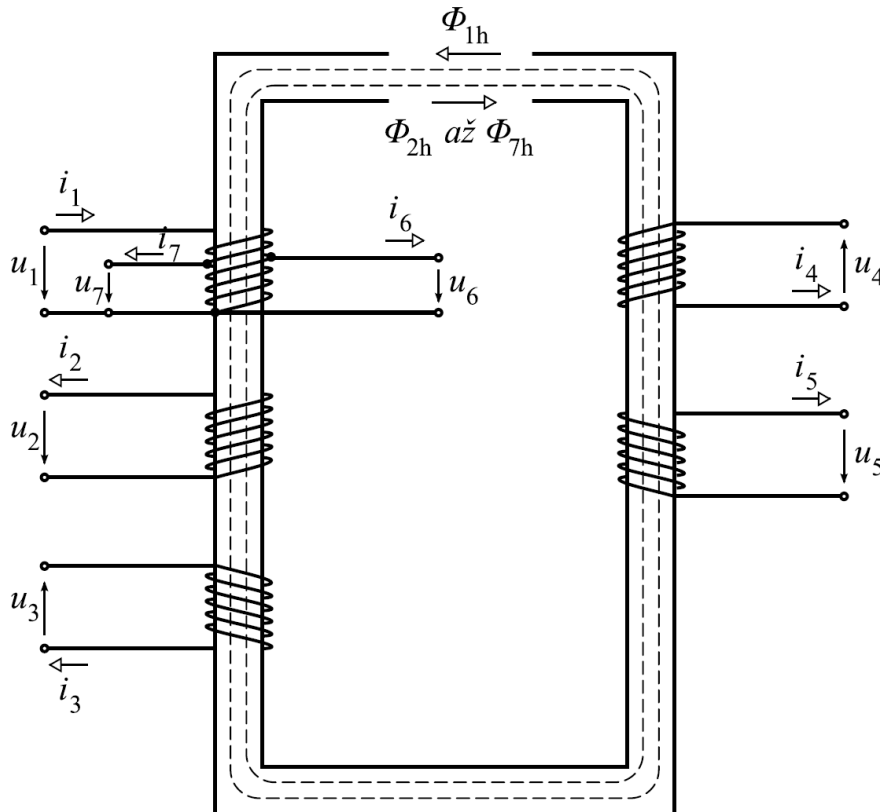
- **Faradayův indukční zákon**  $u_i = -\frac{d\psi}{dt} = -N \frac{d\phi}{dt}$ 
  - $u_i$ ... indukované napětí [V]
  - $\psi$ ... spřažený magnetický tok [Wb]
  - $N$ ... počet závitů [-]
  - $\Phi$ ... magnetický indukční tok [Wb]



- Pokud vinutí 1 (vstupní, primární) napájíme střídavým proudem, vzniká v magnetickém obvodu střídavý magnetický tok. Tento tok je spřažen s druhým (sekundárním), příp. se třetím (terciárním) vinutím, na nichž se indukují střídavá napětí podle Faradayova indukčního zákona. Velikost výstupního napětí je dána velikostí vstupního napětí a poměrem počtu závitů.

# Transformátory - magnetické toky

- Vinutí č. 1 je na obrázku jako „vstupní“ (spotřebičový systém proudu a napětí)
- Vinutí č. 2 až 7 jsou „výstupní“ (zdrojový systém proudu a napětí)
- Na obrázku znázorněny šipkou kladné směry veličin, časové průběhy viz graf
  - obrázek respektuje pouze časové průběhy a fázové posuny veličin, amplitudy veličin se mohou lišit





# Transformátory - ideální transformátor

- Předpoklady
  - Magnetický tok protéká pouze magnetickým obvodem
  - Zanedbávají se odpory vinutí  $R_1$  a  $R_2$ , ztráty v železe a magnetický odpor železa
- Faradayův indukční zákon popisuje ideální transformátor a platí **rovnice transformátoru**

$$p = \frac{N_1}{N_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

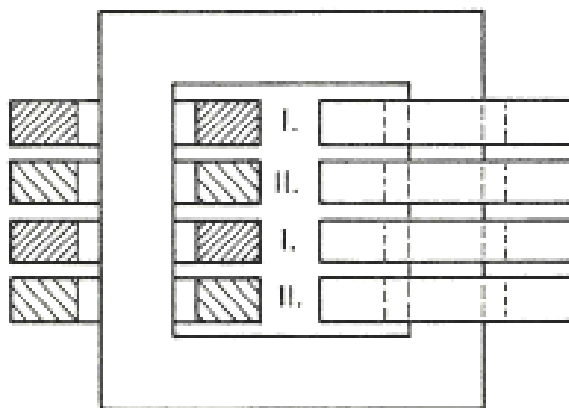
p...převod transformátoru

$U_1$ ,  $U_2$ ...efektivní hodnoty napětí na primárním resp. sekundárním vinutí

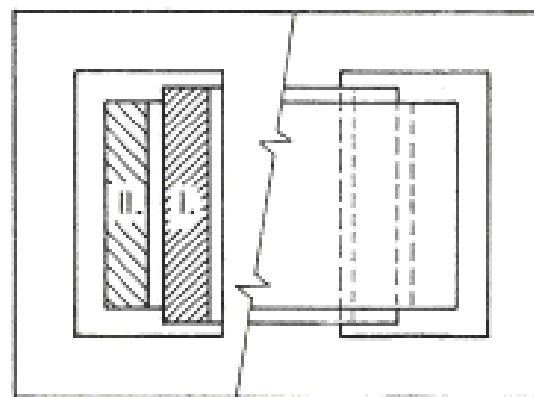
$I_1$ ,  $I_2$ ...efektivní hodnoty proudu na primárním resp. sekundárním vinutí

# Transformátory - konstrukce transformátorů

- **Magnetický obvod** - složený z tenkých vzájemně od sebe izolovaných orientovaných plechů se zvýšeným odporem, aby se omezily ztráty vířivými proudy a hysterezní ztráty.
  - Jádrová konstrukce magnetického obvodu
  - Plášťová konstrukce magnetického obvodu
- **Vinutí** - každá fáze má 2 nebo více vzájemně magneticky vázaných vinutí (autotransformátory mají jedno vinutí na fázi, viz dále)



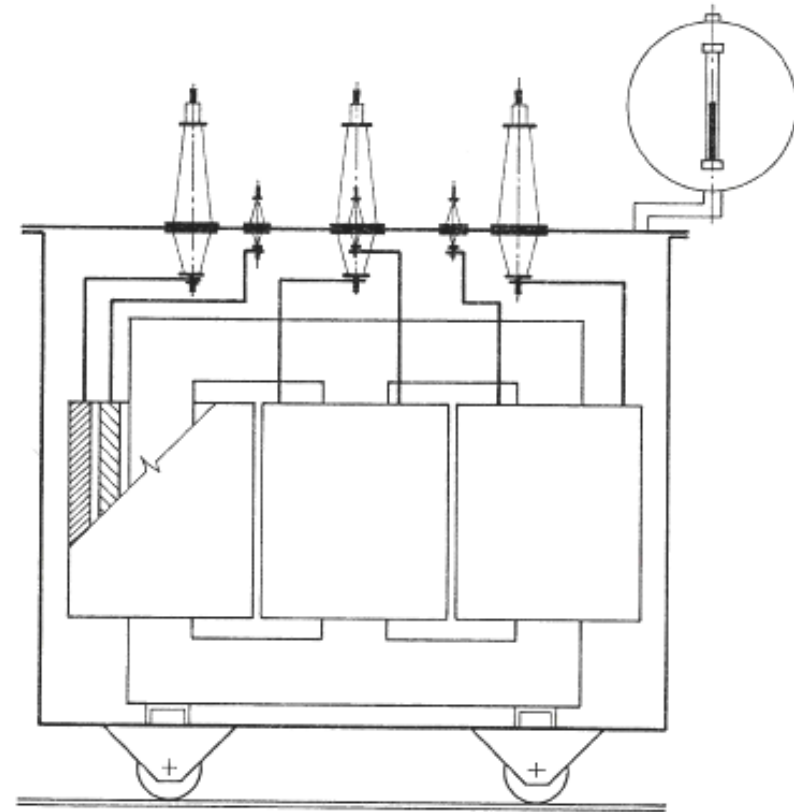
Obr.32.1. Jádrová konstrukce  
jednofázového transformátoru



Obr.32.2. Plášťová konstrukce  
jednofázového transformátoru

# Transformátory - konstrukce transformátorů

- **Nádoba** - u olejových transformátorů. Olej se používá pro chlazení a pro zvýšení izolační pevnosti.
  - **Konzervátor** - vyrovnání objemové změny oleje
  - **Průchodky** - umožní vodičům s vysokým napětím projít skrz kovovou nádobu která je na potenciálu země



Obr.32.3. Uspořádání trojfázového olejového transformátoru

# Transformátory - magnetické toky

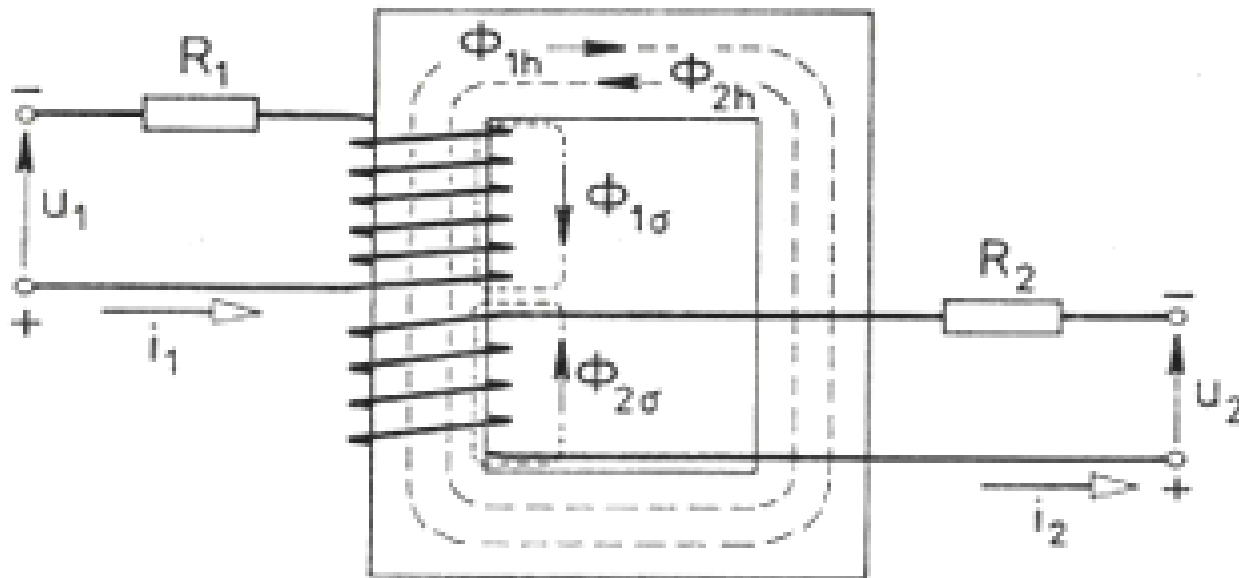
$$\Phi_1 = \Phi_{1\sigma} + \Phi_{1h} + \Phi_{2h}$$

$$\Phi_2 = \Phi_{2\sigma} + \Phi_{2h} + \Phi_{1h}, \text{ kde}$$

$\Phi_1$   $\Phi_2$ ... magnetický tok primárního resp. sekundárního vinutí

$\Phi_{1h}$   $\Phi_{2h}$ ... hlavní tok primárního resp. sekundárního vinutí

$\Phi_{1\sigma}$   $\Phi_{2\sigma}$ ... rozptylový tok primárního resp. sekundárního vinutí



# Transformátory - napěťové rovnice

$$u_1 = R_1 I_1 + L_{1\sigma} \frac{di_1}{dt} + u_{i1}$$

$$u_2 = R_2 I_2 + L_{2\sigma} \frac{di_2}{dt} + u_{i2}$$

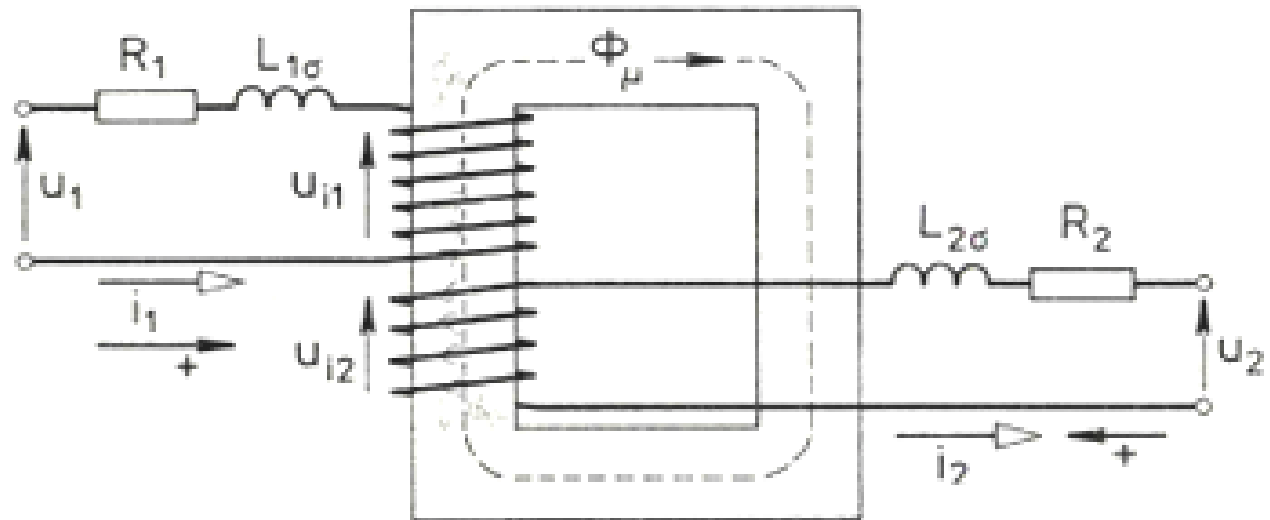
$$p = \frac{N_1}{N_2} = \frac{u_{i1}}{u_{i2}}$$

Význam symbolů

$R_1$   $R_2$ ... (ohmický) odpor primárního  
resp. sekundárního vinutí

$L_{1\sigma}$   $L_{2\sigma}$ ... rozptylová indukčnost  
primárního resp. sekundárního vinutí

$u_{i1}$   $u_{i2}$ ... indukované napětí primárního  
resp. sekundárního vinutí



# Transformátory - přepočítávání sekundárních veličin a parametrů

$$u'_{i2} = u_{i1} = p \cdot u_{i2}$$

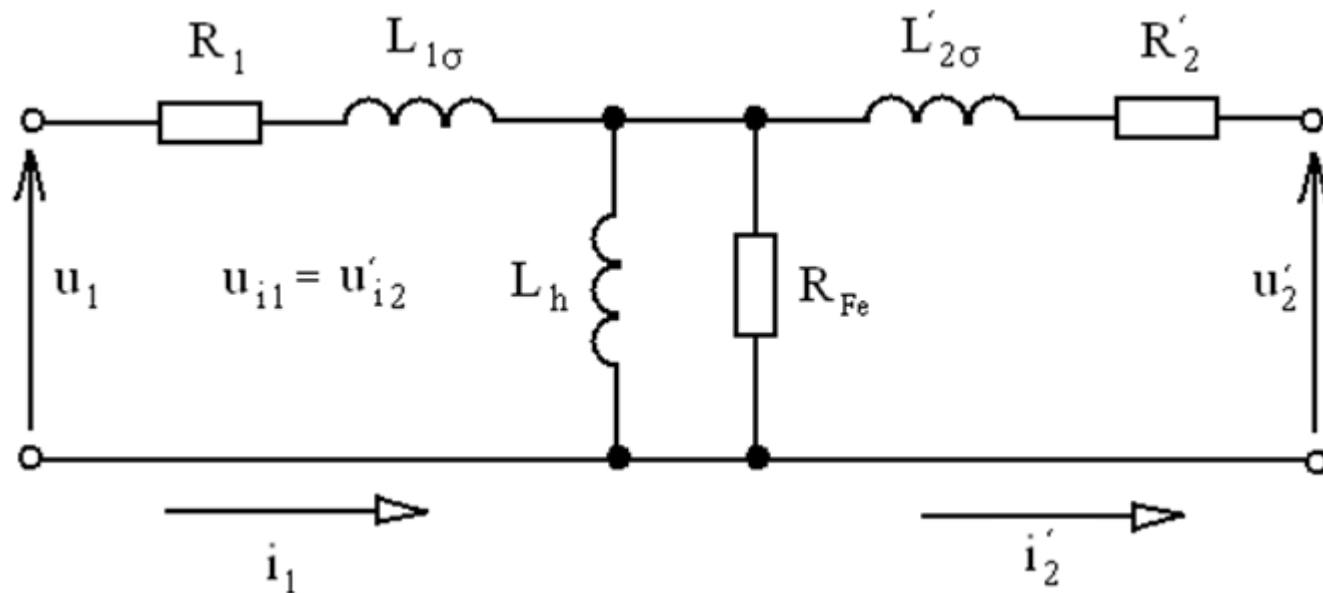
$$i'_2 = \frac{i_2}{p}$$

$$R'_2 = p^2 R_2$$

$$L'_{2\sigma} = p^2 L_{2\sigma}$$

- Přepočet vhodný pro analýzu transformátoru (pro náhradní obvodové schéma)
- Přepočtené veličiny se označují čárkovaně
- Přepočet proveden tak, aby  $p = N_1/N_2 = 1$ .
- Přepočet nesmí mít vliv na
  - magnetické poměry na stroji
  - energetickou bilanci
  - výkonovou bilanci

# Transformátory - náhradní schéma



Náhradní schéma transformátoru. Odpor  $R_{Fe}$  reprezentuje ztráty v železe, odpory  $R_1$  a  $R'_2$  ztráty v mědi.

# Parametry transformátorů

- Napětí nakrátko:  $U_{1K}$  je takové napětí při zapojení sekundárního vinutí nakrátko, při kterém teče primárním vinutím transformátoru jmenovitý proud  $I_{1N}$ .
- Poměrné napětí nakrátko:  $u_K = \frac{U_{1K}}{U_{1N}} \cdot 100$  [% , V]
- Ztráty nakrátko  $P_{1K}$  jsou rovny ztrátám ve vinutí.
- Impedance nakrátko:  $Z_{1K} = \frac{U_{1K}}{I_{1N}}$
- Účinník nakrátko: .....  $\cos \varphi_K = \frac{P_{1K}}{U_{1K} I_{1N}}$

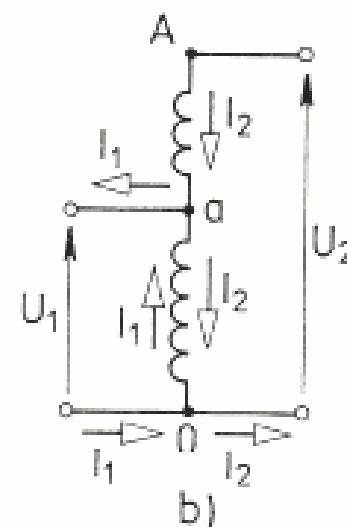
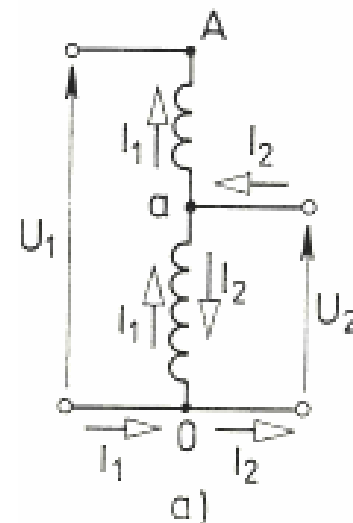
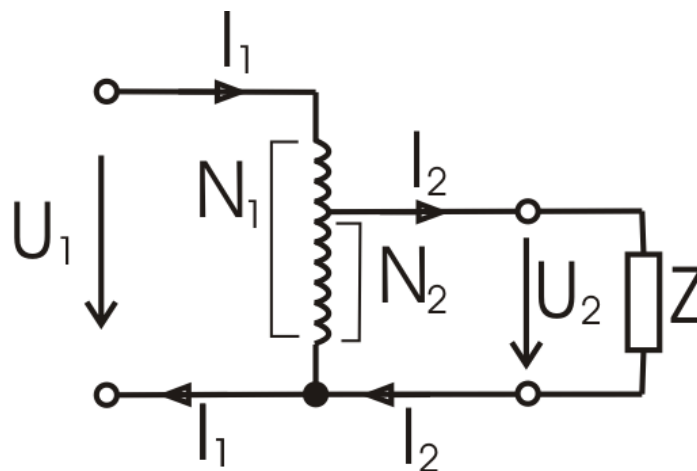
Napětí nakrátko  $U_{1K}$  je důležitý ukazatel pro posuzování vlastností transformátoru:

- Určuje úbytek napětí na sekundární straně transformátoru
- Ovlivňuje velikost zkratového proudu.
- Při paralelních chodu několika transformátorů se rozdělí výkon na jednotlivé stroje podle velikosti napětí nakrátko  $U_{1K}$ . Transformátor s nižším napětím nakrátko  $U_{1K}$  převezme větší zatížení, než transformátor s vyšším napětím nakrátko.
- Běžné transformátory mívají napětí nakrátko  $u_K$  4÷13%. ( $I_{1K}$  zhruba 25÷8 x  $I_{1N}$ ).



