



Elektrické stroje

*Pracovní sešit pro 4.ročník
Silnoproudá elektrotechnika*





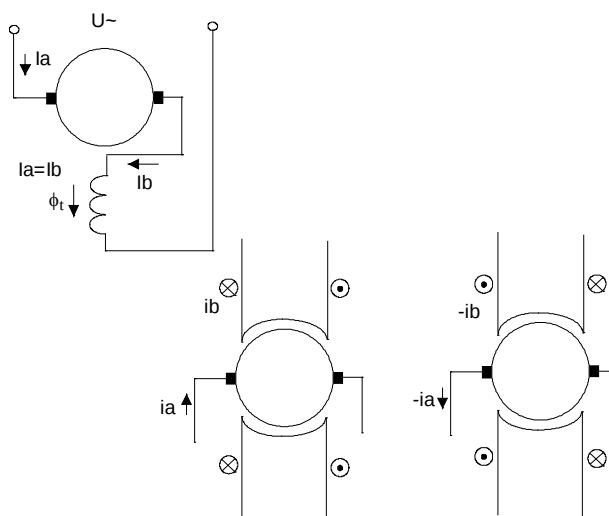
Komutátorové motory

Komutátorové stroje v sobě sdružují výhodné regulační vlastnosti ss motorů s výhodou přímého připojení ke střídavé síti. V současnosti používáme

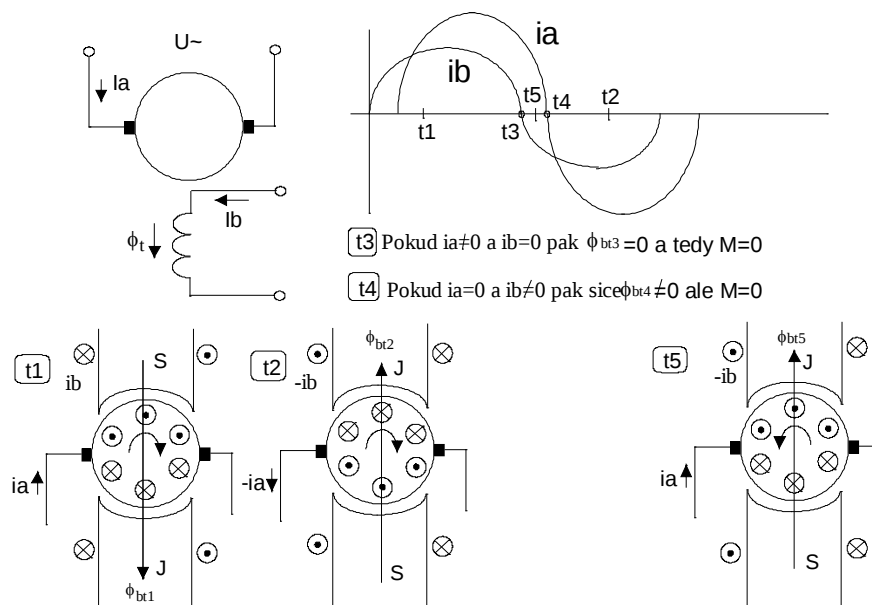
- 1.f sériové motory
- 1.f. repulsní motory
- 3.f. derivační motory
 - s napájeným statorem (Winterův-Eichbergův motor)
 - s napájeným rotorem (Schrageho motor)
 - sériový



Smysl tažné síly při sériovém zapojení kotvy a buzení



Smysl tažné síly při derivačním zapojení



Moment komutátorového stroje

- Moment stejnosměrného stroje $M = \frac{p \cdot N}{\pi \cdot a} \cdot \phi \cdot I_a$
- dosazením okamžitých hodnot a úpravou dostaneme 2 složky momentu

Činný moment $M_{\check{c} \max} = \frac{\sqrt{2} \cdot p}{\pi \cdot a} \cdot N \cdot \phi_b \cdot I_a \cdot \cos \psi$ trvale
kladný, kmitá od 0 do max. hodnoty

Reakční moment – kmitá s dvojnásobným
kmitočtem a je střídavě kladný a záporný

Výsledný moment je dán jejich součtem

Střední hodnota $M_s = \frac{M_{\check{c} \max}}{2} = \frac{p \cdot N}{\pi \cdot a \cdot \sqrt{2}} \cdot \phi_b \cdot I_a \cdot \cos \psi$



Komutace ve střídavém magnetickém poli

Za dobu
komutace se musí
změnit proud z
hodnoty $+i/2$ na $-$
 $i/2$. komutující
proud je ale
střídavý s
kmitočtem sítě
takže komutace
nastává vždy při
jiné velikosti
proudu (čas mezi
dvěma
komutacemi T_k
nesouhlasí s
periodou sítě a
závisí na
otáčkách)

P1



Komutace ve střídavém magnetickém poli

■ Pohybové indukované napětí (na kartáčích)

- kmitočet U ve vodičích kotvy je $f_v = \frac{p \cdot n}{60}$
a nezávisí na kmitočtu sítě na kterou je stroj připojen
- Komutátor funguje jako měnič kmitočtu (f_v
mění na kmitočet sítě)
- Je ve fázi nebo v protifázi s mag. tokem podle
směru otáčení a jeho kmitočet souhlasí s
kmitočtem mag. toku tedy i sítě, která ho budí
- Je ve fázi s proudem statoru, má stejnou
frekvenci jako proud statoru a závisí na
otáčkách
- Ef. hodnota pohybového U

$$U_{ip} = 2 \cdot \sqrt{2} \cdot f_v \cdot \frac{N}{2a} \cdot \phi_b$$

Komutace ve střídavém magnetickém poli

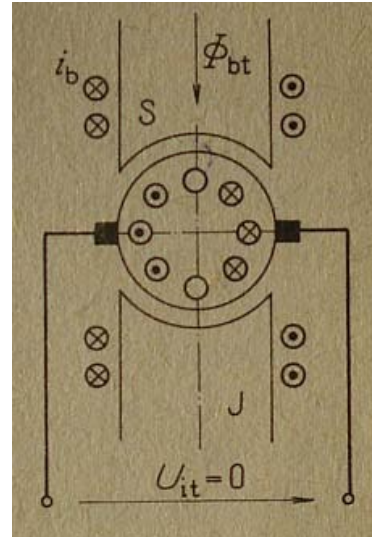
■ Transformační napětí

- Vytváří ho střídavý magnetický tok budícího vinutí.
- Předbíhá mag. tok o 90° . ef. hodnota

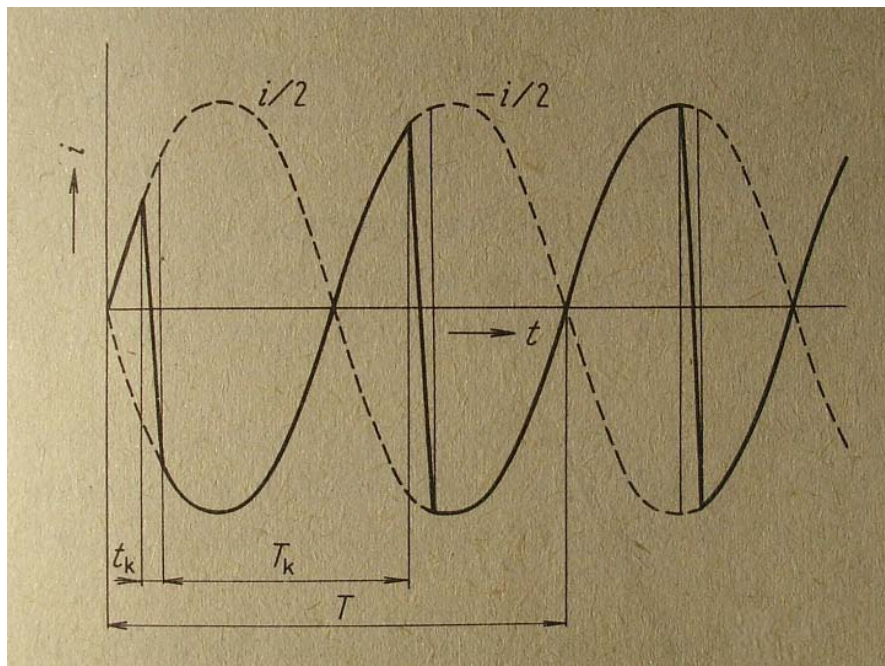
$$U_{it} = 4.44 \cdot f_s \cdot \phi_b \cdot N_c$$

Nepříznivě ovlivňuje komutaci !!!

Ze vzorce vyplývají možnosti jeho snížení (co nejmenší počet závitů, nižší kmitočet sítě, ϕ chceme zachovat co nejvyšší)



Komutace ve střídavém magnetickém poli





Komutace ve střídavém magnetickém poli

- Časová změna proudu při každé komutaci je jiná tedy jiné je i ***reaktanční napětí***

$$u_r = L_c \cdot \frac{di}{dt}$$

- U_r je úměrné rychlosti otáčení a proudu stroje
- Částečně lze potlačit pomocnými póly zapojenými do série s kotvou



Komutace ve střídavém magnetickém poli

- Transformační napětí můžeme zrušit stejně velkým napětím opačně orientovaným, které se indukuje pohybem komutující cívky v poli pomocných pólů.

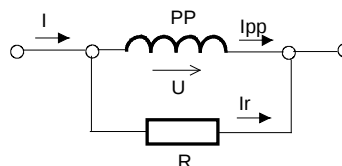
Nevýhoda:

- Kompenzace probíhá pouze za chodu
- Při rozběhu komutátor značně jiskří
- Transformační napětí nesmí překročit 2,5V



Komutace ve střídavém magnetickém poli

Výsledné komutační napětí je dáno vektorovým součtem reaktančního a transformačního napětí.