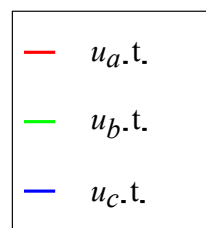
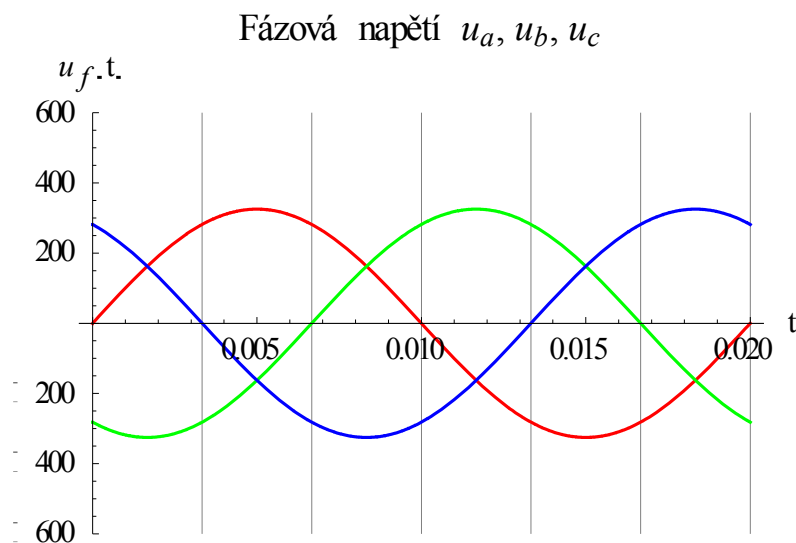
# Autotransformátory

- Není-li třeba galvanické (proudové) oddělení, můžeme použít autotransformátor
  - Má pouze **jedno vinutí**
    - ušetří se sekundární vinutí
    - vstup a výstup nejsou galvanicky odděleny!
    - Společnou částí vinutí teče pouze proud ( $I_1 - I_2$ )
  - Autotransformátor není dělič napětí (vinutí jsou magneticky vázána!)
  - Autotransformátory mohou být snižující (a) nebo zvyšující (b)
  - Regulační autotransformátory umožňují různá sekundární napětí



# Trojfázové transformátory - trojfázové napětí

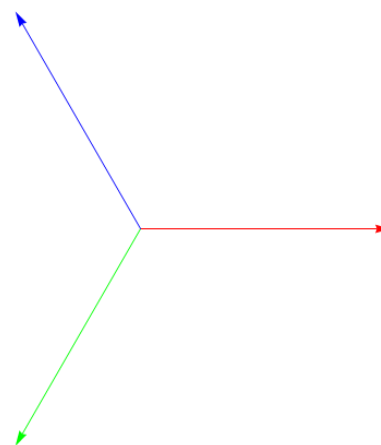
- Trojfázové transformátory transformují **trojfázové harmonické napětí** (3 fáze, 1. fáze (a) referenční, 2. fáze (b) má fázový posun  $-120^\circ$ , 3. fáze (c)  $-240^\circ$ )



Odpovídající fázorový diagram

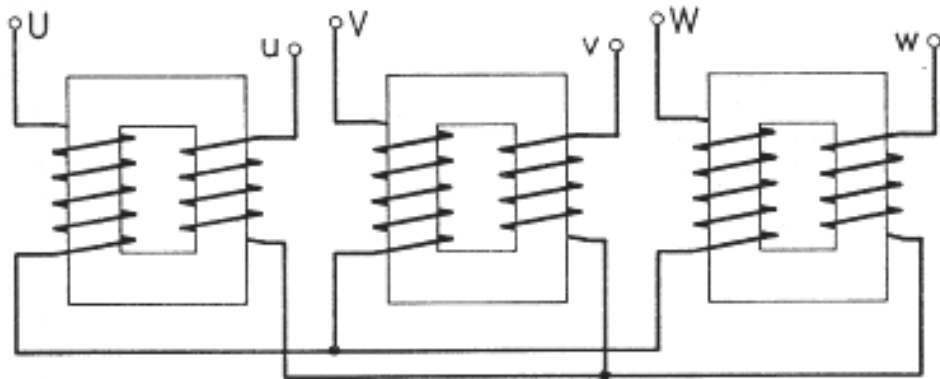
```
In[2]:= Graphics[{{Red, Arrow[{{0, 0}, {1, 0}}]}, Green, Arrow[{{0, 0}, {-0.5, -\frac{\sqrt{3}}{2}}]}], Blue, Arrow[{{0, 0}, {-0.5, +\frac{\sqrt{3}}{2}}}]}}
```

Out[2]=

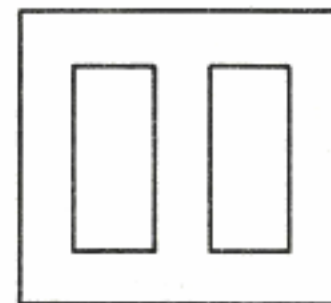


# Trojfázové transformátory - princip, vývoj

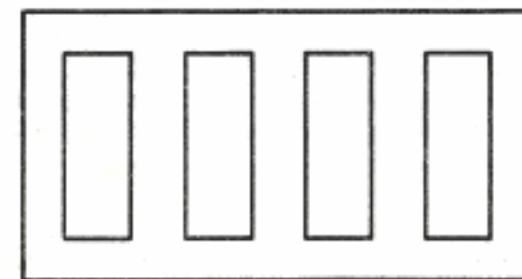
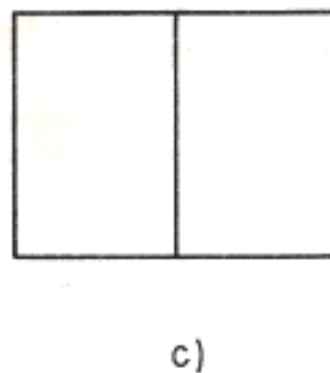
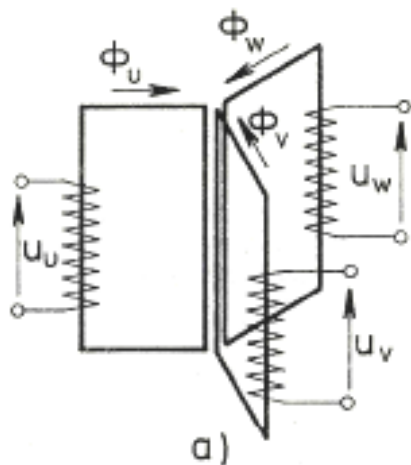
- Součet napětí všech tří fází  $u_{L1}(t) + u_{L2}(t) + u_{L3}(t)$  je v každém časovém okamžiku roven nule.



Obr.39.1. Trojfázový transformátor s nezávislým magnetickým systémem



Magnetický obvod jádrového transformátoru



Magnetický obvod pětijádrového (plášťového) transformátoru

Obr.39.2. Vývoj jádra trojfázového transformátoru

# Trojfázové transformátory - zapojení vinutí

Značení - velké písmeno značí vinutí na straně vyššího napětí, malé písmeno značí vinutí na straně nižšího napětí

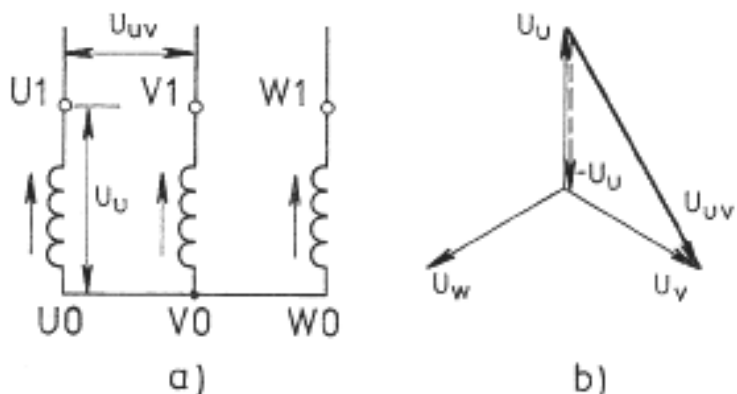
Význam písmen:

Y, y ... spojení vinutí do hvězdy

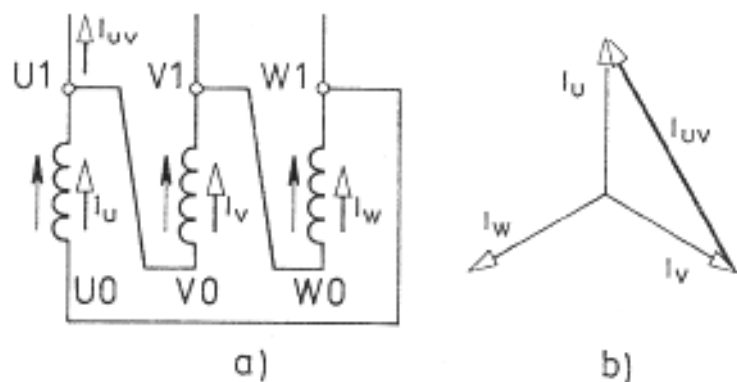
D, d ... spojení vinutí do trojúhelníku

Z, z ... spojení vinutí do lomené hvězdy

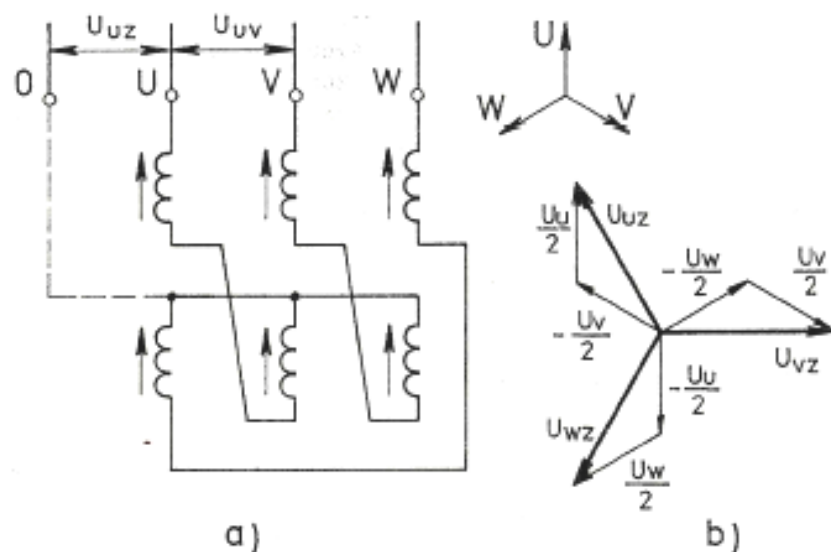
N, n ... vyvedený střed vinutí (u Y, y, Z, z)



Obr.40.3. Spojení do hvězdy



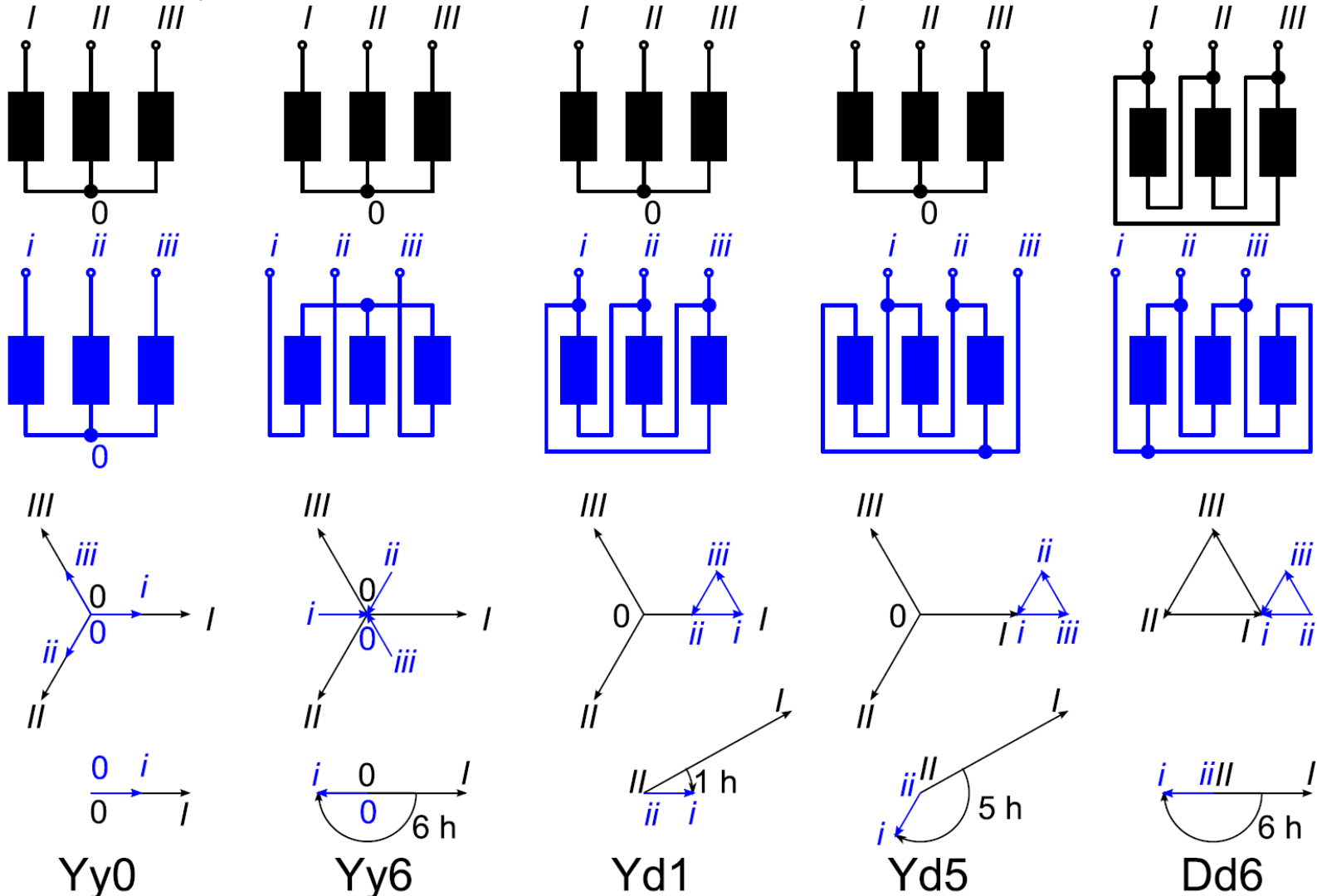
Obr.40.4. Spojení do trojúhelníku



Obr.40.5. Spojení do lomené hvězdy

# Trojfázové transformátory, hodinový úhel

- Různým spojením vstupních a výstupních vinutí (do Y, D, Z) lze dosáhnout různého fázového posunutí svorkových napětí výstupu vůči odpovídajícím svorkovým napětím vstupu. Toto fázové posunutí se vyjadřuje tzv. **hodinovým úhlem**, tj. hodnotou úhlu v hodinách (1 hodina odpovídá  $30^\circ$ )
- Transformátory se pak značí na konci s číslem odpovídajícím hodinovému úhlu



# Trakční transformátory vozidlové

- Umožňují změnu přiváděného napětí (v jižní části ČR 25 kV, 50 Hz) na napětí elektromotorů. Umožňují také regulaci výstupního napětí přepínáním odboček (změnou počtu závitů) na primární straně (lokomotivy řad 230, 240 a 242) nebo na sekundární straně.
- U moderních vícesystémových lokomotiv má transformátor pevný převod a napětí je dále upravováno elektronickými měniči.



# Točivé stroje

## Ss stroje – použití, princip působení

### Použití stejnosměrných strojů

- **Motor** - (např. el. lokomotivy, tramvaje cca před r. 1995)
- **Dynama** - (např. dobíjení akumulátorů v železničních vozech a automobilech, nebo motor lokomotivy při brzdění)

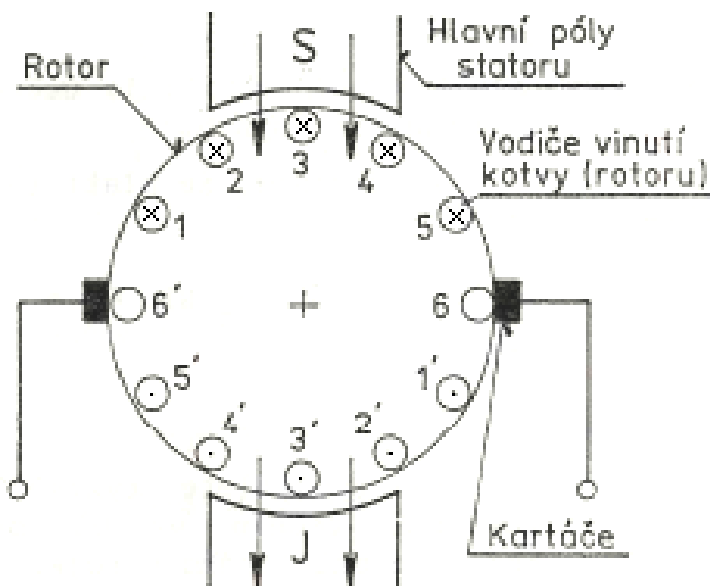
### Fyzikální princip

- **Ss motor** - na vodič délky  $l$  protékající proudem  $I$  umístěný v magnetickém poli kolmém na 1 vodič o konstantní indukci  $B$  působí (magnetická) síla  $F_m = B \cdot I \cdot l$ .
- **Dynamo** - na 1 vodiči délky  $l$  pohybujícím se rychlostí  $v$  umístěném v magnetickém poli  $B$  se indukují napětí  $u_i = (-d\Phi/dt) = -B \cdot l \cdot v$ .
- Ten samý stejnosměrný stroj lze použít jako motor nebo jako dynamo (např. v lokomotivě se při rozjezdu stroj chová jako motor, při brzdění jako dynamo).

# Ss stroje - princip působení

## Fyzikálně konstrukční princip

- Stroj má 2 části - **stator** a **rotor (těž kotva)**. Stator vytváří **stejnoseměrné magnetické pole** (ať už permanentními magnety nebo pomocí cívek). Uvnitř statoru je rotor. Vinutí rotoru tvoří vodiče rozložené po obvodu rotoru do **uzavřeného vinutí** (jednotlivé cívky 1-1', 2-2' atd. spojené do série). Přes kartáče a lamely komutátoru (viz dále) je **na vinutí rotoru přivedeno stejnosměrné napětí**, které způsobí proud tekoucí vinutím rotoru. Tak začne působit magnetická síla. Protože ve vodičích na obrázku nahoře teče proud opačným směrem než dole, působí magnetická síla na vodiče nahoře opačným směrem než dole. Tím se vytvoří moment, který uvede rotor do pohybu. Jakmile se rotor pohybuje, pohybuje se i komutátor a polarita proudu "nahore" a "dole" se tedy nemění (ačkoliv se v konkrétních závitech vinutí rotoru polarita mění). Proto na rotor působí **stále stejně orientovaný moment** (při stejné polaritě buzení a napětí na rotoru).





# Ss stroje - konstrukce

## Stator

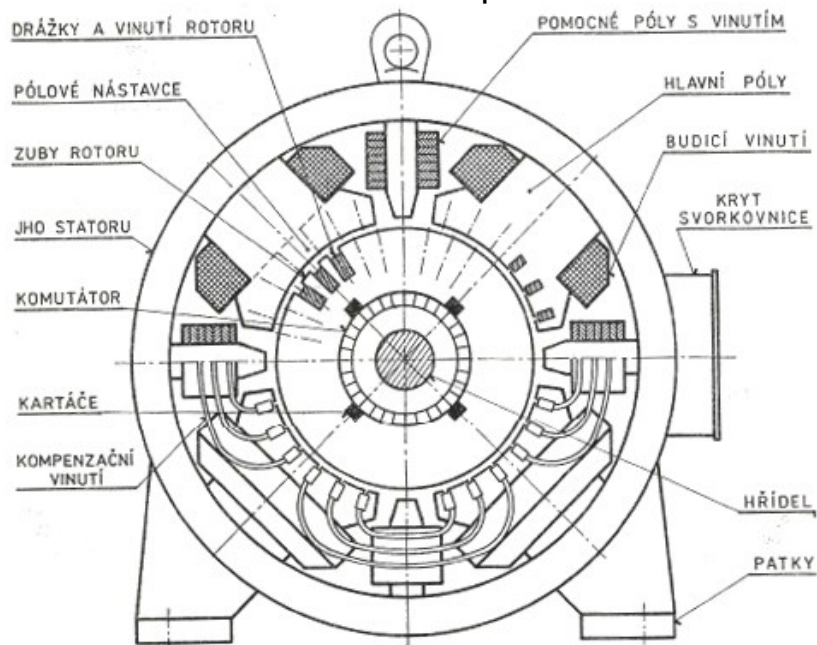
- **Hlavní póly** s budicími cívkami, které vytvoří magnetický tok ve stroji. Tento tok se uzavírá **jhem** (z plného materiálu narozdíl od jha rotoru).
- **Pólové nástavce** - k dosažení příznivého průběhu  $B$  ve vzduchové mezeře
- **Pomocné póly** - zlepšují komutaci zhoršenou reakcí kotvy (viz dále)
- **Kompenzační vinutí** - pro zmenšení lamelového napětí zvětšeného reakcí kotvy (viz dále)

## Rotor

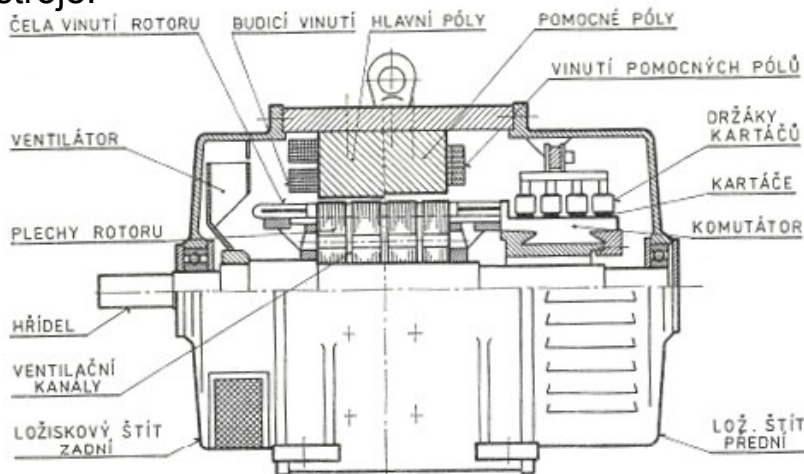
- Uložen v ložiskách
- **Jho** složeno z izolovaných plechů (mění se tam směr toku, je třeba omezit ztráty vířivými proudy). Mezi svazky plechů jsou ještě ventilační kanály (chlazení vzduchem při otáčení)
- **Komutátor** - nejchoulostivější součást stroje - lamely z tvrzené mědi izolované tvrzeným mikanitem.

Grafitové **kartáče** - dosedají na komutátor.

**Vzduchová mezera** od 1 mm až po 15 mm dle velikosti stroje.



Obr. 6.1 Příčný rez stejnosměrným strojem



Obr. 6.2 Podélný řez stejnosměrným strojem

# Ss stroje - konstrukce

Stroj může mít více pólů. Počet **pólů** se značí  $p$ , počet pólů je  $2p$ .

**Pólová rozteč**  $\tau_p$  - vzdálenost dvou sousedních pólů měřená po obvodu rotoru

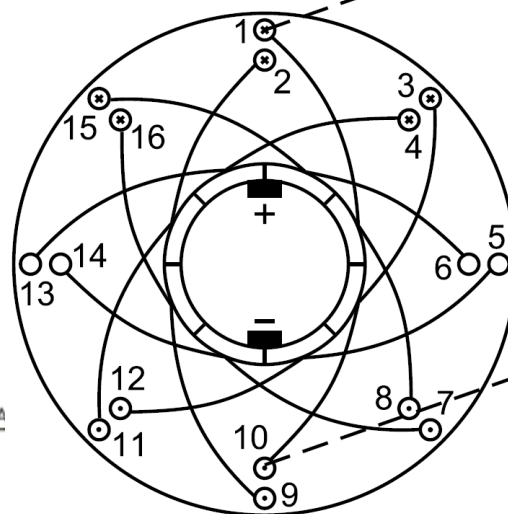
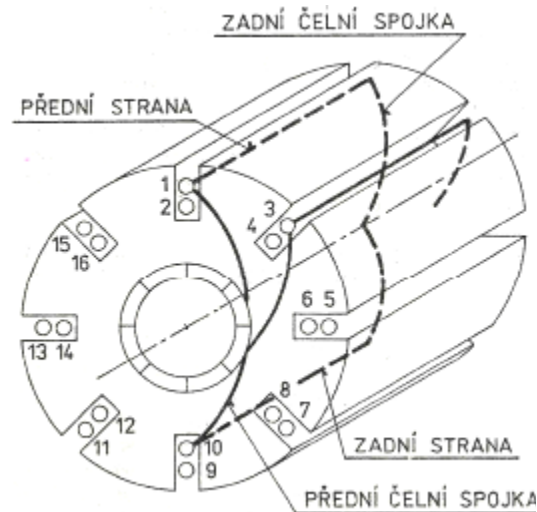
$$\tau_p = \frac{\pi \cdot D}{2p} = \frac{2\pi \cdot r}{2p}$$

**Vinutí rotoru** - na obrázku je vinutí dvouvrstvé smyčkové.

Počet paralelních větví vinutí je  $2 \cdot a$  ( $a$  je počet *párů* paralelních větví).

Většinou platí, že  $a = p$ .

PČS – přední čelní spojka  
ZČS – zadní čelní spojka



Cesty od + do – (paralelní větve):

- 1) Plus → PČS → 15 dozadu → ZČS → dopředu 8 → PČS → 1 dozadu → ZČS → dopředu 10 → PČS → 3 dozadu → ZČS → dopředu 12 → PČS → Minus
- 2) Plus → PČS → 4 dozadu → ZČS → dopředu 11 → PČS → 2 dozadu → ZČS → dopředu 9 → PČS → 16 dozadu → ZČS → dopředu 7 → PČS → Minus

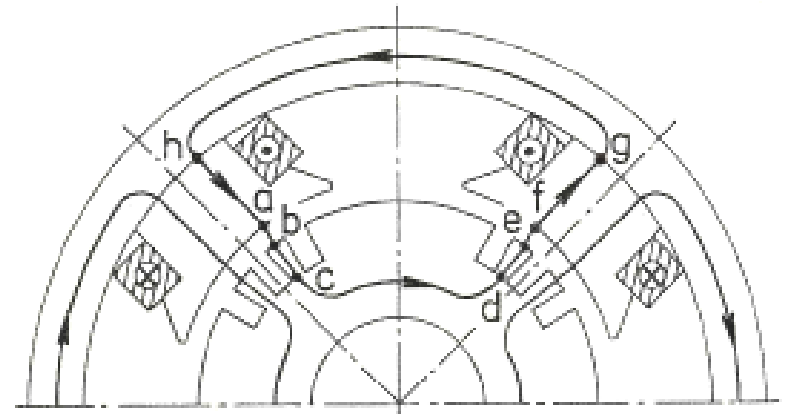
Části vinutí zkratované kartáčem:

- 1) Plus - PČS - 6 - ZČS - 13 - PČS - Plus
- 2) Minus - PČS - 5 - ZČS - 14 - PČS - Minus

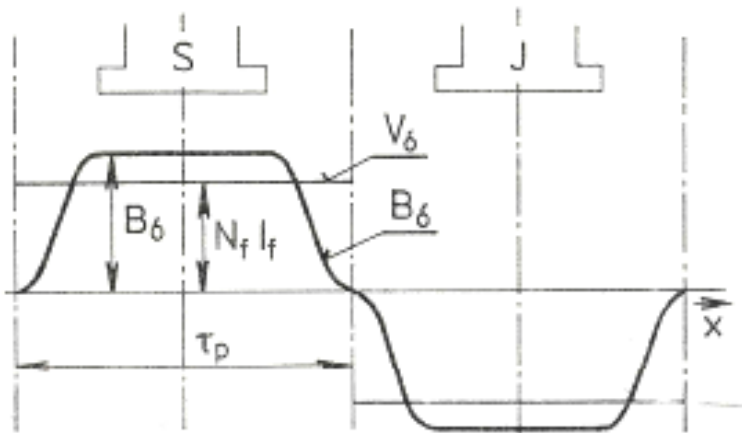
# Ss stroje - magnetický obvod

Magnetickým obvodem se uzavírá hlavní magnetický tok stejnosměrného stroje. Magnetický obvod sestává z

- Vzduchová mezera (2x)
- Zuby rotoru (2x)
- Jho rotoru
- Hlavní póly a pomocné nástavce (2x)
- Jho statoru



Průběh magnetické indukce po obvodu vzduchové mezery

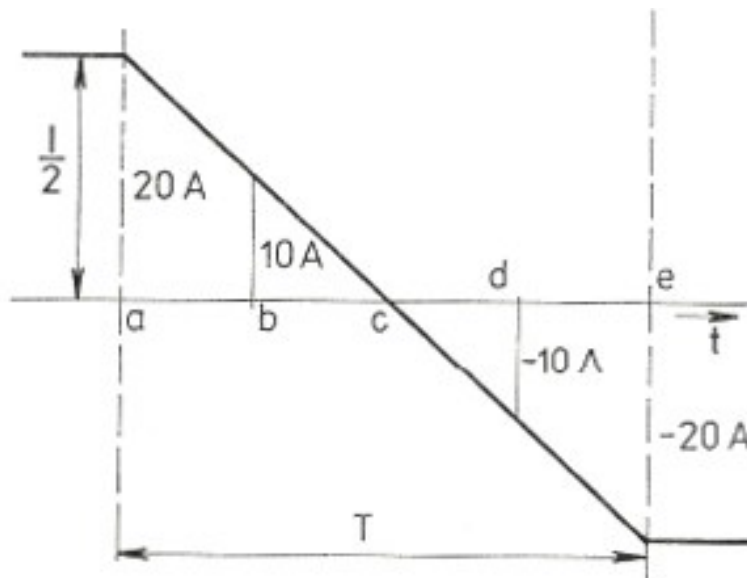


# Ss stroje – základní vztahy

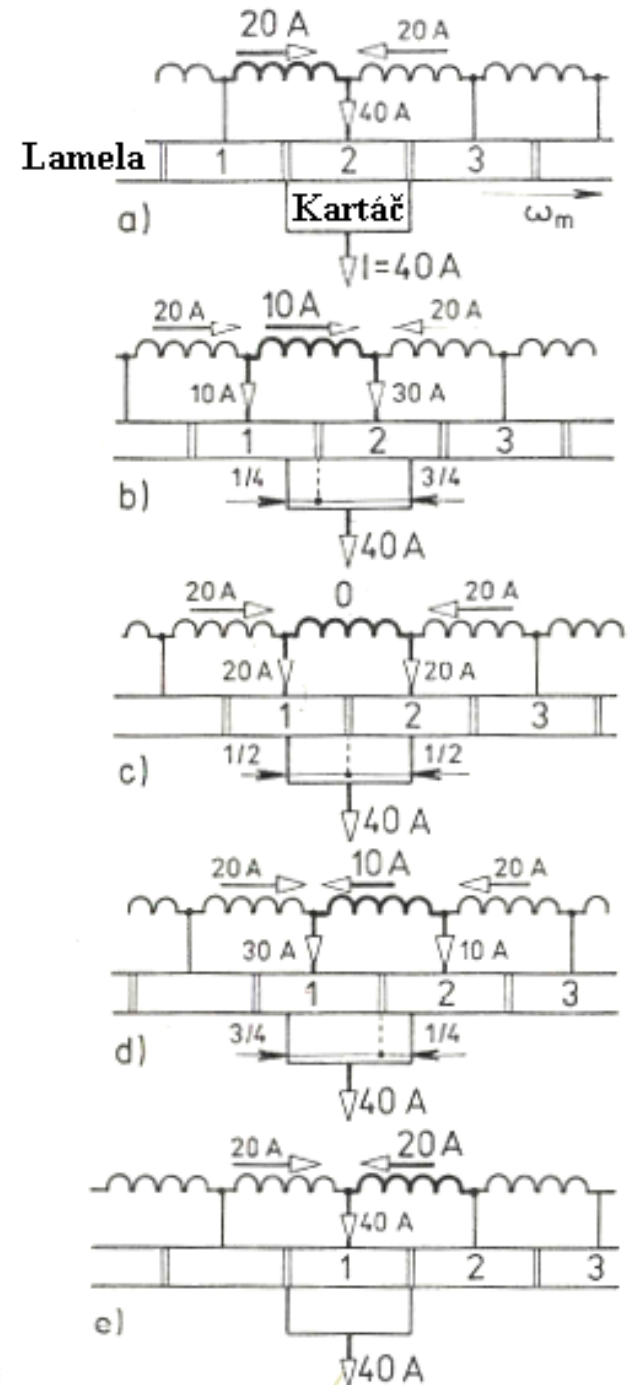
- Indukované napětí stroje:  $U_i = k \cdot \Phi \cdot \omega$  [V; -, Wb, rad/s]
- Vnitřní moment stroje  $M_i = k \cdot \Phi \cdot I$  [N.m; -, Wb, A]
- V rovnicích je
  - $k = \frac{p \cdot N}{a \cdot \pi}$ ...pro daný stroj konstanta
    - $p$ ...počet pólpárů stroje
    - $a$ ...počet párů paralelních větví stroje. Obvykle je  $p = a$ .
    - $N$ ...počet závitů vinutí kotvy (rotoru)
    - $\pi = 3,14$
  - $\Phi$ ...okamžitá hodnota indukčního toku stroje (magnetické pole vytvořené statorovým vinutím)
  - $\omega$ ...okamžitá hodnota mechanické úhlové (otáčivé) rychlosti, pomocí otáček  $n$  [min<sup>-1</sup>] ji lze vyjádřit jako  $\omega = 2\pi \frac{n}{60}$
  - $I$ ...okamžitá hodnota proudu kotvou (rotorem)

# Ss stroje - komutace

**Komutace** je změna proudu v cívce z jedné polaroty na opačnou polaritu v období kdy kartáč spojuje komutující cívku nakrátko.

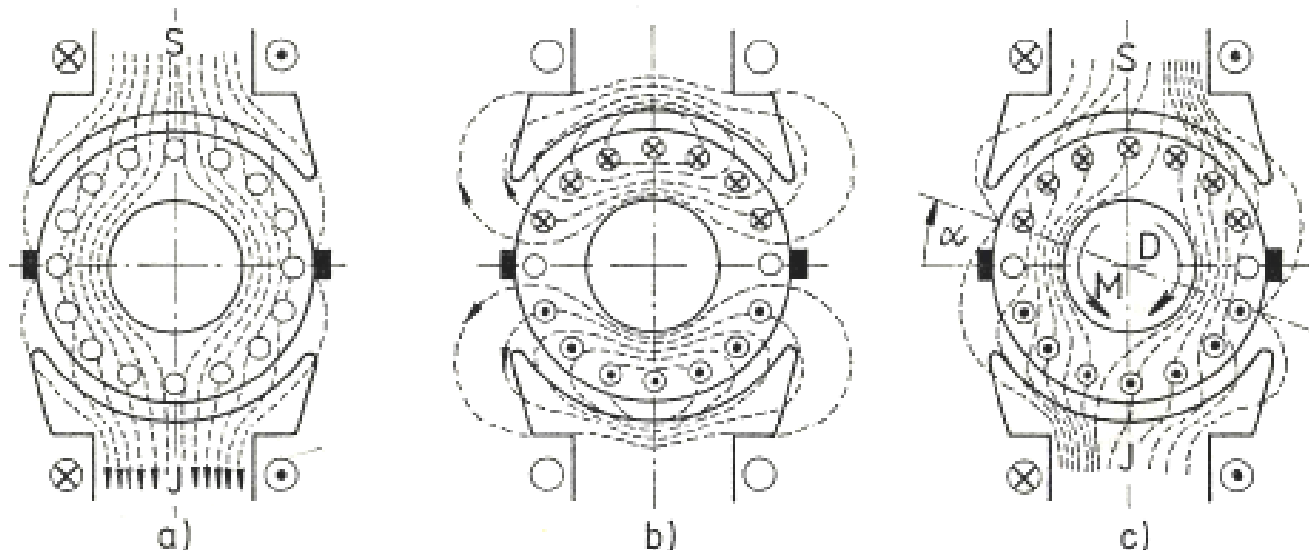


Obr.15.2. Závislost proudu komutující cívky na čase (přímková komutace)



# Ss stroje - reakce kotvy

- Rotor (kotva) se proudově i magneticky jeví jako cívka protékaná stejnosměrným proudem, jejíž osa má v prostoru stálý směr daný polohou kartáčů. Toto pole má příčný charakter vůči hlavnímu poli (statorovému).
- **Reakce kotvy** říkáme zpětnému působení pole cívek rotoru na hlavní pole (statoru).
- Výsledné pole je ve srovnání s původním polem deformované. Místa nulové magnetické indukce na obvodu kotvy se posunou o úhel  $\alpha$ .