Ut předbíhá proud stroje o 90° , nezávisí na rychlosti otáčení

Ur je v protifázi s proudem stroje

Upp jedná se o pohybové napětí, je ve fázi s proudem stroje a závisí na rychlosti otáčení



Komutace ve střídavém magnetickém poli

- Vetší motory mají vždy pro dosažení lepší komutace pp i kompenzační vinutí na potlačení reakce kotvy
- Používají se kartáče z tvrdého grafitu a odporové spojky mezi vinutím a lamelami
- S ohledem na komutaci se používají stroje na nižší napětí



Jednofázový sériový motor

Zapojení podobné
jako u ss stroje

KV – kompenzační
vinutí vytváří mg.
pole působící proti
mag. poli reakce
kotvy. Zlepšuje
účinník

Zapojuje se do série
s kotvou



Jednofázový sériový univerzální motorek

- Nejrozšířenější
komutátorový stroj na
střídavý proud
- Vyšší otáčky než indukční
stroj.
- Může pracovat i na ss
proud
- Otáčky lze řídit
 - Změnou R_s
 - Změnou R_a (výhodnější)

Podstatou je změna napětí
(otáčky klesají se
čtvercem napětí)



Magnetický obvod

■ $P = U \cdot I$

■ $P = U \cdot I \cdot \cos \varphi$

■ $M = P / \omega$

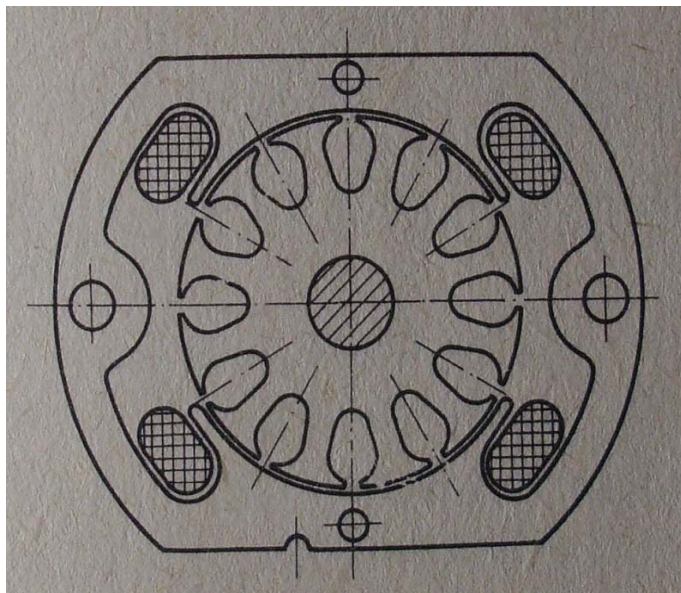
$\omega = 2 \cdot \pi \cdot n / 60$

$$M = \frac{60}{2 \cdot \pi \cdot n} \cdot U \cdot I$$

$$M = \frac{60}{2 \cdot \pi \cdot n} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

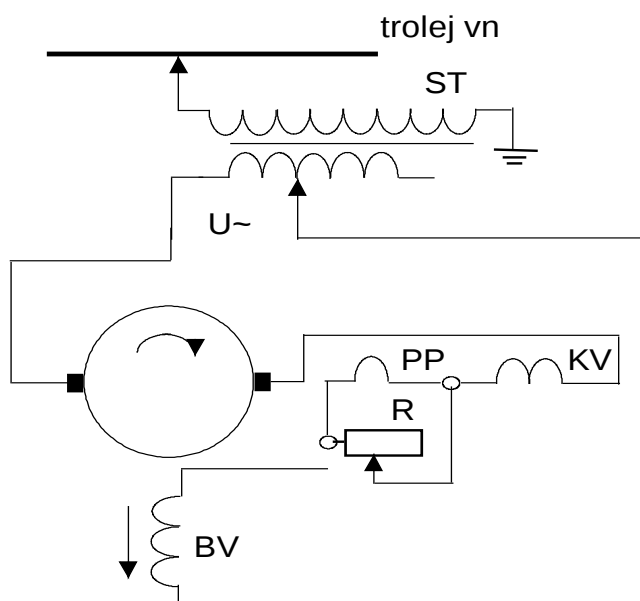
Při stejném M je
poměr otáček ??

Nakreslete
momentovou
charakteristiku !!



Jednofázový trakční sériový motor

- U nás se nerozšířil, používá se při napájení sníženým kmitočtem (USA 25Hz NSR, Švýcarsko)
- Velký záběrný moment



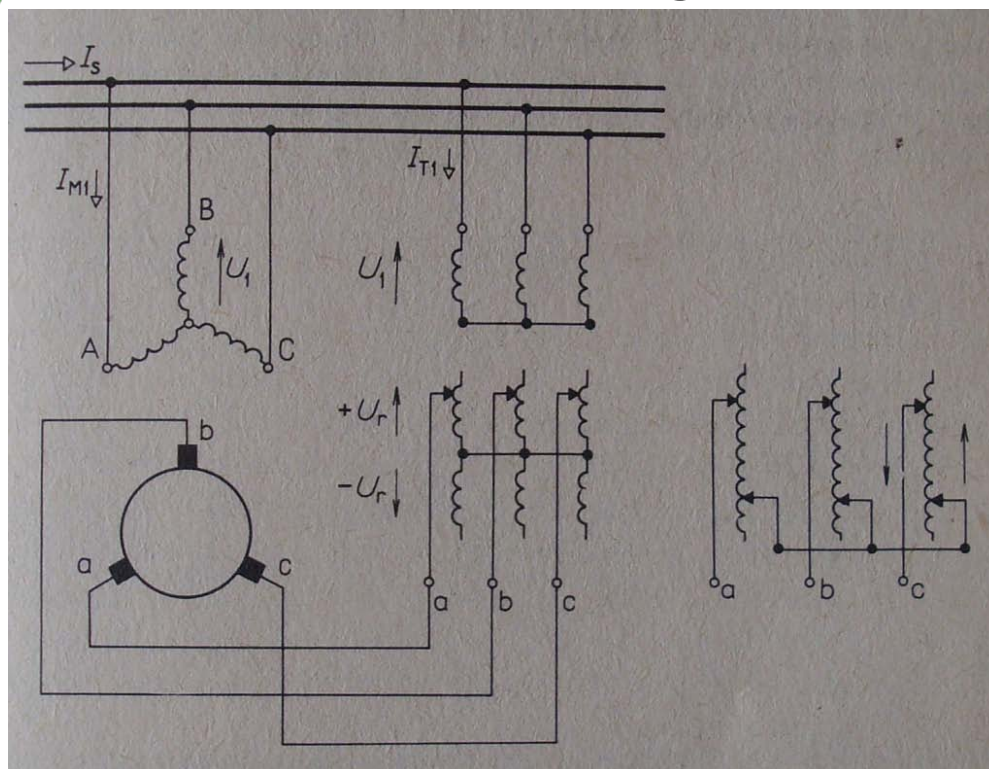
Trojfázový komutátorový motor

- Používají se derivační (tvrdé zatěž. char.)
- Sériové se prakticky nepoužívají

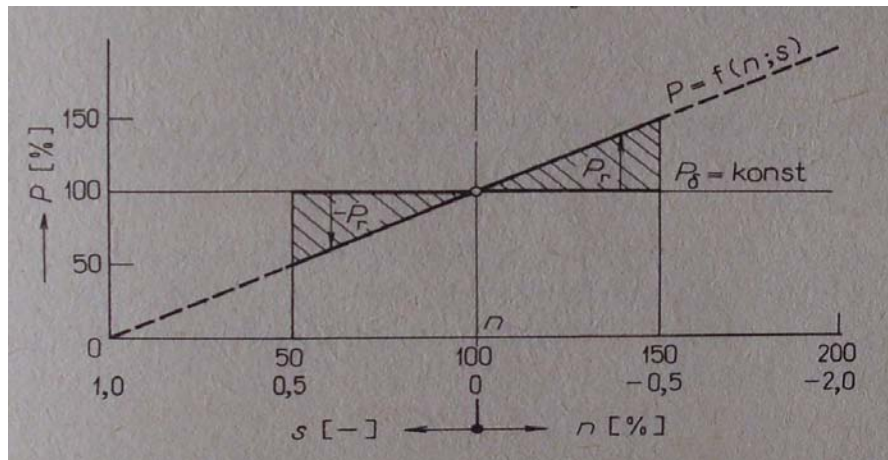
Rozeznáváme provedení

- s napájeným statorem (Winterův-Eichbergův motor)
- s napájeným rotorem (Schrageho motor)

Winterův-Eichbergův motor

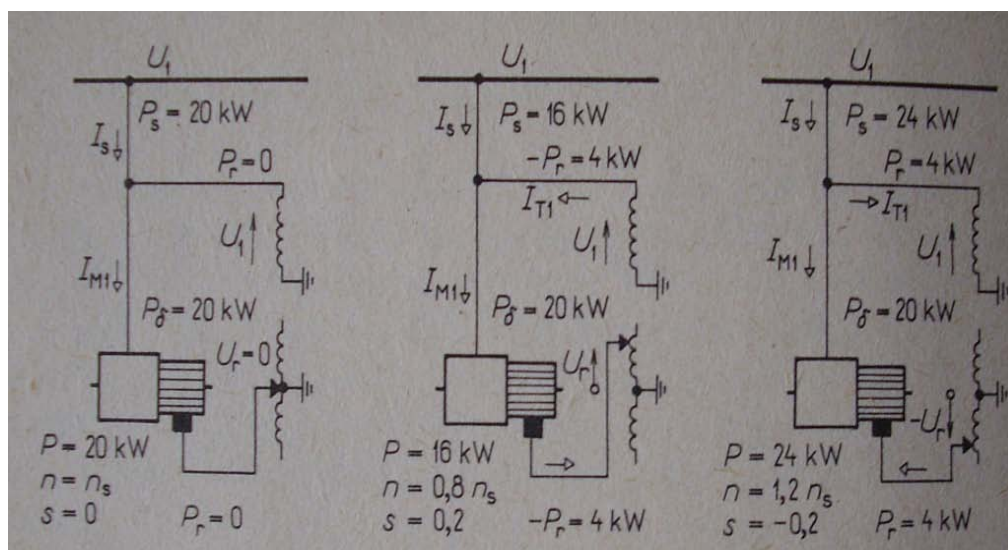


Regulace otáček



- P_δ - výkon točivého m.p. P_r -výkon odebíraný nebo vrácený do sítě přes transformátor. P výkon na hřídeli. P_s výkon odebíraný ze sítě
- ve vinutí rotoru se indukuje napětí $U_{i2}=s.U_{i20}$ o frekvenci $f_2=s.f_1$ (U_{i20} je napětí stojícího rotoru)
- $S=U_r/U_{20}$ regulačním napětím lze nastavit libovolný skluz