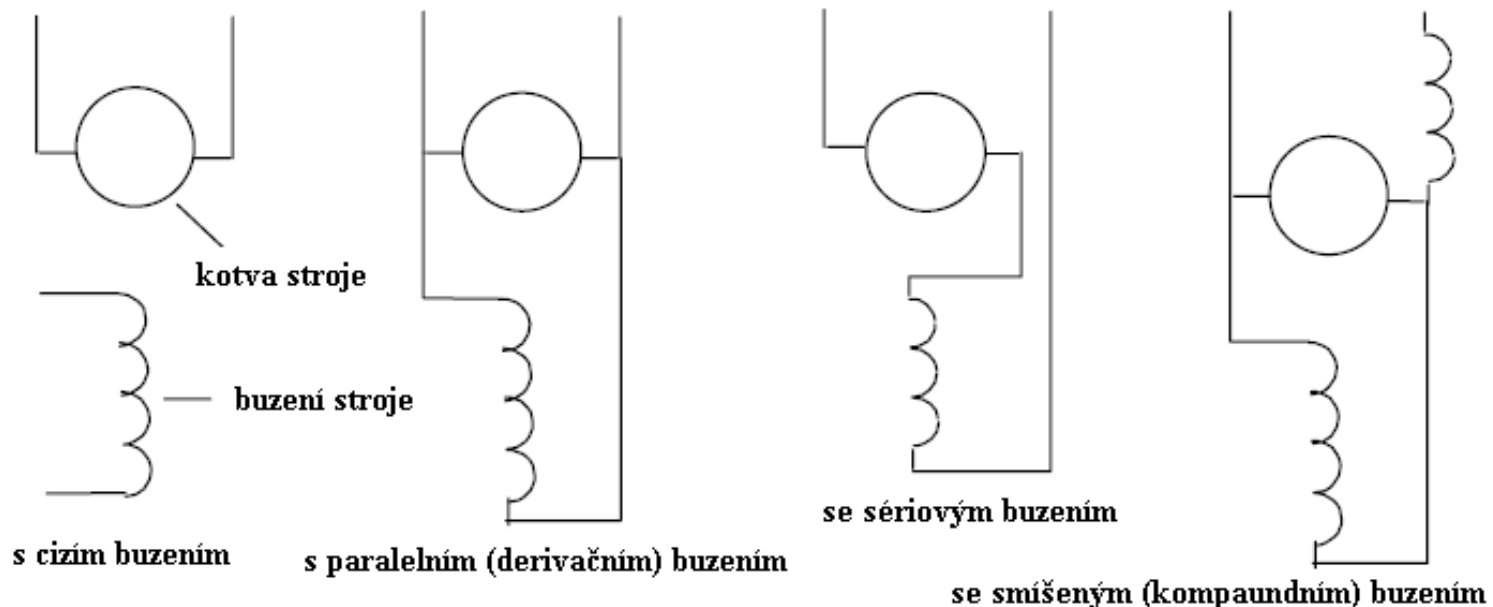
Obr.16.1. Magnetické pole hlavních polů, vinutí kotvy a výsledné magnetické pole stejnosměrného stroje

# Ss stroje -zapojení vinutí

Vinutí statoru (budicí vinutí) a vinutí rotoru (kotvy) může být mezi sebou různě zapojeno. Níže jsou popsány různé kombinace. (+...výhoda, -...nevýhoda)

- Dynamo s paralelním buzením (+...nepotřebuje zvláštní zdroj pro buzení, -...napětí lze regulovat jen v úzkém rozsahu. Příklad: nabíjení baterií vozidel)
- Ss motor s paralelním buzením (+... nepotřebuje zvláštní zdroj pro buzení, -...rychlost lze regulovat jen v úzkém rozsahu. Příklad: Obráběcí stroje)
- Dynamo se sériovým buzením
- Ss motor se sériovým buzením (+...výhodné trakční vlastnosti. Příklad: Jeřáby, lokomotivy, tramvaje)
- Dynamo s cizím buzením (+...napětí lze regulovat v širokém rozsahu, -...je třeba zvláštní zdroj pro buzení. Příklad: využívá se při brzdění ss motorů v elektrické trakci)
- Ss motor s cizím buzením (+...snadná, široká a plynulá regulace rychlosti)

Různé druhy stejnosměrných strojů



# Ss stroje - provoz stejnosměrných motorů

## Spouštění

- Při spouštění musí být motor plně nabuzen, aby měl velký záběrný (index Z) moment  $M_Z = k \cdot \Phi \cdot I_Z$
- Potom připojíme kotvu na zdroj zvyšujícího se napětí, nebo na zdroj stálého napětí přes spouštěcí odpor(y).

## Zatěžování

- Na hřídeli se odebírá mechanický výkon  $P = M \cdot \omega$

Regulace rychlosti vychází ze vztahu

$$\omega = \frac{U_i}{k\Phi} = \frac{U - RI}{k\Phi}$$

- Pomocí napětí na kotvě  $U$  (tj. při  $M = \text{konst.}$ )
- Pomocí změny mg. toku (budícího proudu) (tj. při  $P = \text{konst.}$ , přitom  $P = M \cdot \omega$ )

Brzdění (elektrodynamické brzdění, EDB) - je-li  $U_i > U$ , potom proud kotvou  $I = \frac{U - U_i}{R}$  změní znaménko, stroj pracuje jako dynamo a brzdí se

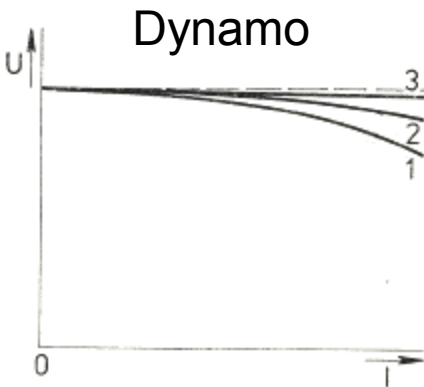
- rekuperačně (vracením energie do sítě),
- do odporu (mařením energie v odpornících).

Reverzace (obrácení smyslu točení) - děje se záměnou přívodů buzení či kotvy

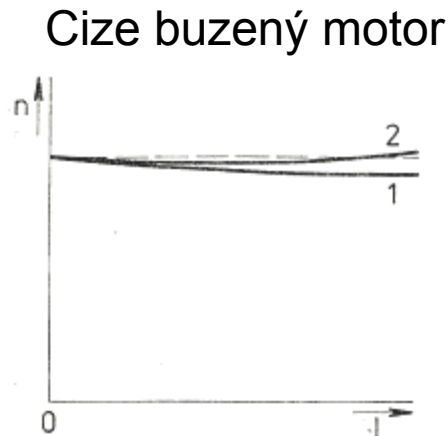


# Ss stroje - charakteristiky el. motorů

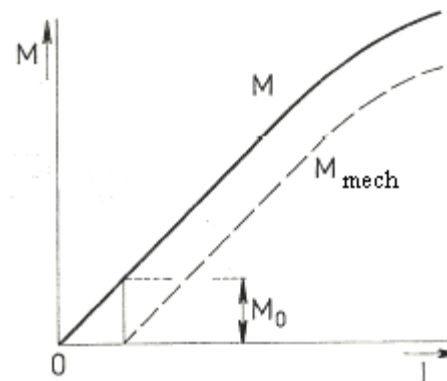
1. **(Vnější) zatěžovací charakteristika** ( $U=f(I)$  při  $n=\text{konst.}$ ,  $I_f=\text{konst.}$ )
2. **Rychlostní charakteristika**  $n=f(I)$  při  $U=\text{konst.}$ ,  $I_f=\text{konst.}$ 
  - Vychází z rovnice  $\omega = \frac{U-R \cdot I}{k \cdot \Phi}$ , ale lineární pokles  $n$  je menší vlivem demagnetizačního účinku reakce kotvy (zmenšení toku)
3. **Momentová charakteristika**  $M=f(I)$  při  $U=\text{konst.}$ ,  $I_f=\text{konst.}$ 
  - Vychází z rovnice  $M=k \cdot \Phi \cdot I$ , ale při větších proudech se projeví odbuzení reakcí kotvy. Pro určení mechanického momentu je třeba ještě odečíst moment ztrát naprázdno  $M_0$ .
4. **Mechanická charakteristika**  $n=f(M)$  při  $U=\text{konst.}$ ,  $I_f=\text{konst.}$ 
  - Podobná rychlostní charakteristice (moment je úměrný kotevnímu proudu)
  - Křivka 2 při (větší odbuzení) znamená nestabilní chod motoru!



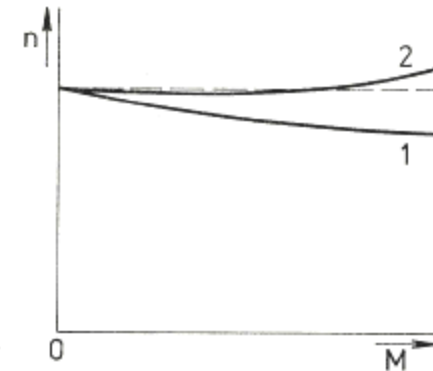
Obr.23.4. Zatěžovací charakteristiky  $U = f(I)$  dynama s paralelním (1), cizím (2) a smíšeným buzením (3)



Obr.25.3. Rychlostní charakteristika



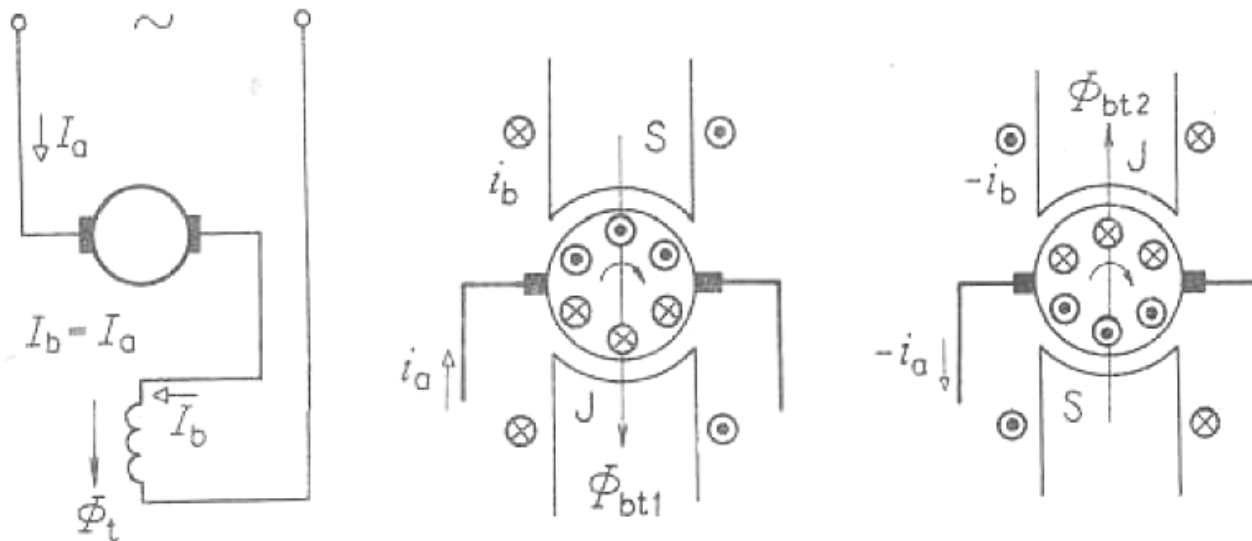
Momentová charakteristika



Obr.25.5. Mechanická charakteristika

# Speciální stroje - Univerzální komutátorové motory

- Konstrukční princip je stejný jako u stejnosměrného komutátorového motoru. Jde obvykle o dvojpólový motor.
- Motor lze napájet stejnosměrným i střídavým proudem - proto univerzální.
- I při střídavé polaritě napájecího proudu je smysl otáčivé síly (momentu) stejný - viz obr. (mění se polarita budicího proudu i proudu kotvou zároveň).



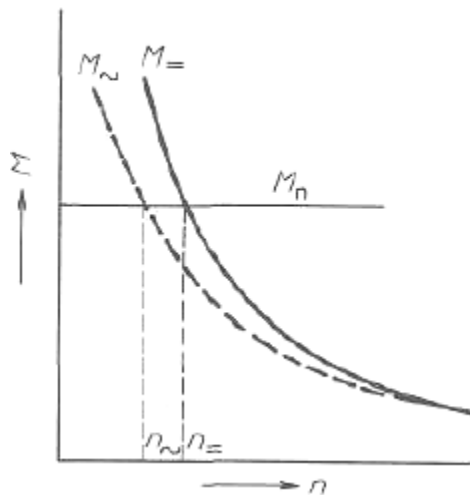
# Speciální stroje - Univerzální komutátorové motory

- Moment (při zanedbání ztrát)

$$M_{DC} = \frac{60}{2\pi n_{DC}} UI$$

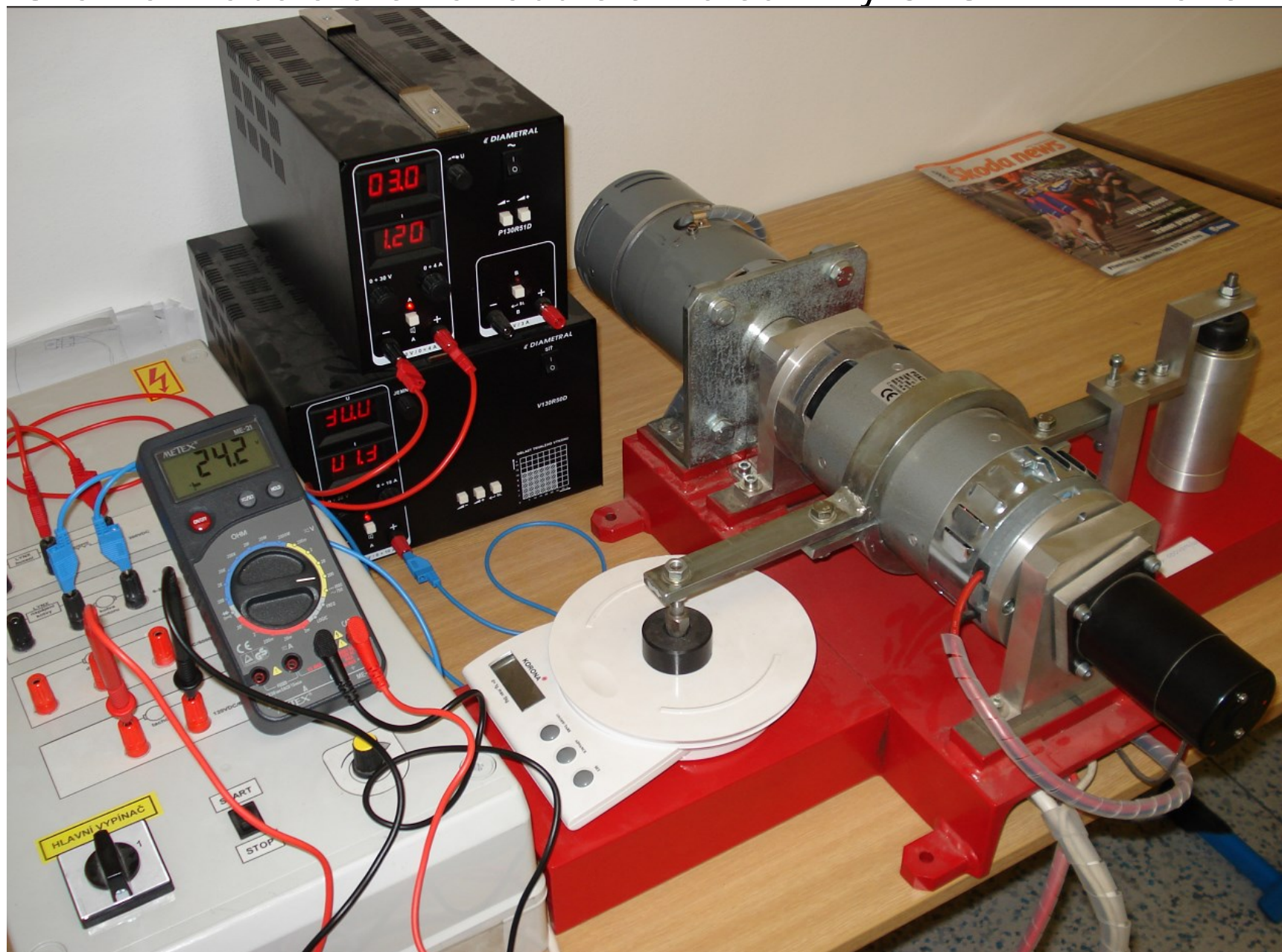
$$M_{AC} = \frac{60}{2\pi n_{AC}} UI \cos \varphi$$

- Mechanická charakteristika



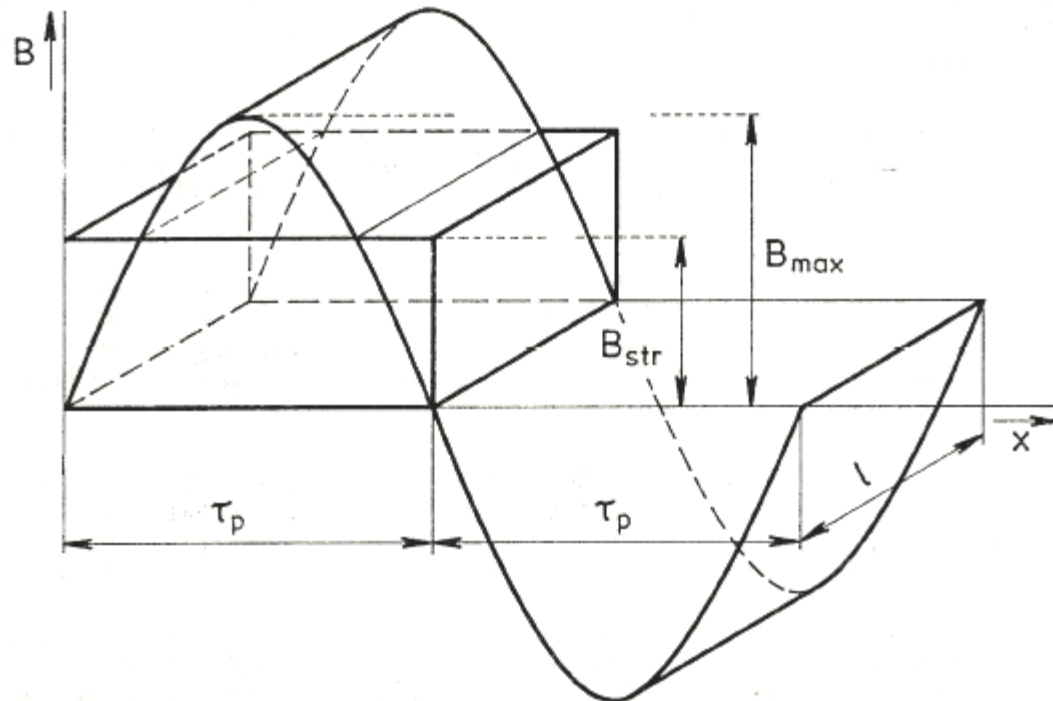
# Speciální stroje - Univerzální komutátorové motory

Ukázka z laboratoře Základů elektrotechniky ČVUT FD v Praze



# Úvod do strojů na střídavý proud

- Předpokládáme, že magnetické pole ve vzduchové mezeře je po obvodu vzduchové mezery rozloženo sinusově.  $B(x) = B_{\max} \sin \omega x = B_{\max} \sin \frac{2\pi}{2\tau_p} x$



# Úvod do strojů na střídavý proud

- Napětí indukované v závitu stroje na střídavý proud

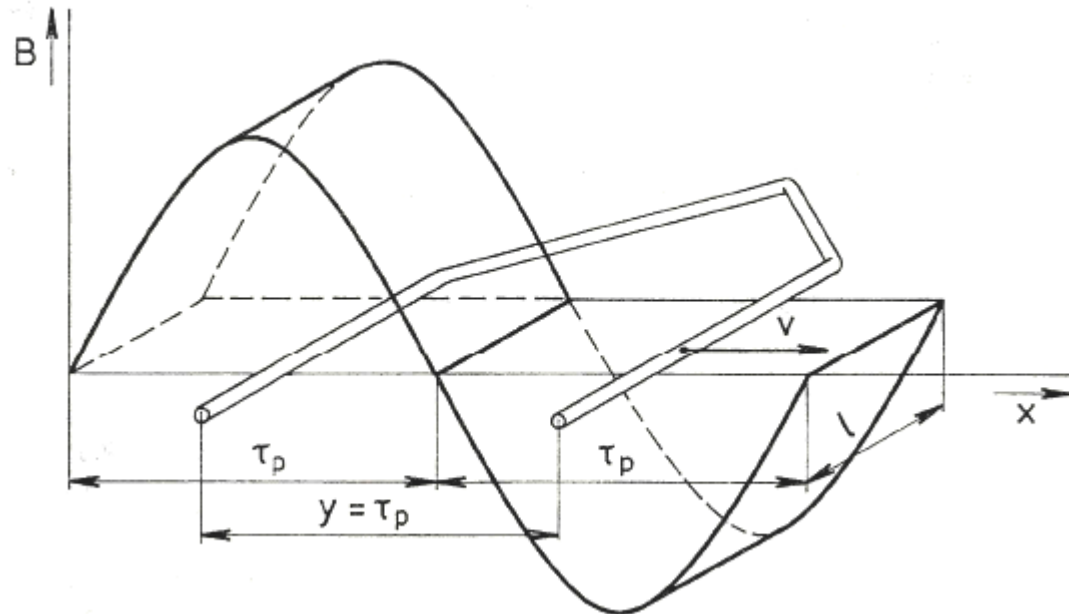
$$u_z = u_1 - u_2 = B_1 lv - B_2 lv = B_{\max} lv \left[ \sin \frac{\pi}{\tau_p} x - \sin \left( \frac{\pi}{\tau_p} x + \pi \right) \right] = 2B_{\max} lv \sin \frac{\pi}{\tau_p} x$$

$$v = \frac{x}{t} = 2\tau_p f \Rightarrow \frac{x}{\tau_p} \pi = 2\pi f t = \omega t$$

$$u_z = B_{\max} lv [\sin(\omega t) - \sin(\omega t + \pi)] = 2B_{\max} lv \sin \omega t = 2\pi \phi f \sin \omega t$$

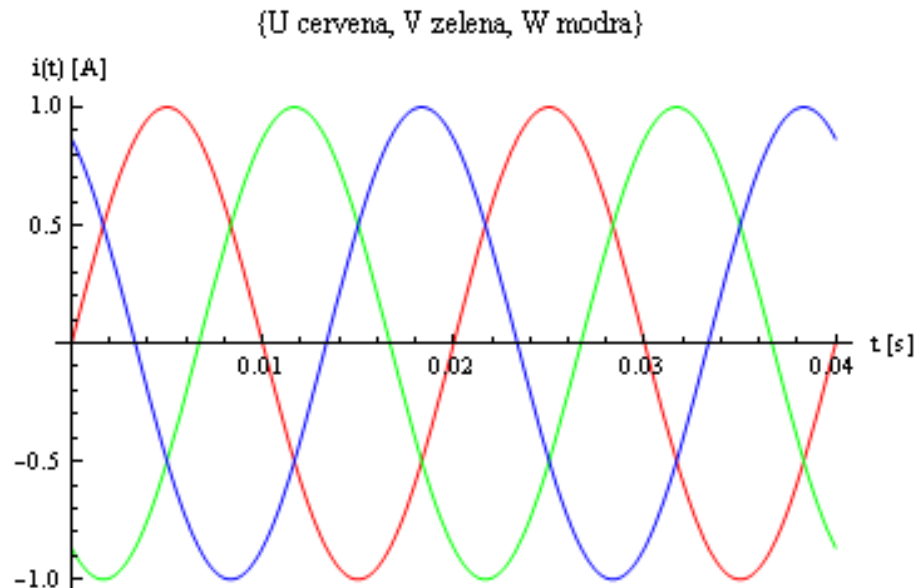
$$u_i = N \cdot 2\pi \phi f \sin \omega t = U_m \sin \omega t$$

$$U_i = \frac{N \cdot 2\pi \phi f}{\sqrt{2}} = 4.44 \phi f N$$



# Úvod do strojů na střídavý proud - vznik točivého magnetického pole

- Mějme po obvodu stroje tři závity, každý z nich napájený proudem jedné fáze. Průběh trojfázového proudu je uveden na obrázku. Proudů v závitech způsobí magnetické pole. Celková velikost a směr intenzity magnetického pole (nebo magnetické indukce) bude dána vektorovým součtem dílčích příspěvků jednotlivých závitů (fází).
- Vlastnost trojfázového proudu: Dosahuje-li proud jedné fáze svého maxima, proudy ostatních dvou fází jsou opačné a poloviční.