Regulace otáček



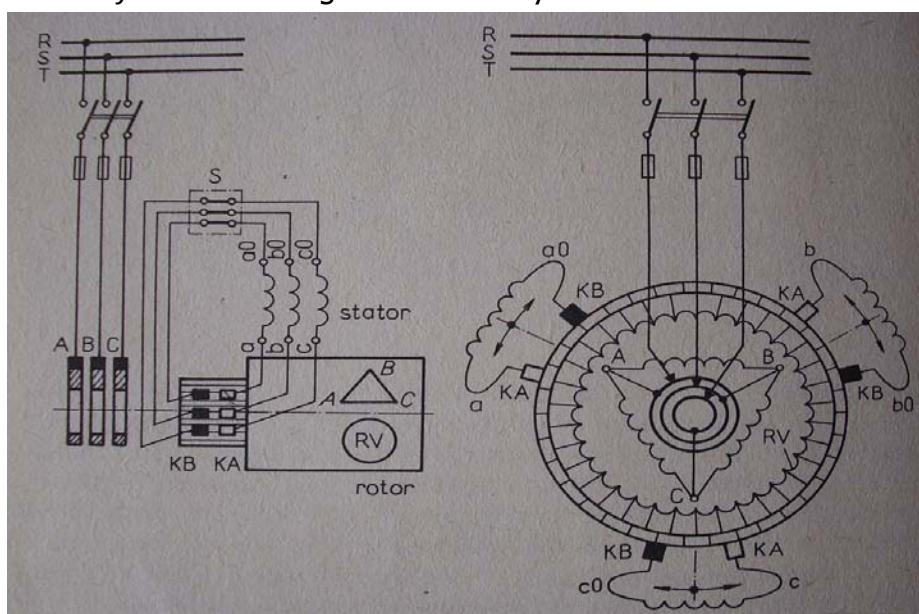
Účinník motoru

- Za podsynchronního chodu je velmi špatný a u větších stroju je nutná kompenzace
 - Natočení kartáčů proti smyslu otáčení rotoru – nepoužívá se (pro každé otáčky jiné natočení, stroj je obecně choulostivý na špatné nastavení)
 - Zvláštní pomocné vinutí transformátoru (vyrobí napětí které protlačí rotorem proud ten má charakter magnetizačního proudu a snižuje tak magnetizační proud statoru dodávaný ze sítě.

P1

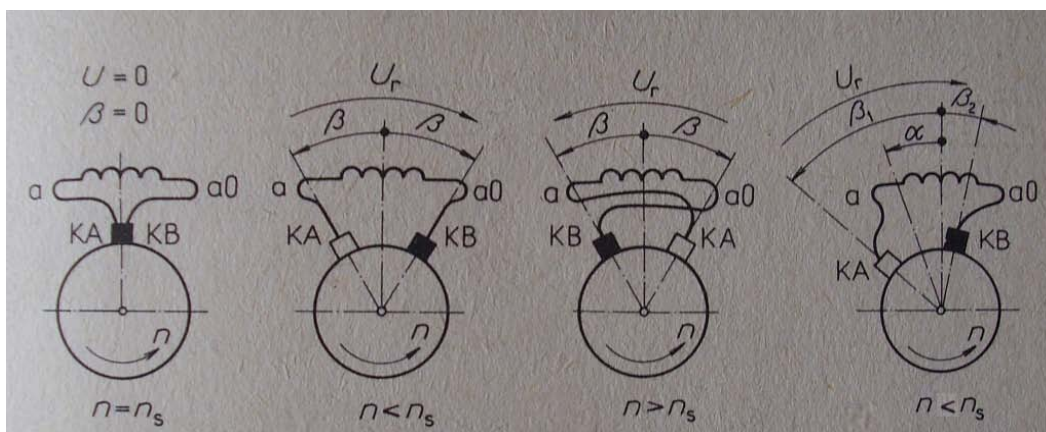
Schrageho motor

Na komutátoru jsou na každou pólovou dvojici tři dvojice kartáčů
Stator – a-a0, b-b0, c –c0 - trojfázové (sekundární)vinutí, rotor A-B-C - trojfázové vinutí spojené do trojúhelníku napájené přes kroužky + RV – ss regulační vinutí vyvedené na komutátor



Řízení otáček

- Kartáče na stejné lamele – synchronní otáčky
- Napětí se odečítají I a M se zmenšuje – n klesají
- Napětí se sčítají I a M se zvětšuje – n rostou
- Účinník se kompenzuje nesouměrným natočením kartáčů.



Schrageho motor

- Schrageho motor se obvykle spouští přímým připojením na síť na min otáčky
- $I_z - (1,5 \text{ až } 2) I_n$, $M_z - (1,5 \text{ až } 2,5) M_n$
- Výhodou proti W-E je to, že nepotřebuje zvláštní zdroj regulačního napětí
- Výhodou W-E jsou větší dosažitelné výkony a to, že nepotřebuje zařízení pro natáčení kartáčů

Synchronní stroje

Synchronní stroje Siemens 1FC4



Stroje řady 1FC4 jsou třífázové synchronní generátory pro vysoké napětí s rotorem s vyniklými póly v bezkartáčovém provedení. Skládají se z generátoru střídavého proudu (hlavní stroj) a z budiče s rotujícím usměrňovačem. Rotory hlavního stroje a budiče se nachází společně s rotujícím usměrňovačem a ventilátorem na jedné hřídeli. Části, které slouží k regulaci napětí jsou umístěny ve svorkovnicové skříni, respektive jsou součástí dodávky stroje pro umístění v rozvaděči (pak je generátor vybaven nízkonapětovou svorkovnicí). Všechny tyto díly tvoří spolu se svařovaným krytem a ložisky jednu stavební jednotku.



Synchronní stroje

Alternátor je nejdůležitější stroj pro výrobu el. energie.

Rozdělení :

- Turboalternátory – poháněné parními turbínami (dvoupólové 3000ot/min)
- Hydroalternátory – poháněné vodními turbínami (vícepólové – nižší otáčky)

Hlavní výhoda – možnost výroby nejen činné, ale i jalové energie.



Synchronní stroje

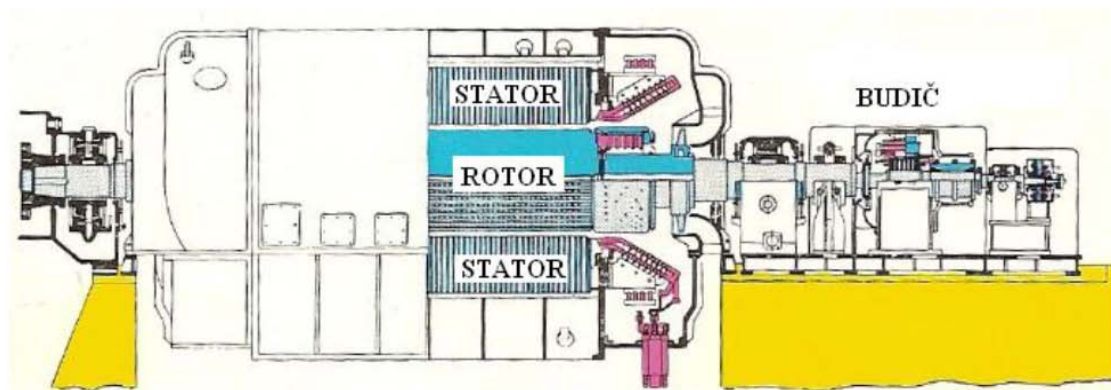
- S.S. lze použít i jako motor (obvykle vyšší výkony), výhodou je dobrý účinník, možnost výroby jalové energie, nevýhodou je obtížné spouštění a reg. rychlosti.
 - Synchronní kompenzátor – pracuje jako zdroj jalové energie (řízení napětí a účinníku)
- V konstrukci není rozdíl mezi alternátorem a motorem.
- !! Synchronní stroje neodebírají ze sítě žádný jalový výkon!!



Konstrukční uspořádání

- Stator se prakticky neliší statoru od as. stroje. Je složen z dynamových plechů ve tvaru mezikružích v jehož drážkách je uloženo 3.f. vinutí.
- Rotor se obvykle z plechů neskládá. Kove se z ušlechtilé ocele (je z 1 kusu). Je tvořen soustavou pólů buzených stejnosměrným proudem
 - └ Turboalternátor – rotor hladký
 - └ Hydroalternátor – rotor s vyniklými póly

Turboalternátor

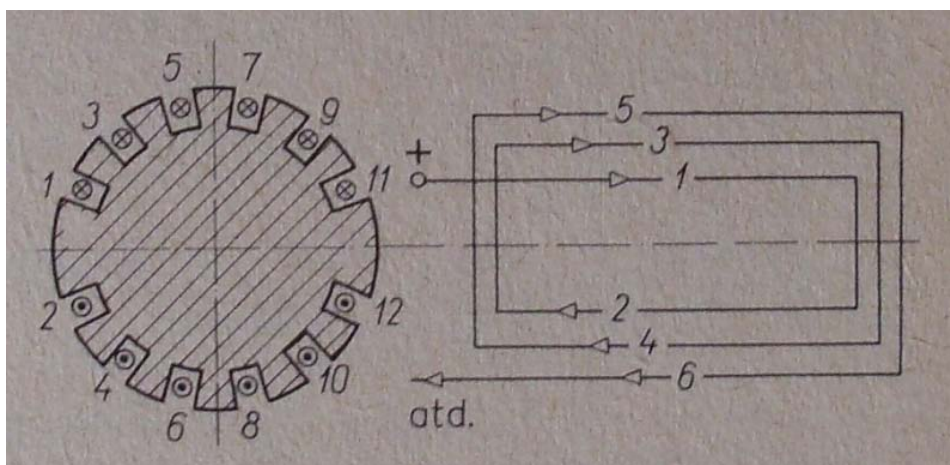


TURBOALTERNÁTOR V ČÁSTEČNÉM ŘEZU

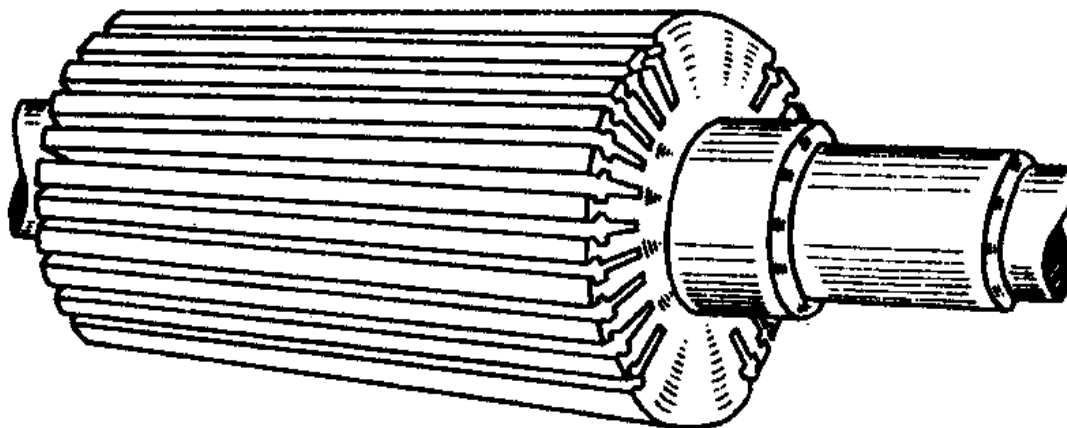


Konstrukční uspořádání turbostroje

- Prakticky všechny jsou dvoupólové
- Drážky vyplňují 2/3 prostoru, zbývající část tvoří tzv. široký zub.



Rotor turboalternátoru



P1

Konstrukční uspořádání turbostroje

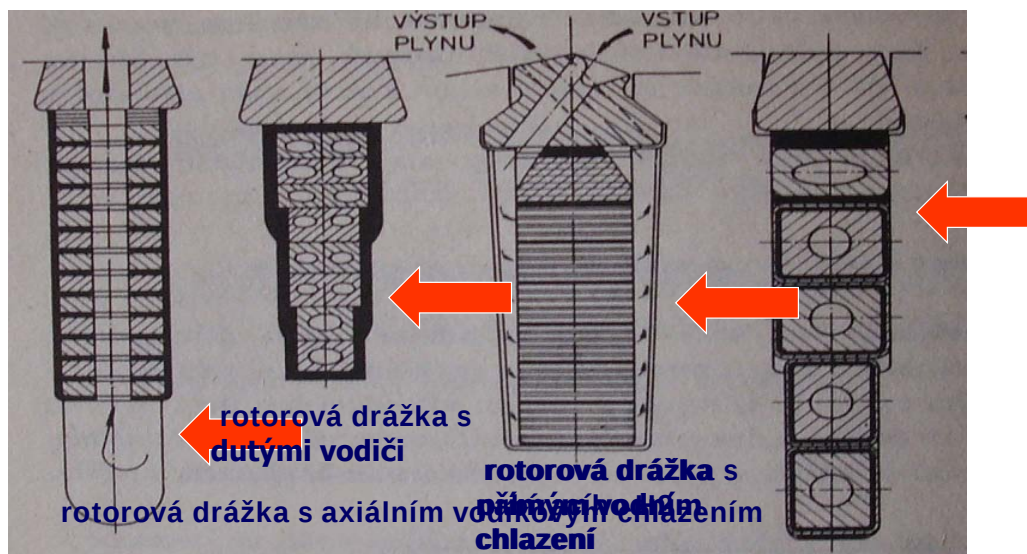
- V drážkách uloženo budící vinutí zajištěno kovovými klíny (tvoří tlumící vinutí)
- Čela zakryta a mechanicky zajištěny obručemi z nemagnetické oceli (bandážovací kruhy) – rotor má tvar válce
- Budící vinutí je vyvedeno na dva kroužky (obvykle po obou stranách rotoru)
- Omezujícím faktorem při zvyšování výkonu je

Chlazení turbostroje

- Pro 3000ot/min – max 1333mm, stroj má tak velkou osovou délku a vznikají potíže z chlazením. Systém chlazení určuje mezní výkon stroje
- Vzduchové cirkulační chlazení – v šachtě pod strojem ochlazuje vzduch vodní chladič
- Vodíkové chlazení
 - (400MPa – 4X) zároveň vzhledem k menší hustotě (14,4x) se sníží i ventilační ztráty, η lepší o 1%, nedochází ke stárnutí izolace
 - nevýhoda –výbušnost- přetlak vodíku 200kPa (vzduch se nedostane dovnitř, únik ven řeší ucpávky, kostra navržena na přetlak

Vodíkové chlazení

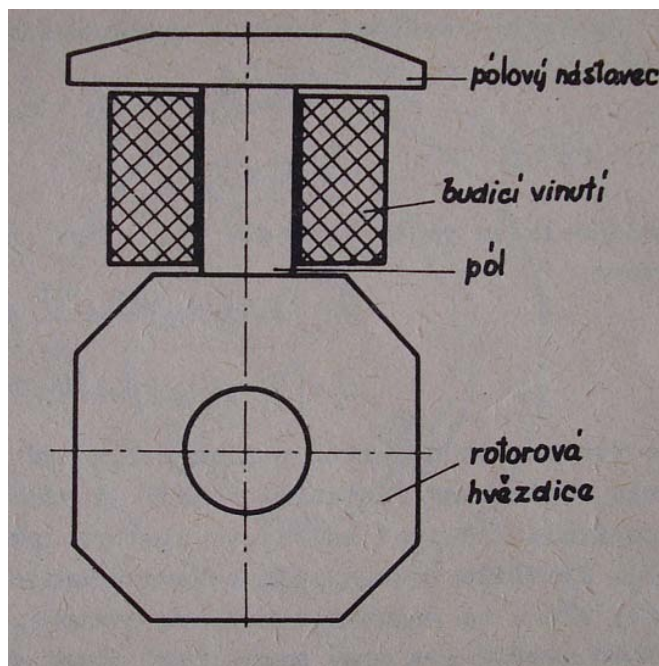
- Lepší je přímé – vodík proudí dutými vodiči rotorového a statorového vinutí, vyšší tlak asi 400Mpa (úzké kanálky)



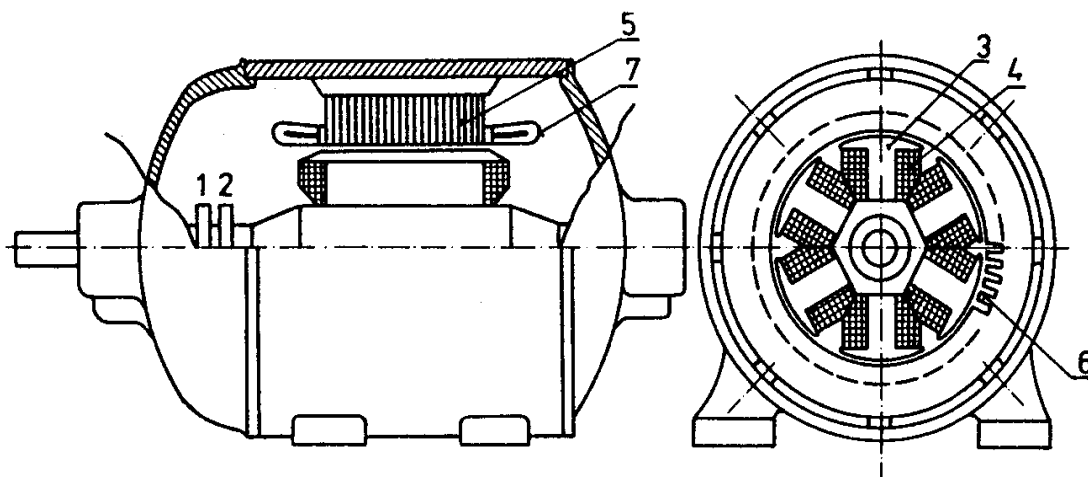
Konstrukční uspořádání hydrostroje

Pomaluběžné
(10 – 400 ot/min)
velký průměr,
krátká osová délka
(do 4m).

Asi 3x dražší než TA,
obvykle max
1000MW.
Omezujícím
faktorem je
závěsné ložisko



Řez hydrostroje



1, 2 kroužky budícího vinutí, 3 póly s pólovými nástavci, 4 budící vinutí, 5 železo statoru, 6 statorové plechy, 7 vinutí statoru

P1



Konstrukční uspořádání hydrostroje

- Tlumící vinutí (tlumič) se umísťuje v drážkách pólových nastavců a spojuje čelními spojkami do krátka
- Odstředivé síly působící na vinutí zachytí mezipólové rozpěrky
- Velice dobře se chladí – póly působí jako ventilátor
- U HA se nepoužívá vodík – nedá se utěsnit
 - Vzduch
 - Vzduch - voda

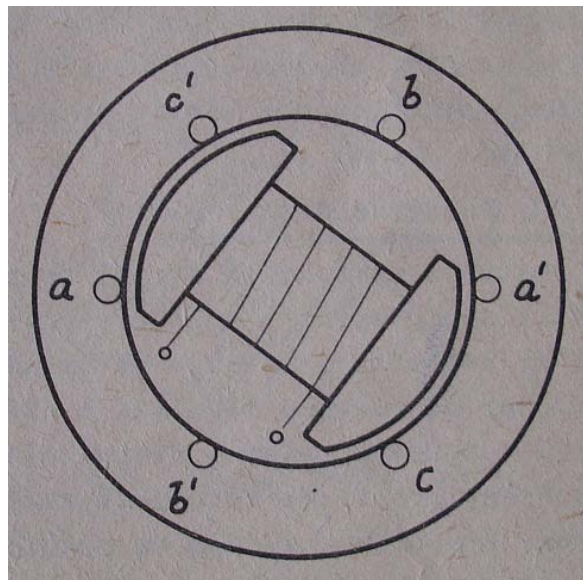
P1



Princip funkce

- Synchronní alternátor

Ve statorových drážkách uloženo 3.f vinutí. Vinutí rotoru napájené ss proudem vytvoří stálé mag. pole. Poháněcí stroj otáčí buzeným rotorem – otáčející mag. Pole indukuje ve statorovém vinutí napětí jehož frekvence je přímo úměrná otáčkám a počtu pólů $f = \dots\dots\dots$?