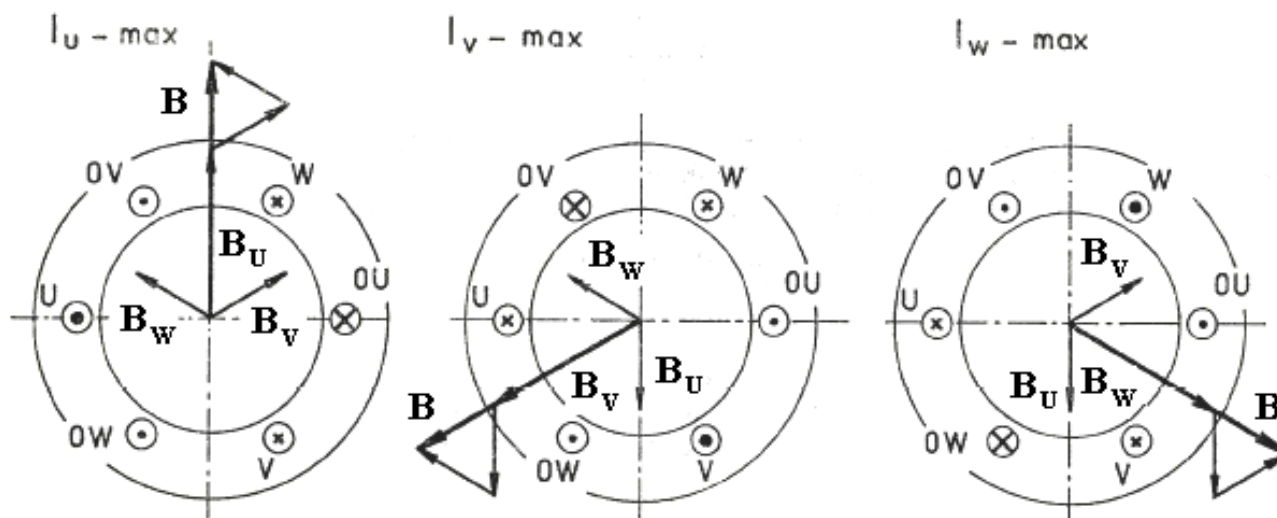


# Úvod do strojů na stř. proud - vznik točivého magnetického pole

- Pro kruhový závit platí pro mg indukci uprostřed vodiče obecně  $B = \frac{\mu \cdot I}{2 \cdot r}$
- Pro čas, kdy je proud fází U maximální ( $t = T/4 = 0,005\text{s}$ ) je proud fázemi V a W poloviční a opačný.
- Velikosti magnetických indukcí jednotlivých fází jsou tedy pro  $t = 0,005\text{s}$

$$B_U = \frac{\mu \cdot I}{2 \cdot r}, B_V = \frac{1}{2} \frac{\mu \cdot I}{2 \cdot r}, B_W = \frac{1}{2} \frac{\mu \cdot I}{2 \cdot r}$$

- Směr magnetické indukce jednotlivých fází a výsledný vektor (velikost a směr) magnetické indukce je naznačen v obrázku.





# Úvod do strojů na střídavý proud - vznik točivého magnetického pole

- Jak je vidět z obrázku, amplituda celkové magnetické indukce se nemění, ale v čase se mění její směr. Vzniká tak magnetické pole s magnetickou indukcí o stálé amplitudě otáčející se ve vzduchové mezeře prostorově stálou úhlovou rychlostí.
- Má-li stroj jeden **pólpár na fázi** (pro 3 fáze jde o 6 pólů), je úhlová rychlost otáčení magnetického pole shodná s úhlovou rychlostí harmonického trojfázového napětí/proudu.
- Pokud má stroj  $2.p.m$  pólů ( $p$ ...počet pólpárů na fázi a  $m$ ...počet fází), je úhlová rychlost točivého pole  $\omega_s$   $p$ -krát menší než úhlová rychlost harmonického trojfázového napájecího napětí/proudu  $\omega_1$ .

# Synchronní stroje - princip

## Princip synchronního motoru

- **Stator** - trojfázové vinutí vytváří uvnitř stroje točivé magnetické pole
- **Rotor** - chová se jako permanentní magnet (je realizován buď přímo permanentním magnetem nebo cívkou napájenou ss proudem). Rotor se natáčí ve směru pole a tím se otáčí mechanickou úhlovou rychlostí  $\omega_{mech}$

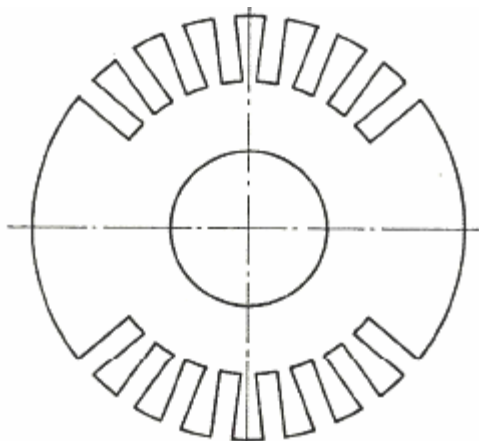
## Princip synchronního generátoru (alternátoru)

- **Stator** - trojfázové vinutí, ve kterém se indukují od rotoru trojfázové napětí o okamžitých hodnotách  $\varepsilon_i = -\frac{d\phi}{dt} = -l \cdot \vec{B} \vec{v} = -B \cdot l \cdot v \cdot \cos(\omega t)$
- **Rotor** - chová se jako permanentní magnet (je realizován buď permanentním magnetem nebo cívkou napájenou ss proudem). Rotor se otáčí rovnoměrnou mechanickou úhlovou rychlostí  $\omega_{mech}$ .
- Při sinusovém prostorovém průběhu magnetického pole budou indukovaná napětí sinusová a v jednotlivých cívkách vzájemně posunutá o  $120^\circ$ . Kmitočet indukovaných napětí bude  $f = \frac{p \cdot n_1}{60}$

# Synchronní stroje - použití a konstrukce

## Turboalternátor - pro parní turbíny

- Hladký rotor
- Dlouhý stroj s malým poloměrem ( $l/D=6$ )
- Rychloběžný (zpravidla 2-pólový,  $n=3000 \text{ min}^{-1}$ )



Rotor stroje s hladkým rotorem

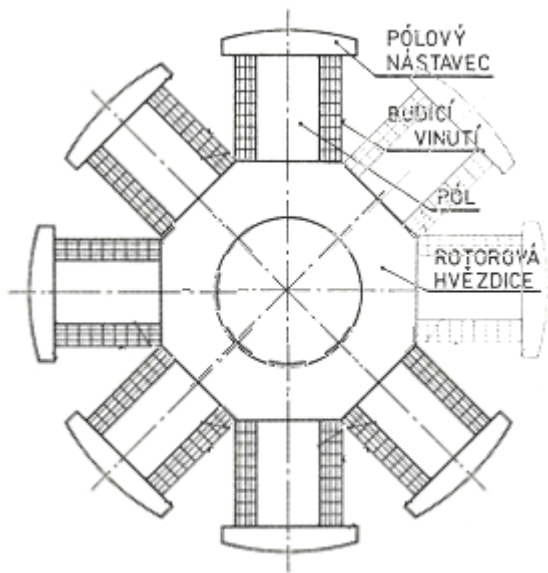
| S     | U     | $\cos \varphi$ | D     | l    | v     | $\delta$ | $B_{\delta}$ | $\eta$ |
|-------|-------|----------------|-------|------|-------|----------|--------------|--------|
| [MVA] | [kV]  |                | [cm]  | [cm] | [m/s] | [cm]     | [T]          | [%]    |
| 1,5   | 6,3   | 0,8            | 60    | 100  | 90    | 1,25     | 0,64         | 94,5   |
| 12    | 6,3   | 0,8            | 60    | 175  | 86    | 2,5      | 0,74         | 96,3   |
| 25    | 6,3   | 0,8            | 87    | 270  | 128   | 2,8      | 0,76         | 97,5   |
| 50    | 10,5  | 0,85           | 107,5 | 380  | 156   | 4,25     | 0,75         | 97,6   |
| 100   | 15,75 | 0,9            | 109,5 | 635  | 156   | 5,25     | 0,73         | 98,1   |
| 200   | 11,0  | 0,85           | 122   | 545  | 169   | 7,25     | 0,83         | 98,8   |

S - výkon,  
 U - napětí statoru,  
 $\cos \varphi$  - účinník,  
 D - průměr rotoru,  
 l - aktivní délka,  
 $\delta$  - vzduchová mezera,  
 v - obvodová rychlost,  
 $B_{\delta}$  - magnetická indukce ve vzduchové mezeře,  
 $\eta$  - účinnost.

# Synchronní stroje - použití a konstrukce

## Hydroalternátor - pro vodní turbíny

- Rotor s vyniklými póly
- Krátký stroj s velkým poloměrem ( $l/D=0,2$ )
- Pomaloběžný (vícepólový,  $p=60 \cdot f/n$ , tj. např. pro osmipólový stroj ( $p=4$ ) a  $f=50\text{Hz}$  je  $n=750 \text{ min}^{-1}$ )



| S<br>[MVA] | U<br>[kV] | $n_1$<br>[1/min] | $2p$ | $\cos \varphi$ | D<br>[m] | l<br>[m] | $\tau_p$<br>[cm] | $\delta$<br>[cm] | $B_\delta$<br>[T] | m<br>[t] |
|------------|-----------|------------------|------|----------------|----------|----------|------------------|------------------|-------------------|----------|
| 71,5       | 13,8      | 62,5             | 96   | 0,8            | 12,92    | 1,50     | 42,3             | 2,0              | 0,674             | 1075     |
| 123,5      | 13,8      | 68,5             | 88   | 0,85           | 14,30    | 2,00     | 51,0             | 2,3              | 0,765             | 1650     |
| 30         | 11,0      | 75               | 80   | 0,8            | 8,55     | 1,70     | 33,6             | 1,2              | 0,572             | 535      |
| 90         | 13,8      | 83,3             | 72   | 0,8            | 11,00    | 1,80     | 48               | 1,8              | 0,702             | 986      |
| 77,5       | 13,8      | 88,2             | 68   | 0,8            | 10,45    | 1,53     | 50,8             | 1,9              | 0,695             | 825      |
| 85,5       | 13,8      | 125              | 48   | 0,85           | 7,82     | 1,90     | 51,2             | 1,8              | 0,742             | 660      |
| 27         | 10,5      | 150              | 40   | 0,8            | 6,90     | 0,75     | 54,2             | 1,3              | 0,607             | 291      |
| 15         | 6,6       | 167              | 36   | 0,8            | 5,00     | 0,80     | 47,6             | 1,9              | 0,567             | 193      |
| 20         | 11,0      | 187,5            | 32   | 0,8            | 4,96     | 0,90     | 53,5             | 1,7              | 0,568             | 205      |
| 66         | 10,5      | 375              | 16   | 0,85           | 3,90     | 2,10     | 76,5             | 2,0              | 0,779             | 360      |
| 16,5       | 11,0      | 500              | 12   | 0,7            | 2,65     | 1,30     | 69,2             | 1,5              | 0,645             | 128      |

# Synchronní stroje - použití a konstrukce

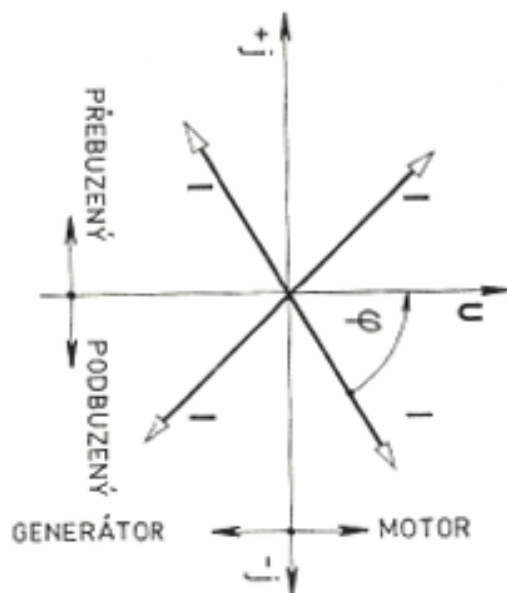
## Synchronní motor

- Výhody - možnost velkých výkonů (10-ky MW), nulový skluz (viz dále), dobrý účinník, možnost výroby jalové energie
- Nevýhody - Obtížný rozběh (nutno přivést na synchronní otáčky), během provozu nesmí vypadnout ze synchronismu, vysoká cena.
- Použití
  - pro trakční účely - rychlovlak TGV,
  - pražská tramvaj 15T (ForCity): Bezpřevodovkové individuálně řízené synchronní trakční motory s permanentními magnety řízené IGBT měniči.

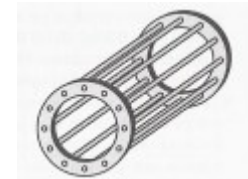
# Synchronní stroje - provozní stavy

Je-li synchronní stroj připojen na tvrdé síti

- Jalový výkon synchronního stroje regulujeme budicím proudem
- Činný výkon regulujeme mechanickým výkonem (momentem) na hřídeli



# Asynchronní stroje - princip



Princip asynchronního motoru s kotvou nakrátko (na obrázku) (*pozn. k rotoru - "ježek v kleci" (často hliníkový) je uložen v drážkách magnetického obvodu rotoru z plechů*)

- Princip založen na vzájemném elektromagnetickém působení točivého magnetického pole statoru a proudů vytvořených v tyčích rotoru tímto magnetickým polem (indukcí).
- Točivé magnetické pole je vytvořeno statorem jako u synchronních strojů (stejný princip i konstrukce).
- Napětí a proudy v rotoru se mohou indukovat točivým magnetickým polem pouze při úhlové rychlosti rotoru odlišné od úhlové rychlosti otáčení pole (při shodných rychlostech by se do tyčí rotoru napětí neindukovalo, netekl by proud a stroj by měl nulový moment). Odtud **asynchronní** motor.

## Rozběh motoru

- Ve stojícím vinutí rotoru se indukují napětí ( $B \cdot l \cdot v$ ), ta vyvolají v tyčích proudy ( $U/R$ ). Tak vzniká moment ( $k \cdot \Phi \cdot I$ ), který podle Lenzova zákona působí proti příčině svého vzniku (proti vzniku proudů v rotoru). To roztočí rotor ve směru točení točivého pole, čímž se zmenší rychlost protínání vodičů rotoru točivým polem a velikost indukovaného napětí a proudu v rotoru. Stroj pracuje jako motor.
- Při zvětšování zatěžovacího momentu na hřídeli se rotor zpomalí, čímž se indukuje větší napětí, protéká větší proud a vznikne větší moment rotoru.

# Asynchronní stroje - princip

## Asynchronní generátor

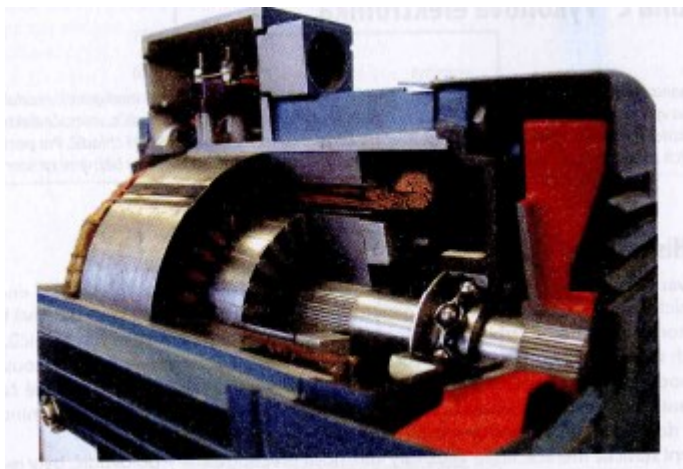
- Pokud začneme asynchronní stroj pohánět, bude rychlost rotoru vyšší než rychlost točivého pole. Smysl protínání vodičů (tyčí) rotoru se ve srovnání se smyslem u motoru opačný. Indukované napětí a proudy mají opačné znaménko, takže při stejném poli ve vzduchové mezeře má i moment opačný smysl než u motorického chodu. Vzniká tedy brzdicí moment (působící proti hnacímu momentu), který je příčinou vzniku rotorového proudu. Změnou směru proudu v rotoru dojde i ke změně směru proudu ve statoru, který tedy dodává energii do sítě. Tak se mechanická energie přeměňuje v elektrickou a stroj tak pracuje jako asynchronní generátor (dodává výkon do sítě).
- Relativní rychlost rotoru vůči točivému poli je  $n_2 = n_1 - n$ , kde
  - $n_1$  je rychlost točivého pole a
  - $n$  je rychlost rotoru.
- Skluz  $s = n_2 / n_1 = f_2 / f_1 = \omega_2 / \omega_1$



# Asynchronní stroje - použití

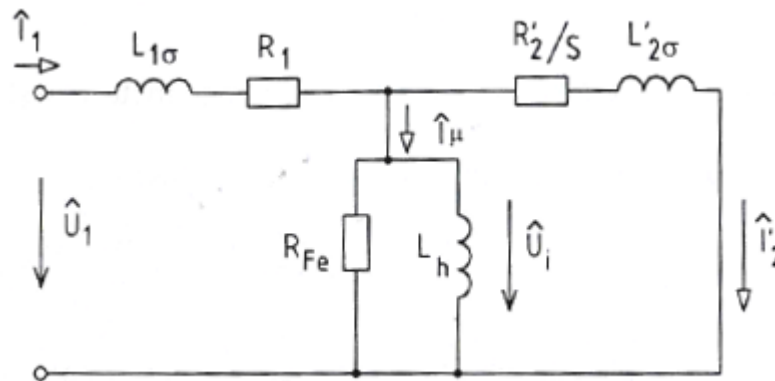
Nejpoužívanější motor (lokomotivy i cirkulárky)

- Výhody
  - Stejný stroj může pracovat jako motor i generátor (využití v elektrických pohonech železničních hnacích vozidel pro rekuperaci, tj. vrácení elektřiny zpět do sítě při brzdění)
  - Jednoduchý, levný
- Nevýhody
  - Při zapínání natvrdo (prostým připojením na síť) dochází k proudovému nárazu
  - Účinník 0.8-0.9, trvalé jalové zatížení napájecí sítě



# Náhradní schéma asynchronního motoru s kotvou nakrátko

- Stejně jako náhradní schéma transformátoru (viz dále) se sekundárním vinutím nakrátko. Pro přepočítané parametry rotoru (čárkovaně) platí stejné vztahy jako pro přepočítávání sekundárních veličin transformátoru.