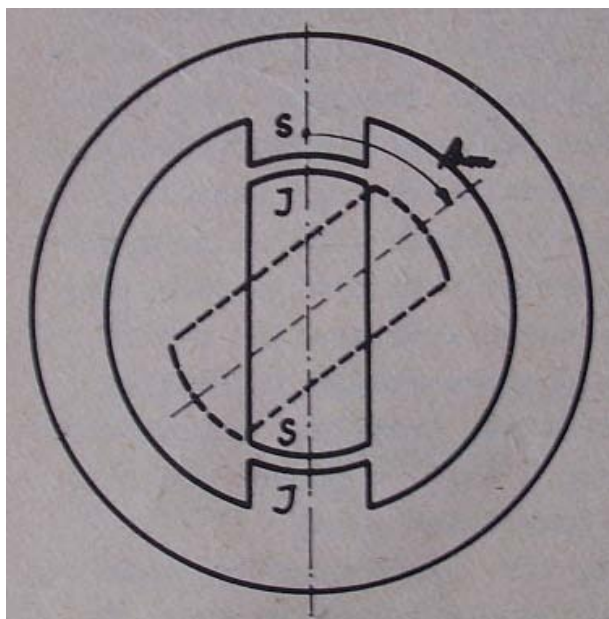
P1



Princip funkce

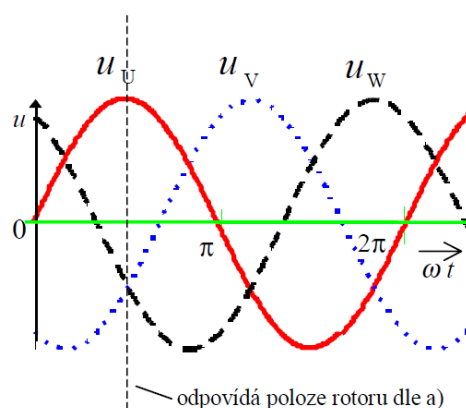
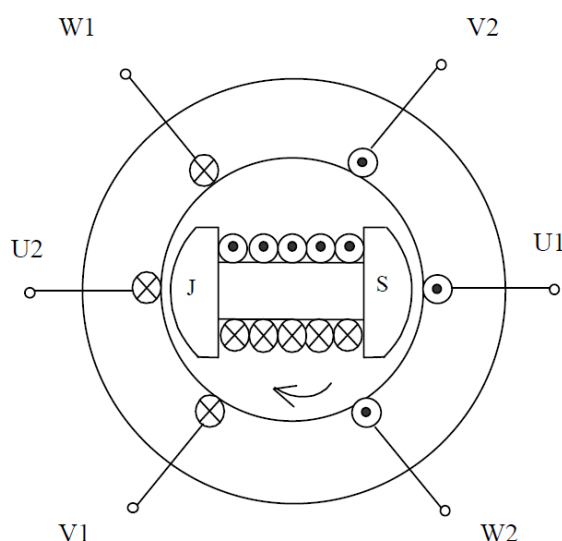
■ Synchronní motor – tentýž stroj může fungovat jako motor

3.f vinutí statoru napájíme
3.f proudem- točivé mag.
pole. Vinutí rotoru je
napájeno ss proudem.
Počet pólů rotoru a
statoru je shodný.
Působením síly roztočíme
rotor na otáčky blízké
otáčkám t.m.p. budou se
nesouhlasné póly statoru
a rotoru přitahovat – rotor
se bude otáčet i po
odpojení roztačecího
motoru $n_s = (60 \cdot f) / p$



K1

Princip – dvoujpólový stroj



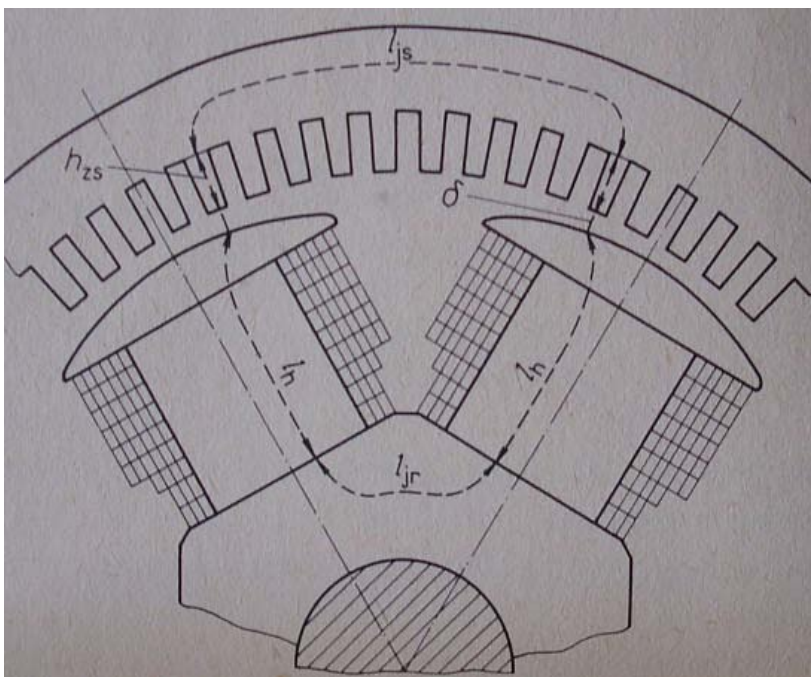
P1



Magnetický obvod – stroj s vyniklými póly

$$F = 2 \cdot N_2 \cdot I_b$$

- F - celkové magnetomotorické napětí
- nerovnoměrná vzduchová mezera !!
- aby se ve statorovém vinutí indukovalo střídavé napětí harmonického průběhu musí mít indukce ve vzduchové mezeře sinusový průběh !!!



P1



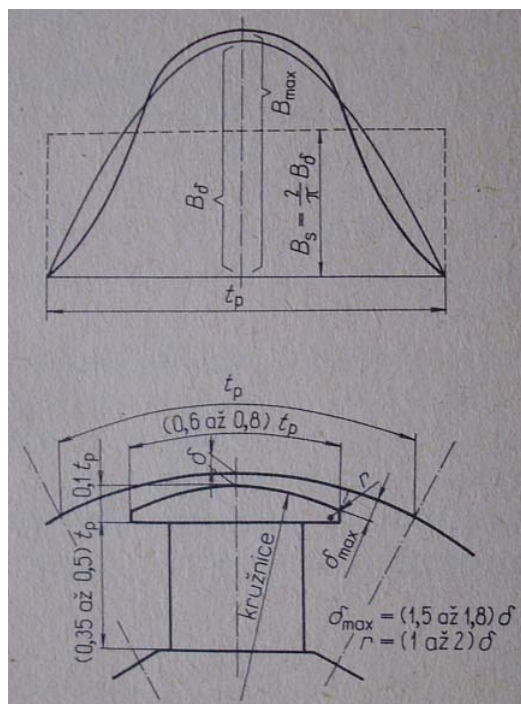
Magnetický obvod – stroj s hladkým rotorem

$$F = (N_2 \cdot I_b) / 2p$$

- F - celkové magnetomotorické napětí
- rovnoměrná vzduchová mezera !!

Magnetické pole – stroj s vyniklými póly

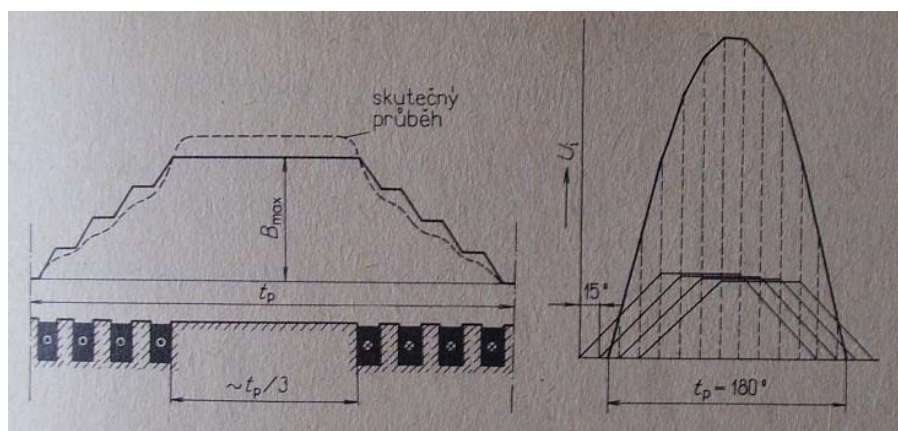
- Sinusového průběhu mag. indukce docílujeme vhodným tvarováním pólového nástavce



Magnetické pole – stroj s hladkým rotorem

P1

- Průběh mag. indukce je lichoběžníkový, stejně jako napětí v jednotlivých cívkách – jejich součet se však blíží sinusovému pr.



Indukované napětí

- Uvažujeme 1. harmonickou $U_i = 4,44 \cdot \phi \cdot f \cdot N_s \cdot k_v$

Závisí jen na velikosti mag. toku

frekvence U_i závisí na otáčkách a počtu pólových dvojic

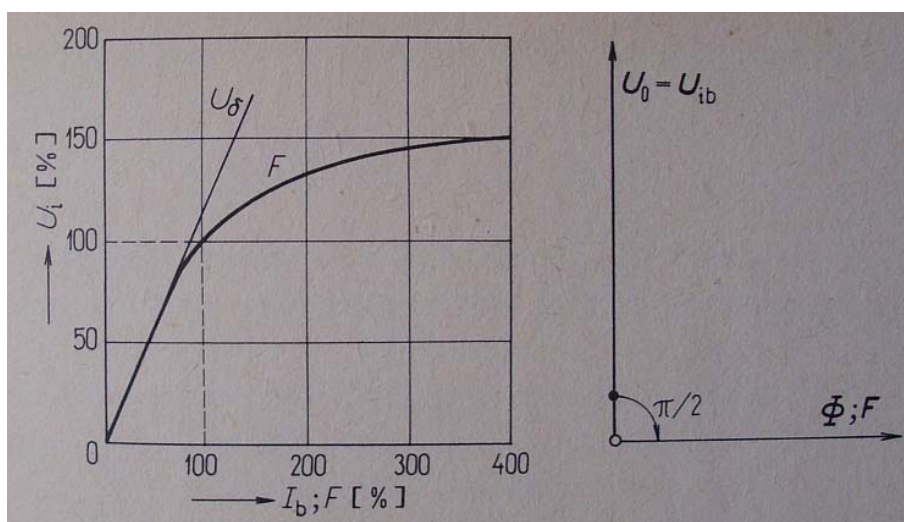
$$f_s = \frac{n \cdot p}{60}$$

- Chod naprázdno

Stator rozpojen, pohon otáčí nabuzeným rotorem synchronními otáčkami

⇒ U_i předbíhá mag. tok a tedy i MMS o 90°

Indukované napětí

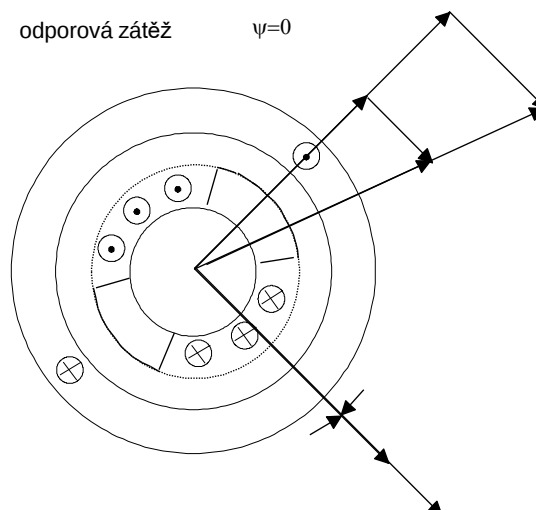


Chod při zatížení

- Připojením zátěže začne statorovým vinutím procházet proud I_1 , který způsobí jistý úbytek napětí (činný odpor vinutí kotvy a jeho rozptylová reaktance) a tím se napětí na svorkách alternátoru změní. Proud I_1 je příčinou vzniku statorového mag. toku ϕ_a , který nazýváme reakční. Protože jde o trojfázové vinutí je toto mag. pole točivé a otáčí se synchronními otáčkami. Jeho velikost závisí především na velikosti proudu zátěže a na odporu mag. obvodu (především δ)

Odporová zátěž

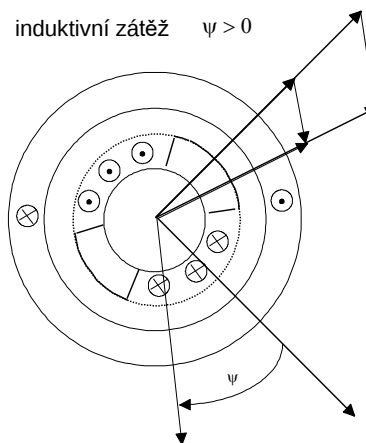
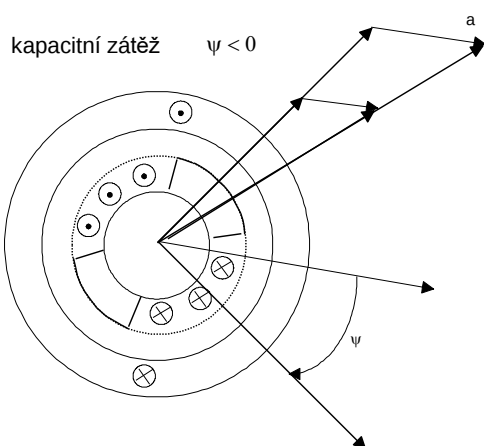
- Úhel ψ – vnitřní fázový posun
 - F_b – MMS budícího vinutí
 - F_a – MMS reakce kotvy
 - F – výsledná MMS
 - I – proud statoru
 - E_{10} – EMS zpožděná o 90° za ϕ_b , který ji indukuje
- Platí : $U_{ib} = -E_{10}$



Kapacitní a induktivní zátěž

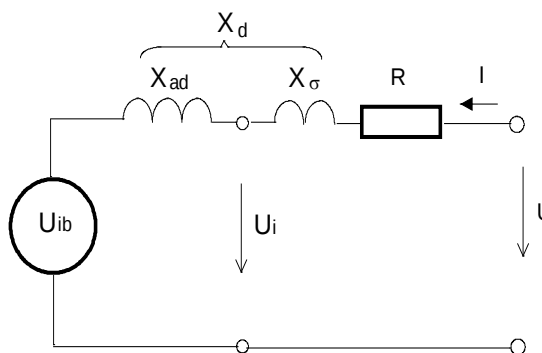
Kotva přibuzuje $F > F_b$

Kotva odbuzuje $F < F_b$



Náhradní schéma synchronního stroje

- U_{ib} – fiktivní napětí, které by indukoval fiktivní tok ϕ_b
- X_{ad} – podélná reaktance (nahrazuje vliv reakce kotvy)
- X_σ – rozptylová reaktance (nahrazuje vliv rozptylu kolem statorového vinutí)
- $X_d = X_{ad} + X_\sigma$ je synchronní reaktance
- R – odpor statorového vinutí

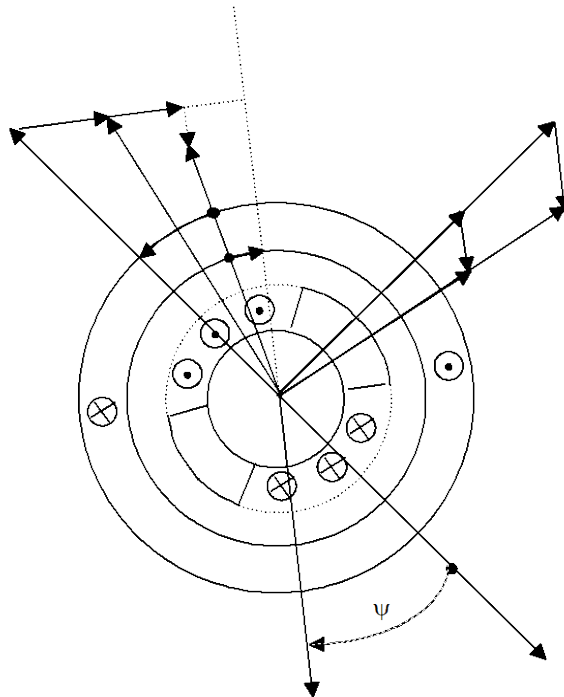


- U_i – napětí, které indukuje tok ϕ
- U – svorkové napětí
- $U = U_{ib} + jI \cdot X_{ad} + jI \cdot X_\sigma + I \cdot R$
- reaktance a odpory se často vyjadřují v % jmenovité zatěžovací impedance odpovídající jmenovitému proudu $Z_n = U/I_n$

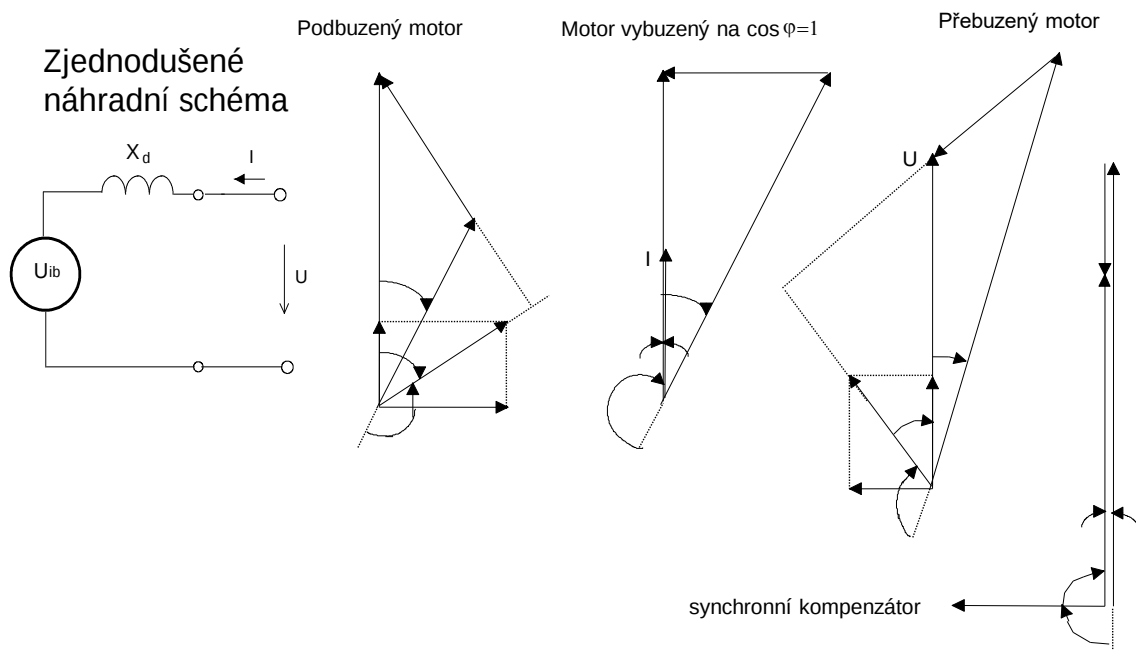
P1

Fázorový diagram turboalternátoru

- β – zátěžný úhel (úhel o který je natočen rotor oproti poloze kterou má při chodu naprázdno)
- Ψ – vnitřní fázový posun (závisí na buzení a zatížení $\Psi + 90^\circ$ je prostorový posun mezi osami obou polí)



Zjednodušené diagramy synchronního motoru

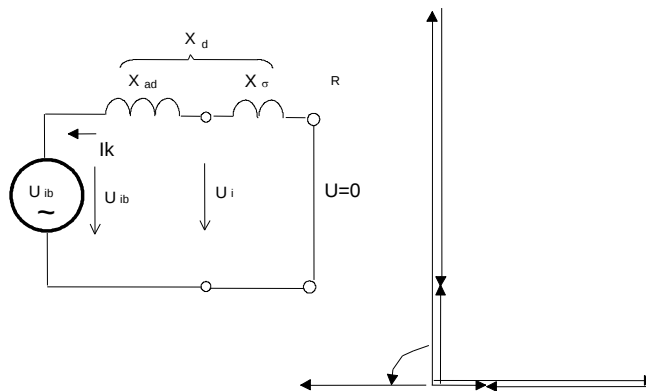


Chod nakrátko

- Statorové vinutí je spojené nakrátko a napájené budící vinutí má synchronní rychlost

Zanedbáme-li odpor statorového vinutí spotřebuje se indukované napětí na úbytky napětí na jednotlivých reaktancích.