# Asynchronní stroje - momentová charakteristika (závislost momentu na otáčkách)

Zjednodušený Klossův vztah

$$M = \frac{2 M_{\text{Max}}}{\frac{s}{s_{\text{Max}}} + \frac{s_{\text{Max}}}{s}}$$

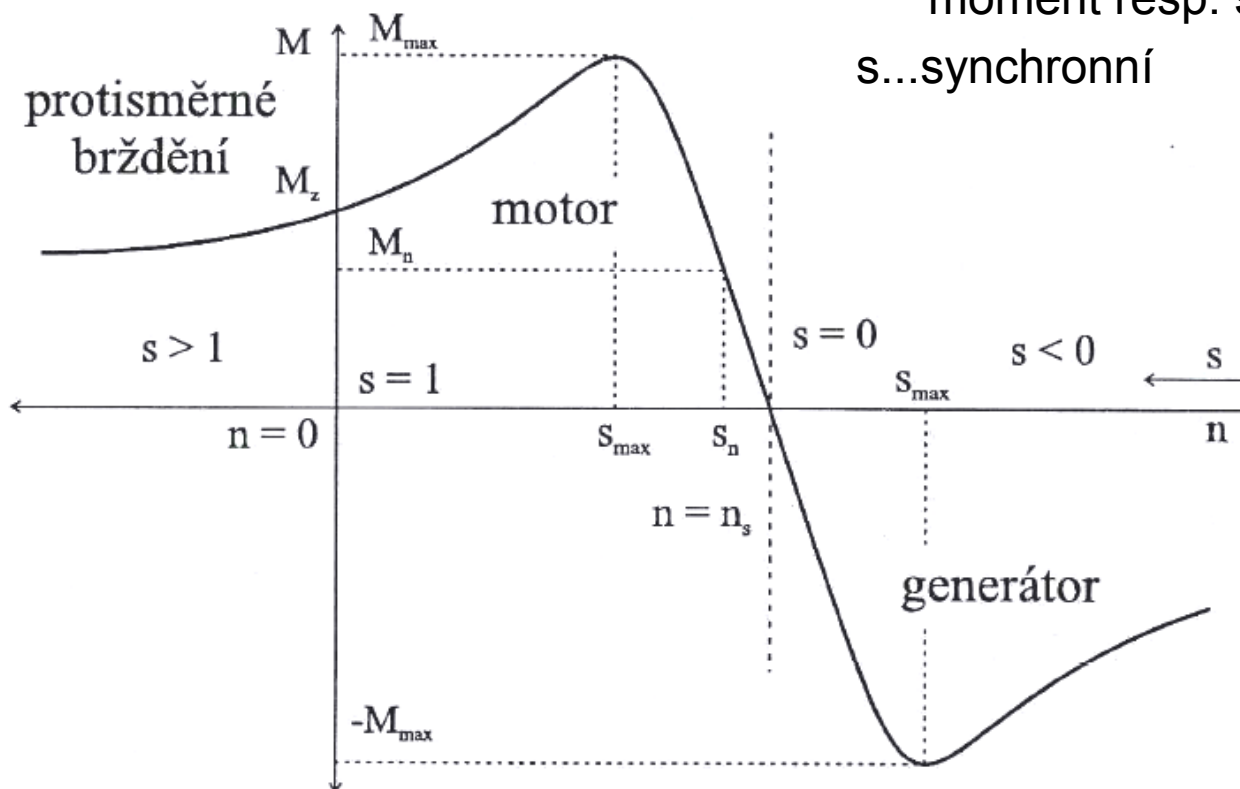
Význam indexů:

n...jmenovitý

z...záběrný

max...maximální, nazývá se  
moment resp. skluz zvratu

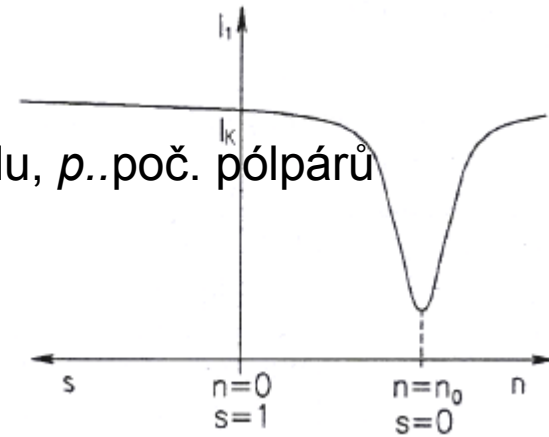
s...synchronní



# Asynchronní motory - principy regulace otáček motoru

Otáčky točivého pole  $n_1 = \frac{60 f_1}{p}$ , kde  $f_1$ ...frekv. napáj. proudu,  $p$ ..poč. pólů

Otáčky rotoru:  $n = n_1(1-s) = \frac{60 f_1}{p}(1-s)$ , kde  $s$ ...skluz



Nejčastější způsoby regulace otáček asynchronního motoru s kotvou nakrátko

- **Přímé připojení na síť** - rychlost dána frekvencí napájecího napětí a skluzem. Při zapnutí dojde k proudovému nárazu (běžně 6-tinásobek jmenovitého proudu - viz obrázek). Např. cirkulárka, ventilátor.
- **Frekvenční řízení** - mění se přímo **frekvence a amplituda** napájecího napětí, čímž se mění otáčky točivého pole. Toho se dosáhne pomocí měničů (výkonová elektronika - tranzistory IGBT, pulsně šířková modulace PWM, viz dále).
  - Např. pohony moderních lokomotiv.
  - Protože je indukované napětí  $u_i = - \frac{d\Phi}{dt}$ , je efektivní hodnota  $U_{i-ef} = N \cdot \Phi_m \cdot \frac{2\pi f}{\sqrt{2}}$
  - Pokud se nemá měnit moment stroje (přímo úměrný toku  $\Phi$ ), měl by být zachován konstantní poměr  $U/f$ . Takže při vyšší rychlosti motoru je vyšší frekvence i amplituda napájecího trojfázového napětí statoru.

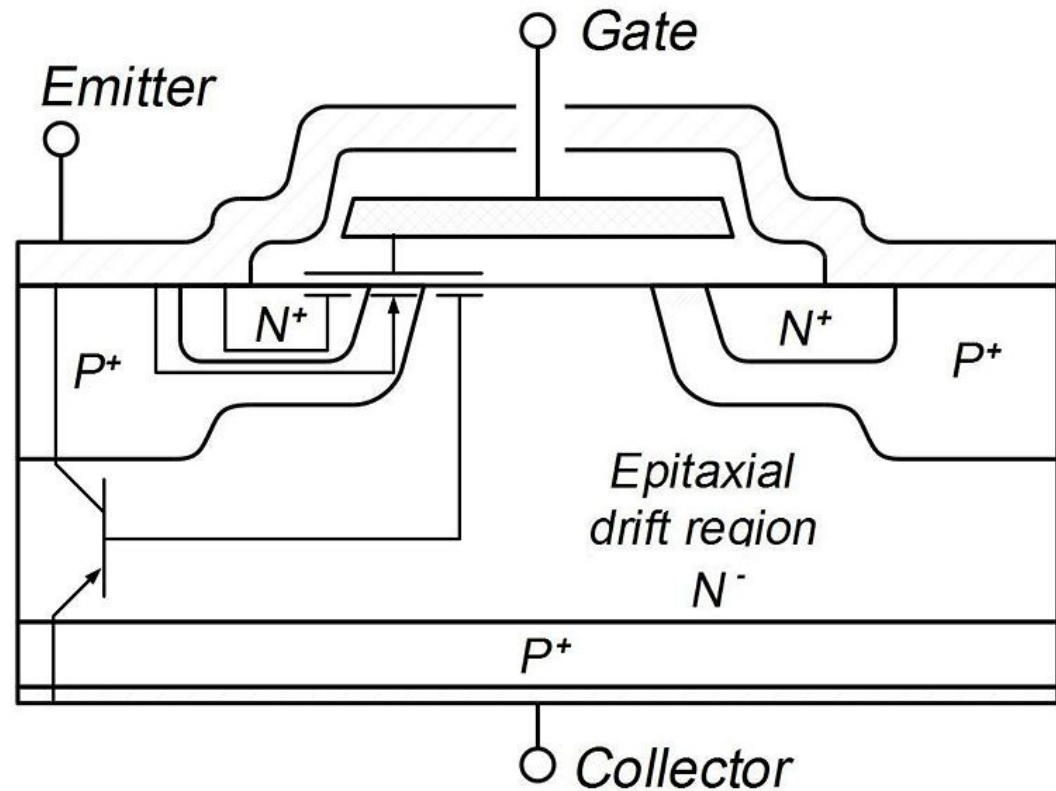
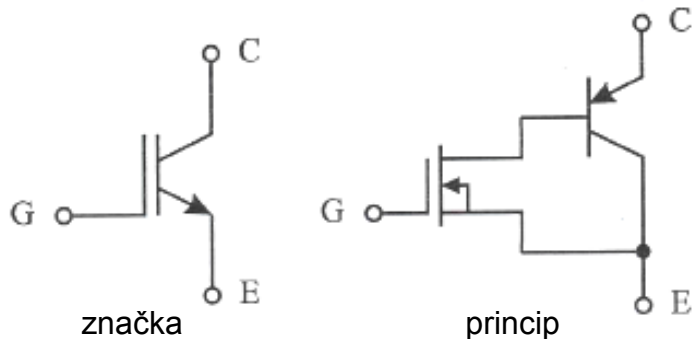
# Elektrické pohony

## Tranzistory IGBT

na obrázku IGBT 3300V/1200 A

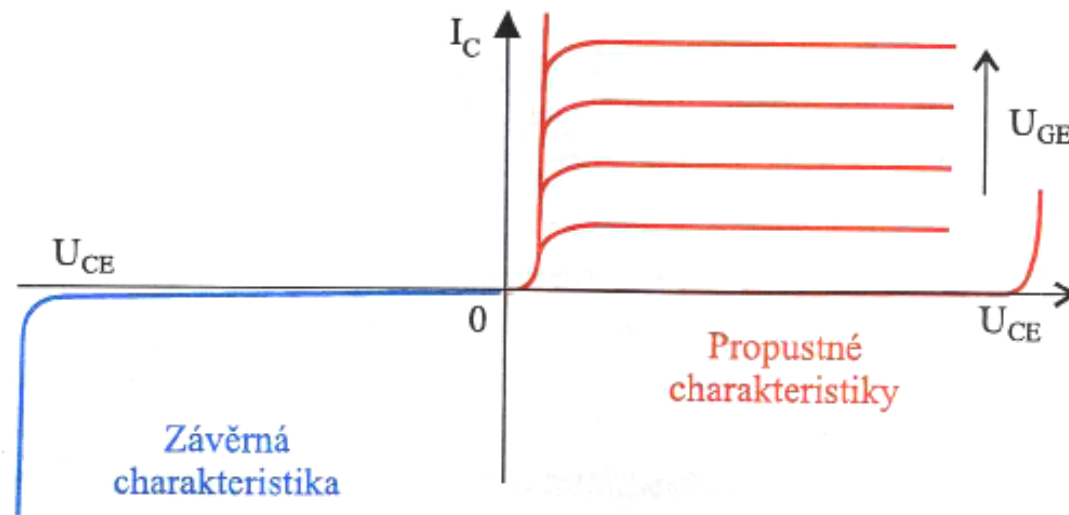
- IGBT = Insulated Gate Bipolar Transistor

- V principu jde o kaskádní spojení bipolárního a unipolárního tranzistoru. Proud báze koncového bipolárního tranzistoru PNP je spínán proudem unipolárního tranzistoru, řídicím signálem je tedy napětí unipolárního



# Tranzistory IGBT - charakteristiky

- Na pohled stejné jako u bipolárního tranzistoru, jen řídicí veličinou není  $I_B$ , ale  $U_{GE}$
- Používají se běžně pro 2000 A, 2000 V a spínací kmitočet 20 kHz



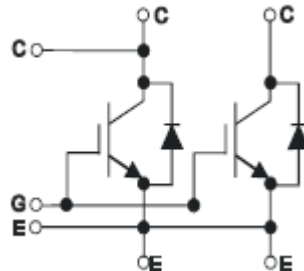
# Tranzistory IGBT

- Charakteristické parametry IGBT modulů (IGBT modul = IGBT tranzistor s antiparalelně zapojenou diodou)

| IGBT modul          | $I_C$ [A] | $U_{CE}$ [V] | $U_{CE\ sat}$ [V] | $I_{FSM}$ [A] | Cena [Kč] |
|---------------------|-----------|--------------|-------------------|---------------|-----------|
| 5SNA<br>1600N170100 | 1600      | 1700         | 2,5               | 13200         | 29231     |
| 5SNA<br>2400E170100 | 2400      | 1700         | 2,5               | 20000         | 39846     |
| 5SNA<br>1200G450350 |           |              | 3,1               | 9000          | 55093     |

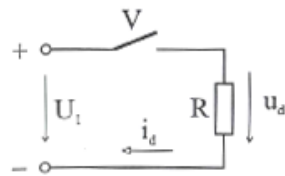


- Na obr. modul 5SNA 1600N170100
- Rozměry cca 130 x 140 x 38 mm
- Hmotnost 0,92 kg

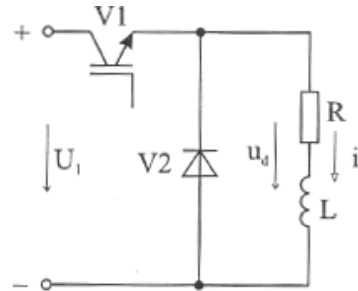


# Pulzní měnič pro motorický chod stejnosměrného pohonu pomocí IGBT

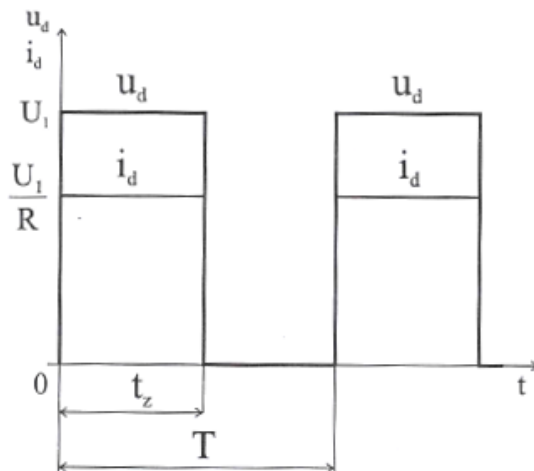
- Úkolem je získat ze stejnosměrného napětí stejnosměrné napětí dané velikosti. Na R zátěži se proud může měnit skokem, na RL zátěži (motor) nikoliv. Proud tedy přivedením pulzu bude růst nebo klesat po exponenciále (v souladu s vyvolaným přechodným dějem). Výsledné napětí bude zvlňené. Zvlňení bude záviset na spínací frekvenci pulzů. Střední hodnota napětí bude záviset na poměru doby sepnutí V1 a vypnutí V1.