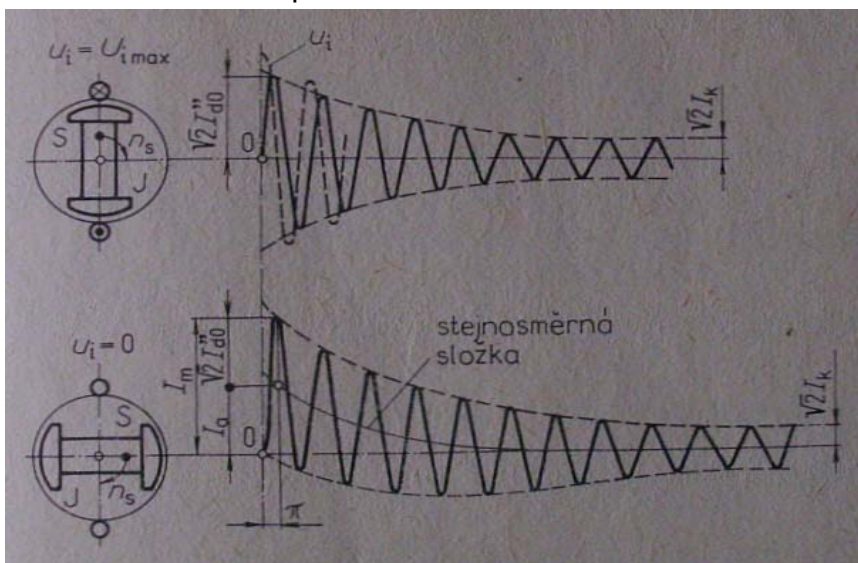
- Reakce statoru působí proti toku budícího vinutí – výsledný tok je malý (malé sycení, stálé reaktance – lineární závislost $I_k = f(I_b)$)
- ustálený proud nakrátko je poměrně malý (turboalternátor I_k kolem $0.5I_n$, hydroalternátor cca 1 až $1.4I_n$)



P1

Zkrat – nastává při náhlém spojení vybuzeného alternátoru nakrátko

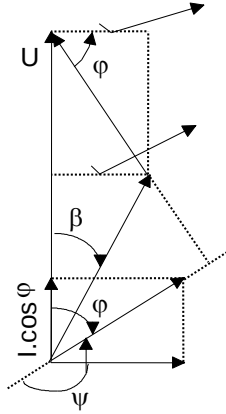
- Zkratový proud – první náraz je značný (20x) stroj má plné buzení. Jak se vyvíjí reakce kotvy proud postupně klesá až na hodnotu ustáleného zkratového proudu



Moment synchronního stroje

$$M = \frac{P}{\omega} = \frac{m \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi}{\omega} = \frac{m \cdot U \cdot U_{ib} \cdot \sin \beta}{\omega \cdot X_d}$$

Podbuzený motor



U generátoru musíme tento moment dodat. U motoru je to moment na hřídeli zmenšený o mechanické ztráty

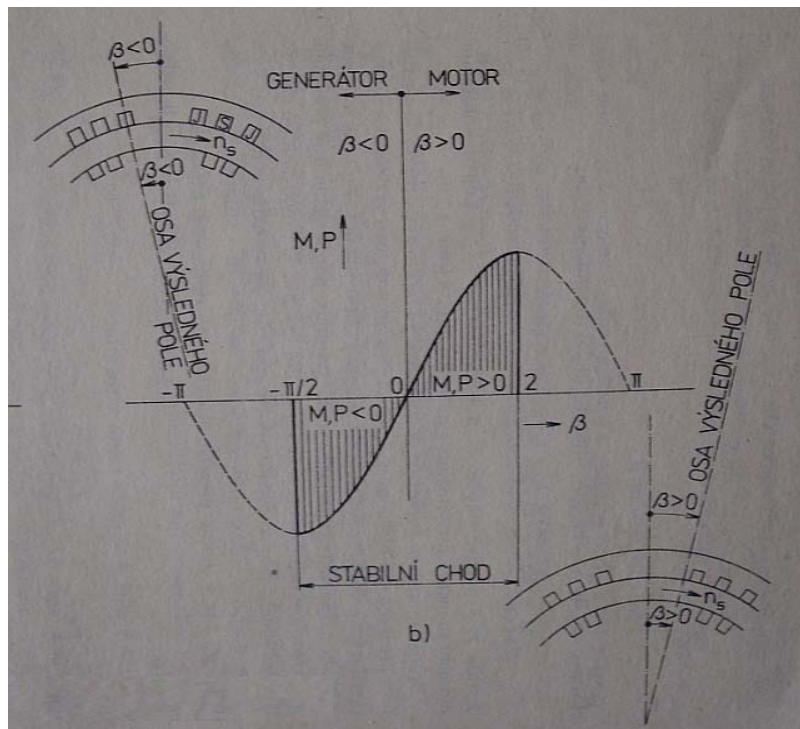
Moment SS závisí

- Přímě úměrně svorkovému napětí U
- Přímě úměrně na U_{ib} tedy budícím proudu I_b ($U_{ib} \sim I_b$)
- Přímě úměrně na zátěžném úhlu β
- Nepřímě úměrně na synchronní reaktanci X_d (tedy velikosti vzduchové mezery)

P1

Průběh momentu SS s hladkým rotorem

Předpokládáme konstantní svorkové napětí U a buzení (U_{ib}) Alternátor :
Zvětšením dodávaného momentu nad kritickou mez (výkon stroje už neroste) alternátor vypadne ze synchronismu – roztočí se na otáčky vyšší než synchronní a naopak ze sítě začne odebírat zkratový proud – nadproudá ochrana ho musí odpojit a okamžitě se musí přerušit přívod energie do poháněcího zařízení (turbíny)

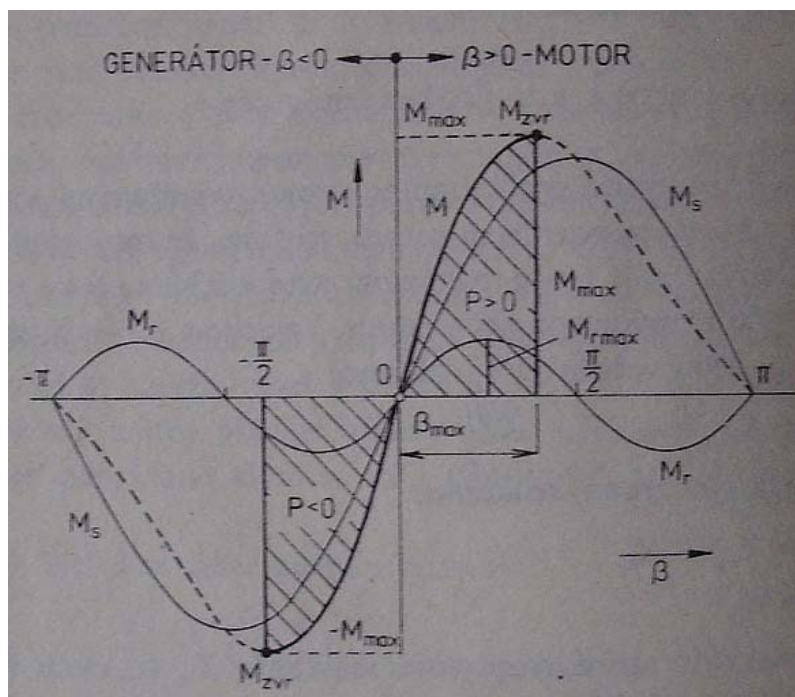


P1

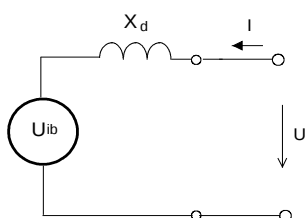


Průběh momentu SS s vyniklými póly

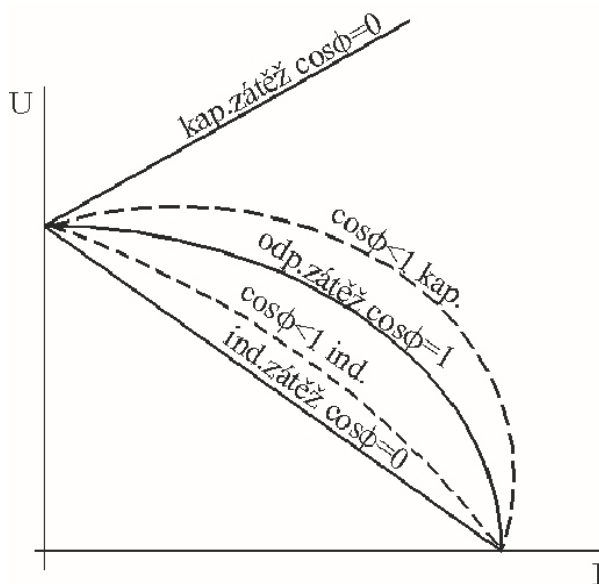
- Vzduchová mezera se vlivem konstrukce značně mění (min osa D podélná max. osa Q příčná). Proto má Moment dvě složky :
- Synchronní M_s – závisí na buzení a zátěžném úhlu
- Reakční M_r – závisí na rozdílu $X_d - X_q$ a $\sin 2\beta$, nezávisí na buzení!
- $M_{\max}$ ($70^\circ - 80^\circ$)



Zatěžovací charakteristiky samostatně pracujícího alternátoru při konstantním buzení a otáčkách



$$U = \sqrt{U_{ib}^2 - (X_d \cdot I)^2}$$



Čistě induktivní zátěž $U = U_{ib} - X_d \cdot I$
 Čistě kapacitní zátěž $U = U_{ib} + X_d \cdot I$
 Nakreslete regulační char. $I_b = f(I)$ pro $U = \text{konst.}$

Fázování a paralelní chod

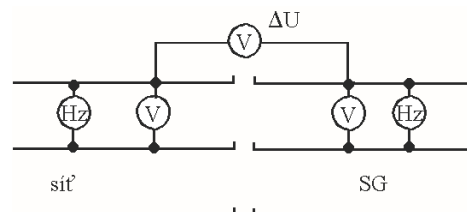
- Uvažujme tvrdou síť $U=\text{konst}$ a $f=\text{konst}$, samotný stroj nemůže tyto veličiny ovlivnit
- Fázování – připojení synch. stroje na tvrdou síť bez proudových rázů

Stejný sled fází stroje a sítě (kontrola malý As.M)

Stejný kmitočet stroje a sítě (dvojitý kmitoměr, regulujeme otáčkami)

Stejná velikost napětí stroje a sítě (dvojitý voltmetr, změnu provedeme pomocí buzení)

Stejná fáze napětí stroje a sítě v okamžiku zapnutí (fázovací žárovky, nulový voltmetr, synchronoskop, urychlit a pak zase zpomalit)