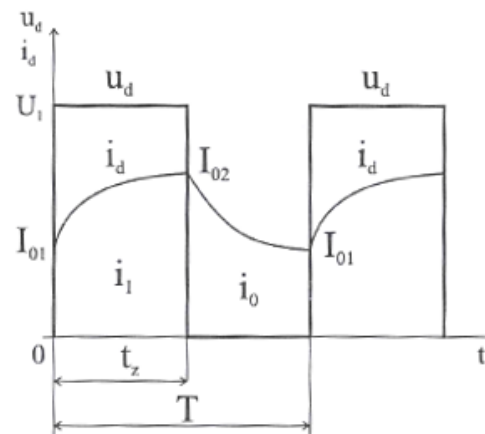
princip pulzního měniče



pulzní měnič pomocí IGBT



R (odporová) zátěž

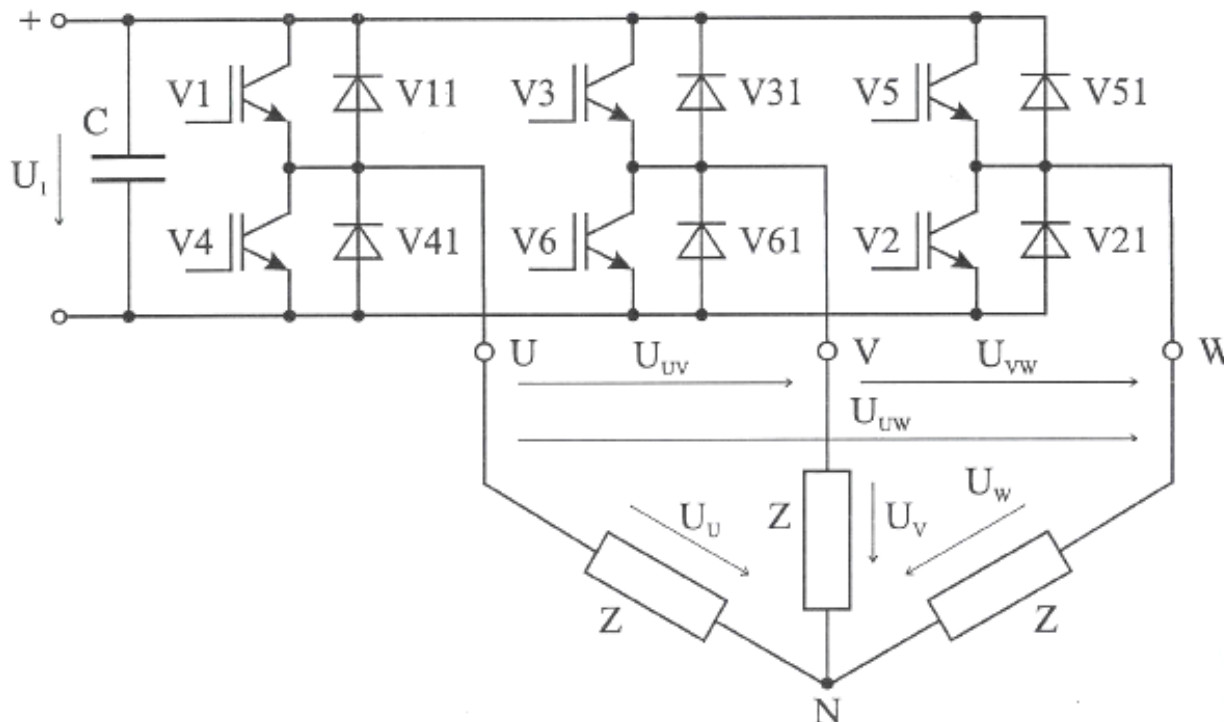


RL (odpor+indukčnost) zátěž



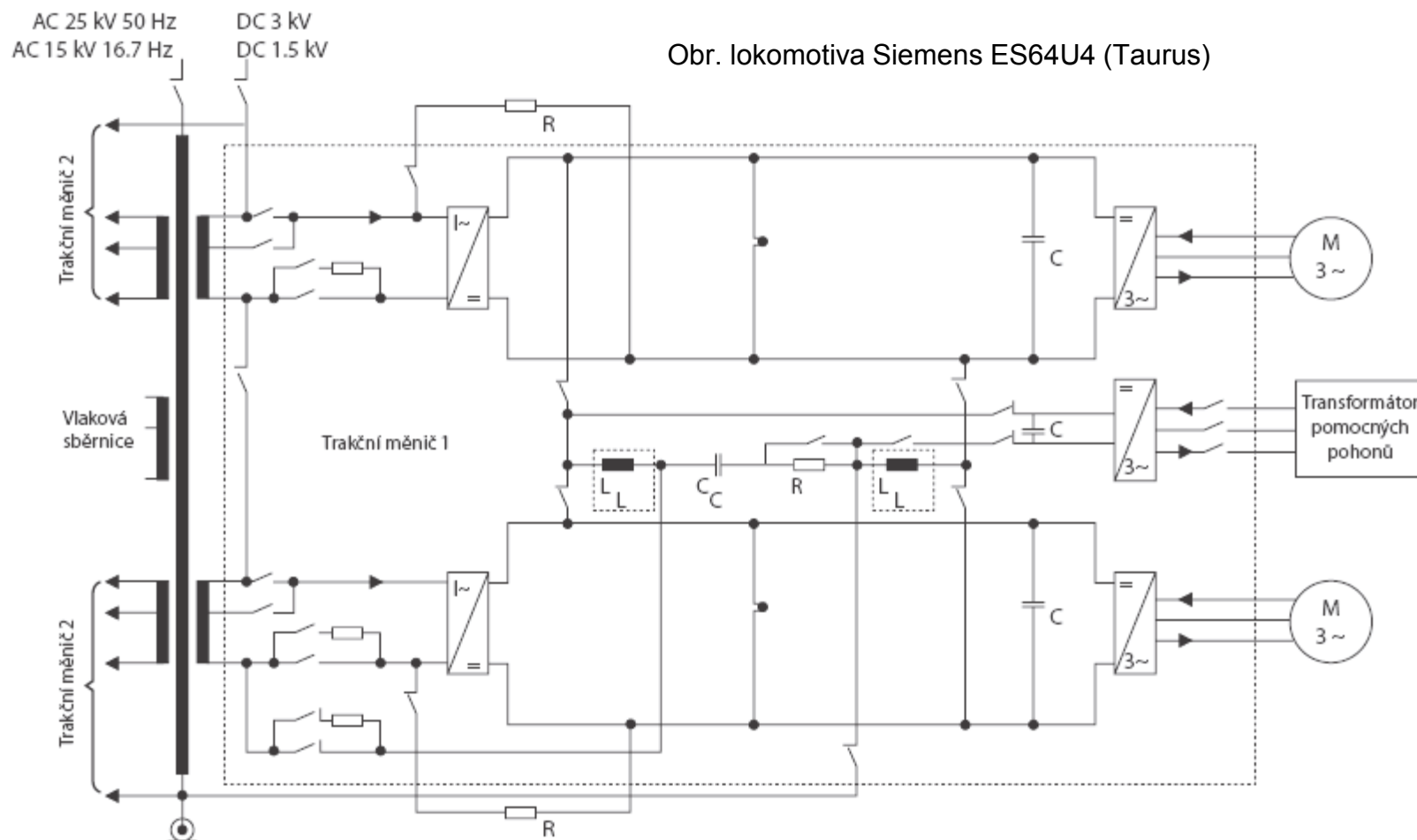
# Trojfázový střídač pomocí IGBT

- Úkolem je získat ze stejnosměrného napětí meziobvodu lokomotivy střídavé (sinusové) napětí pro napájení trojfázového statorového vinutí asynchronního motoru (vytvoření točivého pole).
- Zapojení viz obrázek. Z představuje statorové vinutí (indukčnost v sérii s odporem). Na indukčnosti se proud nemůže měnit skokem. Řízení výstupních napětí probíhá pomocí PWM (Pulse wide modulation) pulzně šířkové modulace. Čím déle bude přivedené napětí větší než původní, tím déle se bude exponenciálně odpovídající přechodnému ději na R-L blížit k hodnotě plného napětí meziobvodu.



# Pohony moderních lokomotiv s asynchronními motory

- Napětí z troleje (3 kV DC nebo 25 kV AC) se případně usměrní a převede na napětí stejnosměrného meziobvodu. Toto napětí se pak rozstřídá do tří fází a vytváří pomocí statorového vinutí točivé pole uvnitř motoru



# Elektrické stroje a pohony v českých železničních hnacích vozidlech

Trakční proudové soustavy v ČR:

- Stejnosměrná - 3 kV
- Střídavá - 25 kV, 50 Hz
- V Německu a Rakousku střídavá soustava 15 kV, 16.67 Hz

Popisovaná hnací vozidla

- Stejnosměrné elektrické lokomotivy ř. 150, 151
- Střídavé elektrické lokomotivy ř. 230
- Dvousystémové elektrické lokomotivy ř. 363
- Třísystémové elektrické lokomotivy ř. 380
- Stejnosměrné elektrické jednotky ř. 471
- Dieselelektrické lokomotivy ř. 714
- Dieselelektrické lokomotivy ř. 749, 751
- Dieselelektrické lokomotivy ř. 719



## Elektrické lokomotivy ř. 150 (pro 140 km/h), 151 (pro 160 km/h) (rok výroby 1978, rekon. 1996-2002), 4000 kW

**Přívod proudu** Odběr proudu z trakčního vedení zajišťují dva polopantografové sběrače proudu s pneumatickým pohonem. Přes odpojovače s elektropneumatickými ventily je proud veden do hlavního vypínače. Jedná se o elektromagnetický vypínač s hodnotou vypínacího proudu 2 800 A. Hlavní vypínač je ovládán dálkově dvěma ovladači z každého stanoviště. Od hlavního vypínače je elektrický proud veden k vysokonapěťovým přístrojům.

**Regulace výkonu** Lokomotiva je vybavena modernějším typem odporové regulace. Rozjezdový odporník je uložen ve střeše a je intenzivně chlazen axiálními ventilátory, napájenými z úbytku napětí na odporníku. Odporník je vyroben z fechrálu, což je slitina železa, chromu a hliníku, a je dimenzován pro trvalé zatížení. Postupné zkracování odporníku řídí hlavní kontrolér s individuálními elektropneumatickými stykači. Ty jsou spínány podle programu mezikontroléru nebo podle mikroprocesorového řídícího systému (na některých strojích). Mezikontrolér, resp. řídící systém řídí strojvedoucí ze stanoviště pomocí pákového řídícího kontroléru.

**Trakční motory** Lokomotiva je poháněna čtyřmi trakčními motory typu AL 4741 Flt; byly tedy použity stejné motory jako na strojích řady 350. Jedná se o [stejnoseměrné sériové šestipólové](#) elektromotory s kompenzačním vinutím, umožňujícím maximální kvalitu průběhu komutace. Tato moderní koncepce spolu s výborným poměrem hmotnosti a výkonu vynesla motory na vrchol tehdejší světové produkce. Trakční motory jsou řazeny do dvou motorových skupin. [Zapojení trakčních motorů je sériové a sérioparalelní](#). Přechod ze série na sérioparalel je můstkový, dvoustupňový a provádí jej hlavní kontrolér. Ventilace trakčních motorů je cizí - zajišťují ji ventilátory, poháněné stejnosměrnými elektromotory.

**Elektrodynamická brzda** Lokomotiva je vystrojena výkonnou elektrodynamickou brzdou. Ta pracuje pouze v režimu brzdění do odporníku. Regulace výkonu EDB je pulzní; výkon brzdy je dán tlakem vzduchu v převodníku, který zadává strojvedoucí řídícím kontrolérem. V režimu brzda jsou trakční motory cize buzeny. Elektrodynamická brzda nabíhá automaticky při zahájení brzdění samočinnou tlakovou brzdou, je ji ale možné používat i samostatně. EDB je funkční v rychlostním rozmezí 140-45 km/h (řada 150), resp. 160-25 km/h (řada 151). Při poklesu rychlosti pod dolní hranici je účinek automaticky převáděn na pneumatickou brzdou.

**Řízení** Strojvedoucí řídí lokomotivu manuálně, a to pákovým řídícím kontrolérem. Přepínáním kontroléru ovládá strojvedoucí relé, které řídí pneumatický motor mezikontroléru. Jeho kontakty poté spínají příslušné stykače hlavního kontroléru. Celkem je k dispozici [56 jízdních stupňů](#). Řízení lokomotivy v režimu "brzda" provádí strojvedoucí rovněž pákovým řídícím kontrolérem. Příslušnými polohami tohoto ovladače je zvyšován nebo snižován tlak v převodníku, kde je tlak vzduchu převáděn na elektrickou veličinu, která je vstupním signálem pro regulátor EDB. Z výroby byly lokomotivy vybaveny automatickou regulací rychlosti, ale zařízení bylo později demontováno, protože ve spojení s odporovou regulací nepodávalo dobré výsledky. Lokomotivy vybavené řídícím systémem umožňují automatické řízení rozjezdu, které se ale v praxi příliš nepoužívá. Tento způsob řízení spočívá v nastavení požadované rychlosti otočným přepínačem, načež začne narůstat trakční proud. V okamžiku, kdy je dosaženo požadovaného trakčního proudu, stiskne strojvedoucí tlačítko "Automatický rozjezd" a lokomotiva se rozjede přibližně na požadovanou rychlost při zadaném trakčním proudu. Z ukazatelů jsou v řídícím pultu instalovány dva ampérmetry trakčního proudu, voltmetr napětí v troleji, manometr hlavních vzduchojemů, brzdového potrubí a brzdových válců a manometr tlaku v převodníku. Na tomto ukazateli může strojvedoucí sledovat intenzitu elektrodynamického brzdění podobným způsobem jako na manometru brzdových válců.

**Baterie, ochrany, výbava** Zdrojem napětí pro palubní síť je nikl-kadmiová akumulátorová baterie o kapacitě 150 Ah. Napětí palubní sítě činí 48 V stejnosměrných. Baterie je dobíjena dvěma nabíjecími dynamy, poháněnými od ventilátorů trakčních motorů. Ve výbavě lokomotivy je ochrana proti skluzu, nadproudová, diferenciální a přepětová ochrana, lokomotivy řady 151 jsou navíc vybaveny mikroprocesorovou ochranou proti smyku. Lokomotiva je vybavena diagnostikou poruch s výstupem nalevo od řídícího pultu a nad čelním oknem. Lokomotivy řady 151 jsou vybaveny elektronickou rychloměrnou soupravou Metra LT, která nahradila původní mechanické rychloměry, které byly umístěny z důvodu velkého sklonu čelního skla netradičně k pravé stěně stanoviště. Elektronický rychloměr je i na některých lokomotivách řady 150. Lokomotivy řady 150 jsou vystrojeny mobilní částí liniového vlakového zabezpečovače LS IV s návěštním opakovacem zabudovaným v řídícím pultu. Rekonstruované stroje řady 151 mají původní zabezpečovač nahrazen novým typem LS 90.



## Elektrické lokomotivy ř. 230 (pro 110 km/h) (rok výroby 1966-7, 3080 kW)

Elektrický proud z trakčního vedení odebírají dva dvouramenné sběrače proudu. Proud je do strojovny veden přes tlakovzdušný hlavní vypínač, umístěný na střeše. Pohon vypínače je zavěšen pod stropem ve strojovně. Uprostřed strojovny je umístěn [trakční transformátor](#) LTS 4.2-25. Transformátor je částečně zapuštěn pod úroveň podlahy strojovny, což jednak snižuje těžiště lokomotivy a jednak umožňuje využít prostor mezi transformátorem a stropem strojovny. Na transformátoru je umístěno jeho příslušenství - Buchholzovo relé, dilatační nádoba, olejové čerpadlo, autotransformátor a přepínač odboček. [Regulace výkonu](#) je vysokonapěťová [na primární straně transformátoru](#) a je provedena [přepínáním odboček autotransformátoru](#). Přepínání odboček zajišťuje pneumatický servomotor s elektropneumatickými ventily, ovládaný řídicím kontrolérem ze stanoviště strojvedoucího. Výkon nastavovaný přepínáním odboček je poté v trakčním transformátoru upraven na určité napětí, které je poté přiváděno na [čtyři křemíkové diodové usměrňovače](#) ŘV 18 [v můstkovém zapojení](#); usměrňovače jsou umístěny v plechových skříních nad podvozky. Pod usměrňovači se nacházejí skříně [tlumivek](#). Zvlněný stejnosměrný proud, vzniklý usměrněním, je poté přiváděn do trakčních motorů typu 5 AL 4446 iP. Jedná se o [paralelně zapojené stejnosměrné sériové šestipólové elektromotory](#) s cizí ventilací. Lokomotiva pracuje ve [32 jízdních stupních](#) a [čtyřech šuntovacích](#) stupních. Palubní síť má napětí 48 V stejnosměrných. Nekonenčně řešeny jsou i řídicí pulty s řídicím kontrolérem ve tvaru kruhové výseče. Svislá část pultu obklopuje strojvedoucího ze tří stran - nalevo je radiostanice a telefon, uprostřed ukazatele (voltmetr trolejového napětí, ukazatel jízdních stupňů, voltmetr trakčních motorů a dva ampérmetry trakčního proudu) a kontrolní svítilny a v pravé části pultu jsou tři manometry. Na vodorovné části pultu uprostřed je ovládání trakce (přepínač směru, řídicí kontrolér), vlevo přepínače a spínače (řízení, sběrače, kompresory, ventilátory, osvětlení) a napravo brzdiče obou pneumatických brzd. Řídicí obvody lokomotivy umožňují dvoučlenné řízení. Lokomotiva je vybavena mobilní částí liniového vlakového zabezpečovače LS IV.



## Elektrické lokomotivy ř. 363 (pro 120 km/h) (rok výroby 1980, 3060 kW)

**Přívod proudu:** Odběr proudu z trolejového drátu zajišťují dva pneumaticky ovládané sběrače proudu v polopantografovém provedení. Sběrače jsou dvoupřítlakové - každá napájecí soustava totiž vyžaduje jiný přítlak smykadla na trolejový drát. Přítlak je regulován tlakem ve válci pohonu sběrače. Proud je dále veden přes odpojovače do indikačního obvodu. Při jízdě na stejnosměrném systému je dále zařazena odrušovací tlumivka, stejnosměrný elektromagnetický hlavní vypínač 4 VPD 3 (resp. 5 VPD 3 u lokomotiv poslední série - 69 E 5) a vstupní tlumivka. Další napájení je prováděno přes polovinu trakčního usměrňovače, čímž je zamezeno vybíjení filtru do troleje. Pokud je lokomotiva napájena střídavým proudem, protéká proud od indikačního obvodu do střídavého tlakovzdušného hlavního vypínače 1 VVA 3 (4 VVA 3 na strojích série - 69 E 5) a následně na primární vinutí trakčního transformátoru typu 6363-48. Jedná se o olejem chlazený transformátor s pevným převodem. Ze sekundárních vinutí trakčního transformátoru jsou napájeny můstky trakčního usměrňovače DIUS-DELTA-A, což je vzduchem chlazený usměrňovač složený z křemíkových diod.

**Regulace výkonu:** Lokomotiva je vybavena bezkontaktní pulzní maloztrátovou regulací výkonu na bázi plynulé změny napětí na kotvách trakčních motorů. Toto napětí je řízeno čtyřmi trakčními (kotevními) měniči PULS-DELTA-A z produkce ČKD Elektrotechnika. Jedná se o fázově přesazené pulzní dvoufázové měniče, osazené tyristory a diodami a prosávané chladícím vzduchem. Modulace pulzů je šířková, probíhající na třech frekvencích - 33 1/3 Hz, 100 Hz a 300 Hz. Vždy dva kotevní měniče jsou paralelně zapojeny a napájejí dva sériově řazené trakční motory. Na regulaci kotevními měniči navazuje cca od 60 km/h plynulá regulace buzení trakčních motorů; frekvence trakčních měničů poté zůstává na 100 Hz ("horní stovka"). Budicí vinutí všech čtyř trakčních motorů jsou zapojena do série a jsou napájena ze společného pulzního budicího měniče BATYR-DELTA-A, pracujícího s násobky frekvencí 33 1/3 Hz až do frekvence 600 Hz.

**Trakční motory:** Lokomotiva je osazena čtyřmi trakčními motory typu AL 4562 FiR. Jde o [stejnosměrné šestipólové cize buzené elektromotory](#) s kompenzačním vinutím, přizpůsobené pro napájení zvlněným (usměrněným) proudem. Ventilaci trakčních motorů realizují dva axiální ventilátory, zajišťující zároveň také chlazení trakčních měničů. [Dva motory v jednom podvozku jsou trvale zapojeny do série, přičemž takto vzniklé motorové skupiny jsou zapojeny paralelně.](#) Řazení trakčních motorů lokomotivy je tedy [trvale sérioparalelní](#).

**Elektrodynamická brzda:** Lokomotiva je vystrojena elektrodynamickou odporovou brzdou. Ve skříní na střeše lokomotivy jsou uloženy dva brzdové odporníky, zhotovené z fechrálu a chlazené čtyřmi axiálními ventilátory, poháněnými elektromotory napájenými z úbytku napětí na odporcích. Regulace výkonu EDB je plynulá, výkon je dán tlakem v převodníku. EDB je funkční v rychlostním rozmezí 120-7 km/h. Při poklesu rychlosti pod spodní hranici se EDB odpojuje a je nahrazena pneumatickou brzdou.

**Řízení:** Lokomotiva může být řízena v ručním režimu, automatickém režimu nebo v režimu Nouzová jízda.

**Baterie:** Palubní síť o napětí 48 Vss je napájena z alkalické akumulátorové baterie, dobíjené statickým elektronickým dobíječem.

více na <http://www.atlaslokomotiv.net/loko-363.html>



## Elektrické lokomotivy ř. 380 (pro 120 km/h) (rok výroby od 2007), 6400 kW

Trakční motory odebírají dva pneumaticky ovládané polopantografy s měnitelným přitlakem v závislosti na napájecí soustavě. Při napájení stejnosměrným proudem o napětí 3 kV je proud veden přes odpojovače a elektromagnetický hlavní vypínač na sekundární vinutí trakčního transformátoru, které při napájení stejnosměrným proudem slouží jako tlumivka vstupního filtru. Při napájení střídavým proudem 25 kV–50 Hz je proud přes tlakovzdušný hlavní vypínač veden na primární vinutí trakčního transformátoru, které je přepnuto na požadovanou střídavou napětovou soustavu.

**Transformátorové a usměrňovací soustrojí** **Trakční transformátor** je zavěšen pod lokomotivním rámem mezi podvozky a je chlazen silikonovým olejem. Transformátor sestává z primárního vinutí, osmi sekundárních vinutí pro trakci a čtyř vinutí pro potřeby vlakového topení. Přepínání střídavých napětových soustav se děje přepnutím odbočky na primárním vinutí transformátoru.

**Regulace výkonu** Z trakčního transformátoru je proud přiváděn do dvou skříní trakčních měničů, umístěných ve strojovně. Trakční měniče jsou typu 1 MS-1, jedná se o výrobky ŠKODY Electric. Trakční měnič je sestaven ze čtyřkvadrantového měniče, stejnosměrného meziobvodu, dvou dvoudílných trakčních napětových střídačů a pulzního měniče pro jeden blok elektrodynamické brzdy. Výkonovým prvkem měniče jsou vodou chlazené IGBT struktury EUPEC.

**Trakční motory** Pohon lokomotivy je zabezpečován čtyřmi trakčními motory typu ŠKODA Electric ML 4550 K/6. Jedná se o **střídavé třífázové asynchronní elektrické stroje s kotvou s klecovým vinutím nakrátko**. Statorové vinutí je zapojeno do dvojité hvězdy. Trakční motory jsou napájeny z trakčních střídačů. Ventilace trakčních motorů je řešena jako cizí; zajišťují ji axiální ventilátory poháněné asynchronními elektromotory. Trakční motory se vyznačují velmi vysokým výkonem při poměrně malých rozměrech a hmotnosti.

**Pomocné pohony** Pomocné pohony, tj. pohony ventilátorů a kompresoru, jsou řešeny jako **střídavé třífázové asynchronní elektromotory**. Tyto jsou napájeny ze střídačů, napájených ze sítě o napětí 570 V ss. Tato síť je galvanicky oddělena od vysokonapětových obvodů.

**Elektrodynamická brzda** Lokomotiva je vystrojena elektrodynamickou brzdou, pracující v odporovém nebo rekuperačním režimu. V režimu odporového brzdění se generovaná elektrická energie ničí v dílích odpornicích, uložených v brzdových blocích. Každý blok obsahuje čtyři brzdové odporníky a axiální ventilátor, poháněný asynchronním motorem. Brzdové odporníky jsou trvale zatížitelné.

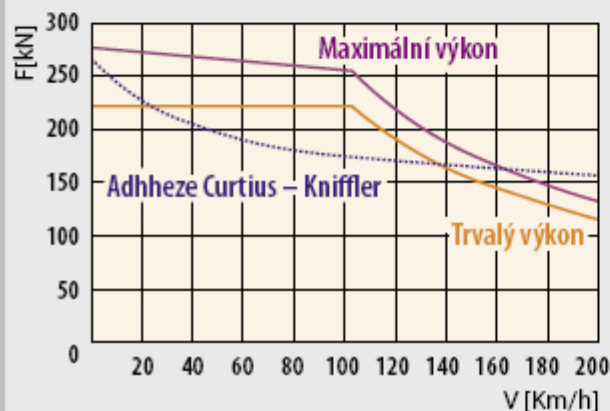
**Řízení** Řízení trakce je mikroprocesorové. Lokomotiva může být řízena v manuálním režimu, v režimu automatické regulace rychlosti (ARR) nebo v režimu automatického vedení vlaku (AVV). V manuálním režimu strojvedoucí volí poměrný tah sdruženou jízdní pákou, která slouží jak pro regulaci poměrného tahu, tak pro ovládání samočinné tlakové a elektrodynamické brzdy. V režimu ARR navolí strojvedoucí požadovanou rychlost na klávesnici a doplní požadavkem na poměrný tah. Pokud je lokomotiva řízena v režimu AVV, zajišťuje tento systém v podstatě zcela automatické řízení vlaku na základě magnetických informačních bodů na trati a informací zadaných strojvedoucím. Ve spolupráci se systémem CRV - centrálním regulátorem vozidla zajišťuje systém AVV kromě samotného řízení jízdy vlaku také součinnost elektrodynamické a pneumatické brzdy. V řídicím pultu jsou zabudovány dva LCD monitory - jeden pro diagnostiku a druhý pro samotnou jízdu. Řídicí obvody lokomotivy jsou navrženy pro dvoučlenné řízení a umožňují ovládání lokomotivy z řídicího vozu.

**Baterie, výbava, ochrany** Palubní síť má napětí 24 Vss a je napájena z nikl-kadmiové akumulátorové baterie. Ta je dobíjena statickým dobíječem. Lokomotiva disponuje skluzovou ochranou, přepětovou ochranou, nadproudovou ochranou, diferenciální ochranou a mikroprocesorovým protismykovým systémem. Lokomotiva je vybavena elektronickou rychloměrnou soupravou Metra. Vedle českého vlakového zabezpečovače LS 90 od firmy AŽD je vybavena také zabezpečovačem podle evropského standardu ERTMS - konkrétně zařízením ETCS Level 2 s moduly GSM-R, určenými pro radiovou komunikaci. Součástí soustavy vlakových zabezpečovačů jsou také zabezpečovače pro provoz na jednotlivých železničních správách. Vedle zabezpečovače LS 90 pro provoz na ČD a ZSSK jsou to systémy LZB 80E (PZB 90 Indusi) - DB a ÖBB, EDA 3 - PKP a EVM 120 - MÁV.

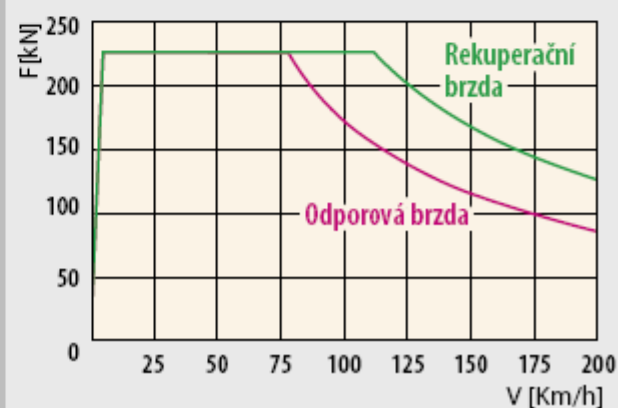


- Určení: Univerzální třísystémová lokomotiva pro osobní a nákladní dopravu v Česku, Slovensku, Polsku, Maďarsku, Rakousku a Německu
- Napájecí systémy: 3 000 V ss; 25 kV, 50 Hz a 15kV, 16,7 Hz
- Rozchod: 1 435 mm (možno i 1520 mm)
- Uspořádání dvojkolí: Bo'Bo'
- Maximální výkon: 7 200 kW na všech napájecích systémech
- Trvalý výkon: 6 400 kW na všech napájecích systémech (při trvalé rychlosti 102 km/h)
- Výkon EDB na obvodu kol při:
  - rekuperaci: 6 963 kW
  - brzdění do odporníku: 4 400 kW trvale
- Maximální rozjezdový proud (jedné fáze trakčního motoru) 647 A
- Tažná síla na háku při trvalém výkonu: 213 kN
- Rozjezdová tažná síla: 274 kN
- Maximální brzdná síla EDB: 226 kN
- Maximální rychlost: 200 km/h
- Převod: 1 : 4,06
- Celková hmotnost: 87,6 t
- Délka přes nárazníky: 18 000 mm
- Profil lokomotivy: UIC 505-1
- Maximální šířka lokomotivy: 3080 mm
- Šířka skříně lokomotivy: 2 940 mm
- Výška lokomotivy se staženými sběrači: 4275 mm nad TK
- Vzdálenost otočných čepů: 8 700 mm
- Rozvor podvozků: 2 500 mm
- hmotnost podvozku: 15,8 t
- Maximální rozjezdový proud (jedné fáze trakčního motoru) 647 A
- Hmotnost na nápravu: 22 t
- Průměr kol: 1 250 mm nová, 1 170 mm plně opotřeбенá
- Minimální poloměr oblouku při průjezdu traťovou rychlostí: 120 m

## Trakční charakteristika



## Brzdová charakteristika







## Elektrické jednotky ř. 471 (pro 140 km/h) (rok výroby od 1997, 2000 kW)

K odběru proudu je určen jediný polopantografový sběrač ŠKODA 3 LSP 40/S, umístěný ve snížené části střechy trakčního vozu. Hlavní vypínač je typu N1B4G3 s vypínacím proudem 1 250 A. [Trakční měnič](#) se skládá z dvanácti [IGBT tranzistorů](#). Trakční motory jsou [střídavé třífázové asynchronní šestipólové stroje](#) s vlastním chlazením, zapojené do dvojité hvězdy a napájené napěťovými střídači. [Elektrodynamická brzda](#) je primárně [rekuperační](#), při vzrůstu vstupního napětí nad 3 600 V [odporová](#). Regulaci výkonu EDB zajišťuje také měnič s prvky IGBT. Primární měnič pomocných pohonů sestává ze čtyř IGBT tranzistorů. Palubní síť o napětí 24 V je napájena z baterií Saft Ferak 20 KPM 300 o kapacitě 300 Ah. Baterie, jakož i řídicí systém jsou dobíjeny měničem 540/24 V. Řízení je mikroprocesorové, všechny tři vozy jsou vybaveny vlastními vozovými počítači. Komunikace probíhá po datové sběrnici. Řízení soupravy je možné ve třech režimech. V manuálním režimu strojvedoucí přímo volí požadovaný poměrný tah, a to pomocí hlavní jízdní páky (HJP), kterou se ovládá i samočinná a elektrodynamická brzda. V režimu ARR se navolí požadovaná rychlost, která je posléze automaticky udržována. Třetí režim řízení je řízení pomocí systému AVV - automatické vedení vlaku. Zobrazování všech důležitých údajů, výstup AVV jakož i komunikaci s ostatními vozy soupravy zprostředkovává monitor s dotykovým ovládáním, integrovaný do řídicího pultu. Jednotka je vybavena vlakovým zabezpečovačem LS 90 od firmy AŽD a protismykovým zařízením. Informovanost cestujících zabezpečuje informační systém UniControls.



# Dieselelektrické lokomotivy ř. 714

(rok výroby 1971-1979, rekonstr. 1992-1997)

## 2x250 kW nebo 2x300 W

Dva trakční alternátory jsou střídavé **třífázové** stroje typu TA 611, které po usměrnění proudu v individuálních **usměrňovačích** PA 17 napájejí **čtyři trakční motory** TE 005 E. Jedná se o **stejnoseměrné sériové čtyřpólové elektromotory**. K zajištění ideální spolupráce vznětového motoru a trakčního alternátoru je určen elektronický regulátor, zajišťující zároveň ochranu proti skluzu. V kabině strojvedoucího jsou diagonálně umístěny dva nové řídicí pulty s elektronickými rychloměry a pákovými řídicími kontroléry. K dispozici je **9 jízdních a 9 brzdových** stupňů. Na řídicích pultech jsou dále instalovány ampérmetry trakčních alternátorů, ampérmetr trakčních motorů a otáčkoměry spalovacích motorů. Ostatní ukazatele (teploměry chladicí vody, tlakoměry oleje, voltmetry a ampérmetry jednotlivých sítí a jejich dobíjení), spínače, jističe a signalizační panel poruch jsou umístěny ve skříni jističů, umístěné ve stěně kabiny blíže k zadnímu (kratšímu) představku. **Elektrodynamická brzda je odporová** se stupňovitou regulací. Ovládá se řídicím kontrolérem. Brzdový odporník je uložen v zadní kapotě. Elektrický rozváděč je také umístěn v zadním kratším představku. Palubní síť lokomotivy má napětí 24 V stejnosměrných a je napájena z akumulátorové baterie 18 KPH 150 P, resp. 75 NKS 150 o kapacitě 150 Ah. Ve výbavě lokomotivy nechybí zařízení pro kontrolu bdělosti strojvedoucího KBS-E. Lokomotiva je vybavena systémem pro osobní dopravu - Zastávka na znamení.



# Dieselelektrické lokomotivy ř. 749, 751 (rok výroby 1964 - 1971), 1103 kW

**Trakční generátor** - Přeměnu mechanické energie spalovacího motoru na elektrickou energii nutnou pro napájení trakčních motorů zajišťuje trakční generátor - **dynamo** typu TD 802 C. Jedná se o **stejnoseměrný šestipólový** elektrický točivý stroj **s cizím buzením** a vlastní ventilací. Od výstupního hřídele trakčního dynama jsou klínovými řemeny poháněny další dva elektrické stroje - budič trakčního dynama a nabíjecí dynamo. V obou případech se jedná o stejnosměrné elektrické stroje obdobné konstrukce. Lokomotivy 751.316-1 ČD a 751.141-3 ČD, které jsou vybaveny pomocným motorgenerátorem, mají instalován pomocný trakční generátor typu A 250 L04, což je střídavý třífázový synchronní stroj.

**Trakční motory** Pohon lokomotivy zabezpečují **čtyři trakční motory** typu ČKD TE 005 E v odlehčeném provedení. Jedná se **stejnoseměrné sériové čtyřpólové** elektromotory s pomocnými póly a cizí ventilací. Trakční motory jsou koncipovány pro provoz se zeslabeným magnetickým polem - ve vyšších rychlostech jsou automaticky řazeny dva šuntovací stupně. Všechny čtyři **motory** jsou trvale zapojeny **paralelně**.

**Topný alternátor** Na lokomotivách řady 749 je namísto parogenerátoru dosazen topný alternátor pro elektrické vytápění vlaku. Topný alternátor je typu TA 415; jedná se o **střídavý třífázový synchronní** elektrický točivý stroj s vlastní ventilací. Topný alternátor je poháněn od trakčního dynama. V souvislosti s instalací topného alternátoru byl dosazen také elektronický regulátor topného alternátoru a jeho elektrický rozváděč.

**Regulace výkonu** Otáčky motoru a tím i jeho výkon a potažmo výkon celé lokomotivy je řízen v **8 otáčkových stupních**, zadávaných ze stanoviště kruhovým řídicím kontrolérem. Regulaci otáček motoru a buzení trakčního dynama zajišťuje a koordinuje sdružený regulátor. Rekonstruované lokomotivy 751.141-3 ČD a 749.265-5 ČD jsou vybaveny elektronickým regulátorem INTELO od firmy Lokel. Pomocný motorgenerátor na lokomotivách 751.316-1 ČD a 751.141-3 ČD pracuje ve čtyřech otáčkových stupních a napájeny jsou pouze dva trakční motory. Maximální rychlost jízdy v režimu pomocného trakčního soustrojí je 20 km/h. Regulaci pomocného motorgenerátoru zajišťuje elektronický regulátor.

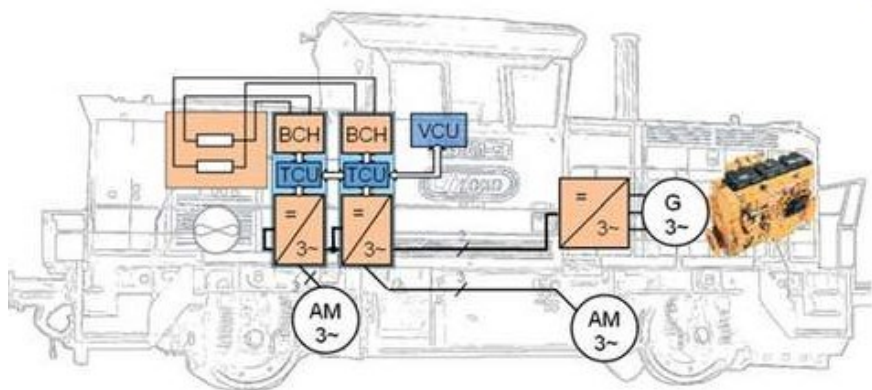
**Baterie, výbava, ochrany** Zdrojem napětí pro palubní síť o napětí 110 Vss je niklotadmiová akumulátorová baterie NKS 150 o kapacitě 150 Ah. Lokomotivy řady 749 mají pomocný pojezd z baterie, který je vhodný pro jízdy do vzdálenosti 500 m. Ve výbavě lokomotiv řady 751 a 749 je dvoučlenné řízení, umožňující vedení dvou strojů z jednoho stanoviště. Lokomotiva disponuje ochranou proti skluzu a je vystrojena mobilní částí vlakového zabezpečovače LS IV, resp. zjednodušeným zařízením pro kontrolu bdělosti strojvedoucího KBS-E.



# Dieselektrické lokomotivy ř. 719 (nová lokomotiva, cca 2009), 2x390 kW

V případě lokomotivy 719 jsou trakční pohony řešeny modulárně – jeden modul (trakční kontejner) obsahuje trakční střídač včetně brzdné jednotky a regulátoru pohonů. Tento blok je určen pro řízení jednoho **asynchronního trakčního motoru**. Taková koncepce umožňuje použití na vozidlech s různým počtem náprav. V případě dieselektrické lokomotivy 719 jsou tyto jednotky dvě (každá s maximálním výkonem 390 kW), a tedy dvě nápravy (označení B'o).

více na <http://www.automatizace.cz/article.php?a=2568>



**Tab. 1 Základní parametry lokomotivy řady 719**

|                                         |                |
|-----------------------------------------|----------------|
| maximální rychlost vozidla              | 80 km/h        |
| hmotnost vozidla                        | 40 t           |
| průměr dvoukolí (nový – střední)        | 1 100–1 060 mm |
| tažná síla na obvodu kol na mezi adheze | 140–150 kN     |
| trvalá tažná síla                       | 90 až 120 kN   |
| rychlost trvalá                         | 11 km/h        |
| převod nápravové převodovky             | 86/14          |
| účinnost nápravové převodovky           | 0,98           |

**Tab. 2 Elektrické parametry trakčního kontejneru**

|                              |                                                                                                                          |
|------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| druh měniče                  | napětový střídač (spínací prvky IGBT)                                                                                    |
| maximální zdánlivý výkon     | 457 kVA                                                                                                                  |
| jmenovitý výkon              | 390 kW (dle použitého motoru)                                                                                            |
| jmenovité vstupní napětí     | 900 V DC                                                                                                                 |
| jmenovitý vstupní proud      | 444 A DC (max. 500 A DC)                                                                                                 |
| jmenovitý výstupní proud     | 400 A                                                                                                                    |
| přetěžovací proud            | 500 A (125 % 15min), 600 A (150 % 1 min.) – odpovídá třídě II podle ČSN EN 60146-1-1, 100 % trvale, 150 % po dobu 1 min. |
| spínací frekvence            | 1 000 Hz                                                                                                                 |
| jmenovitá výstupní frekvence | 40 Hz ± 2 %                                                                                                              |
| výstupní frekvence           | 1–180 Hz (prakticky do 140 Hz)                                                                                           |
| chlazení                     | vlastní nucené vzduchem, potřeba externího zdroje napájení                                                               |

# Odkazy, zkratky

## Odkazy:

- Měřička J., Hamata V., Voženílek P.: Elektrické stroje, ČVUT, 1997
- Javůrek J.: Regulace moderních elektrických pohonů
- Uhlíř I. a kol.: Elektrické stroje a pohony, ČVUT, 2007
- <http://fei1.vsb.cz/kat448/Studium/Materialy/VS/kap25.pdf> (18.2.2008)
- <http://robotika.cz/articles/steppers/cs> (18.2.2008)
- Bittner J. a kol.: Malý atlas lokomotiv 2007, ISBN 80-86925-02-1
- <http://www.atlaslokomotiv.net/> (15.2.2011)

## Výrobci

- <http://www.atas.cz/> výrobce motorů pro všeobecné použití
- <http://www.iskra-agv.cz/elektromotory.htm>
- Asynchronní motory
  - Škoda electric Plzeň <http://www.skoda.cz/electric/produkty/trakcni-motory>
  - Siemens <http://www.siemens.cz/siemjet/cz/home/siemens-elektromotory/produkty/Main/index.jet>
  - [http://www.siemens.cz/siemjetstorage\\_test/files/35848\\_DB\\$ES64U4\\$CZ\\$03.pdf](http://www.siemens.cz/siemjetstorage_test/files/35848_DB$ES64U4$CZ$03.pdf) (lokomotiva ES64U4 - Taurus)
- Synchronní motory
  - Škoda electric Plzeň - viz leták na <http://www.skoda.cz/electric/produkty/trakcni-motory>

## Zkratky

- AC – alternative current (střídavý proud)
- DC – direct current (stejnsměrný proud)
- EDB – elektrodynamická brzda (trakční motor v generátorickém režimu při spádovém nebo zastavovacím brzdění vyrábí elektrické napětí a proud. Elektřina se spotřebuje v brzdových odpornících nebo při se rekuperaci dodává do sítě, kde je dále využívána nejčastěji jiným vozidlem)
- IGBT – výkonový tranzistor, viz dále „výkonová elektronika“

# Odkazy, zkratky

## Odkazy:

- ČSN EN 60076-1:1999. Výkonové transformátory – část 1: Všeobecně.
- Měřička J., Hamata V., Voženílek P.: Elektrické stroje, ČVUT, 1997
- Javůrek J.: Regulace moderních elektrických pohonů
- Uhlíř I. a kol.: Elektrické stroje a pohony, ČVUT, 2007
- <http://fei1.vsb.cz/kat448/Studium/Materialy/VS/kap25.pdf> (18.2.2008)
- <http://robotika.cz/articles/steppers/cs> (18.2.2008)
- Bittner J. a kol.: Malý atlas lokomotiv 2007, ISBN 80-86925-02-1
- <http://www.atlaslokomotiv.net/> (15.2.2011)
- Blahovec A.: Elektrotechnika I, Informatorium, 1995
- Hlava K.: Elektromagnetická kompatibilita (EMC) drážních zařízení, UPCE, Pardubice, 2004
- Vysoký P., Malý K., Fábera V.: Základy elektrotechniky, Brno 2003

## Výrobci

- <http://www.elpro-energo.cz/> - mj. transformátory do železničních napájecích stanic, výkonové transformátory olejové do 220 kV
- <http://www.etd-bez.cz/> - mj. transformátory do železničních napájecích stanic
- <http://www.elektrov.cz/produkty> - transformátory pro univerzální použití
- <http://www.atas.cz/> výrobce motorů pro všeobecné použití

## Zkratky

- AC – střídavý proud (alternative current)
- DC – stejnosměrný proud (direct current)
- EDB – elektrodynamická brzda (trakční motor v generátorickém režimu při spádovém nebo zastavovacím brzdění vyrábí elektrické napětí a proud. Elektrina se spotřebuje v brzdových odpornících nebo při se rekuperaci dodává do sítě, kde je dále využívána nejčastěji jiným vozidlem)
- IGBT – výkonový tranzistor, viz dále „výkonová elektronika“
- MHD – městská hromadná doprava