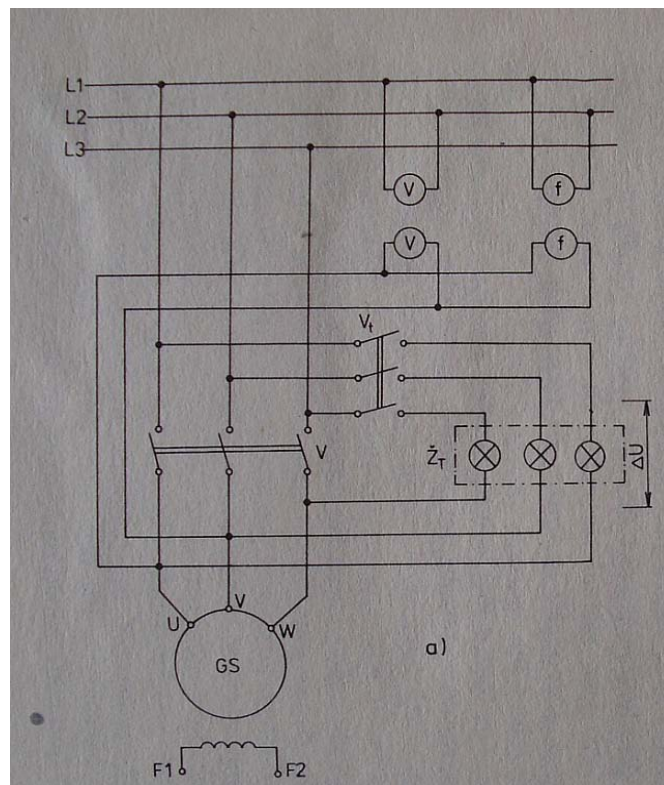


P1

Fázování na tmu

Kmitání světla je tím pomalejší čím je menší rozdíl obou kmitočtů

vhodný okamžik nastane tehdy když žárovky nesvítí. Pokud je zaručeně stejný sled fází stačí i jedna žárovka



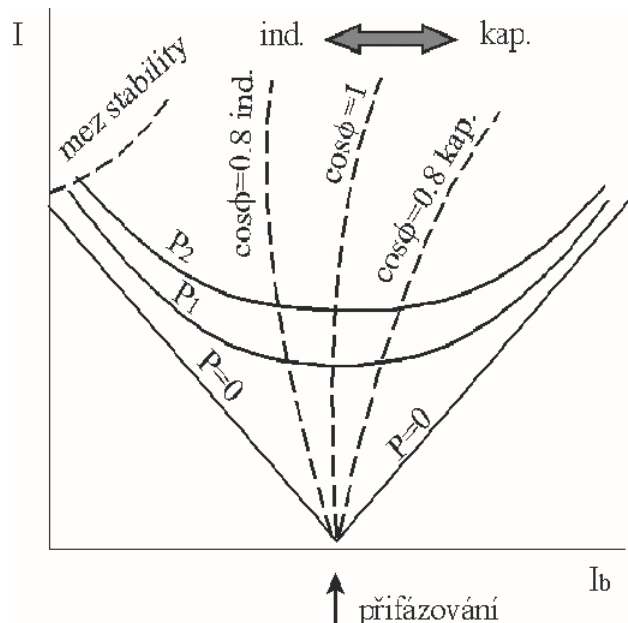
Synchronoskopy, synchronizátory

- Ukazatel se otáčí jedním nebo druhým směrem podle otáček synchronizovaného stroje. Při synchronismu stojí a jeho nezbytné vychýlení ukazuje na rozdíl fází vyrovnávaných napětí. Přifázování se provede pokud co nejdéle setrvá ve vyznačené poloze.
- Synchronizátory umožňují automatické fázování
- Samosynchronizace – nenabuzený alter. se roztočí na otáčky blízké synchronním (skluz < 5%), připne se na síť a současně nabudí (dojde ke vtažení do synchronismu) – využívá se v havarijních stavech – rychlé připojení zdroje

P1

Synchronní stroj na tvrdé síti

- Na tvrdé síti lze stroj řídit buzením a momentem na hřídeli (napětí a frekvence je konstantní)
- V okamžiku přifázování je činný výkon nulový, stroj se chová jako čistá indukčnost a odebírá ze sítě jalový výkon na dobuzení. Při snižování budícího proudu proud statoru roste. Naopak při přebuzení stroje se stroj začne chovat jako kapacita a začne jalový výkon do sítě dodávat
- Při zvýšení momentu na hřídeli začne stroj do sítě dodávat činný výkon



Dynamická stabilita

Dojde-li k náhlé změně podmínek, např. k náhlé změně momentu na hřídeli, stroj se ustálí na novém zátěžném úhlu až po určité době, po odeznění elektromechanických přechodných dějů. Jestliže generátor pracuje s úhlem β_1 a náhle zvýšíme moment na hřídeli na hodnotu M_2 , má stroj na hřídeli přebytek momentu a začne se urychlovat. Při dosažení rovnováhy při úhlu β_2 se urychlování nezastaví, ale stroj vlivem setrvačnosti dále zvyšuje zátěžný úhel. Při $\beta > \beta_2$ však nastává opačná nerovnováha momentů a stroj začne zpomalovat, zátěžný úhel se snižuje. Stroj tímto způsobem několikrát zakmitá kolem nové ustálené polohy β_2 , než mechanické a elektrické ztráty stroj ustálí. Tento jev nazýváme *kývání synchronního stroje*.

Utlumení kývání lze urychlit instalací *tlumiče* na rotoru stroje. Tlumič je kotva nakrátko s tyčemi umístěnými v pólových nástavcích. Při kývání se do tlumiče indukují proudy, které silově působí proti smyslu kývání a přeměňují energii kyvů na Jouleovo teplo v odporech tyčí.

Pokud dojde ke změně u vrcholu momentové křivky, může dojít k překývnutí přes mez statické stability, aniž by stroj vypadl ze synchronizmu, případně může stroj vypadnout ze synchronizmu, aniž by stroj měl na hřídeli moment větší než maximální.

Podobně i v případě většího celku může např. při vypnutí linky dojít k rozpadu soustavy

P1

Řízení napětí

- Napětí alternátoru lze řídit pouze změnou budícího proudu
$$U_i = 4,44 \cdot \phi \cdot f \cdot N_s \cdot k_v$$
- Principiálně lze na síti řídit napětí
 - impedancí sítě - sériové C, L
 - změnou jalového výkonu - paralelní C, synchr. kompenzátory,
 - regulace buzení u alternátorů

■ Budicí soustava alternátoru je složena

System zdroje buzení

- Vysoká provozní spolehlivost
- Možnost plynulé regulace
- Dostatečný „strop“ buzení (min 1,6)
- Co nejrychlejší možná změna budícího napětí

Regulátor buzení

- Udržuje požadované napětí a reguluje dodávku jalového výkonu při změnách zatížení
- Zajišťuje správné rozdělení jalového výkonu na jednotlivé alternátory
- Zajišťuje stabilitu alternátoru jak v normálních podmínkách tak v přechodném stavu

Odbuzovací systém

- Odbuzovač s paralelním odporem
- Odbuzovač se zhášecí komorou

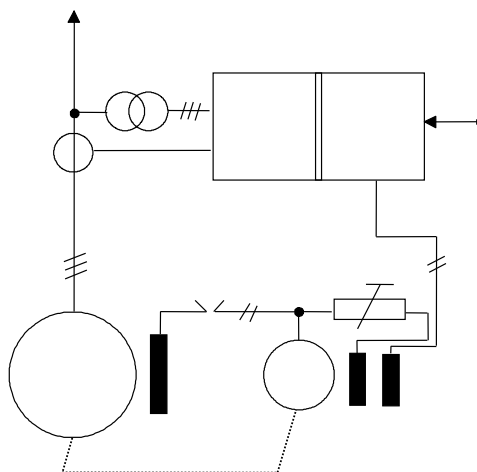


Zdroje buzení

- Budicí systémy s rotačním budičem - asi do 150MW pak výkonově nestačí ss budič
- Budicí systémy s usměrňovačem – ss budič nahrazen střídavým budičem a neřízeným usměrňovačem (jednodušší údržba)
- Budicí systémy s tyristory – podstatné zlepšení dynamických vlastností. Výhodou je v podstatě okamžitá změna budícího napětí jak v kladném tak v záporném smyslu (do 20ms)
- Statické systémy bezkartáčové – liší se od předchozích tím, že jsou vyloučeny veškeré pohyblivé kontakty. Na společné hřídeli s budícím vinutím je umístěn i usměrňovač a jeho napájecí zdroj (střídavý budič)

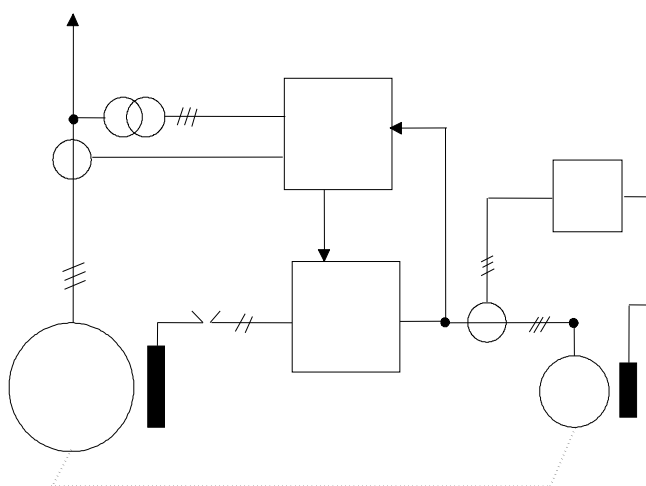
Budící systémy s rotačním budičem

- B- ss rotační budič, derivační buzení nastavené na buzení naprázdno
- R- regulátor napájený z rozvodny vlastní spotřeby (nebo střídavého budiče)
- Řízený usměrňovač napájející pomocné přidavné buzení
- ZK – zhášecí komora



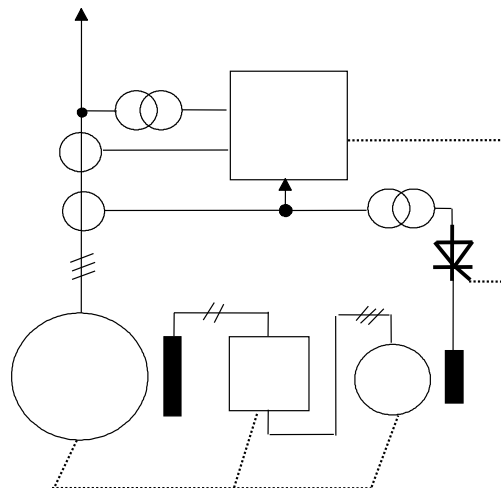
Budící systémy s tyristory

- Napájení 3.f celorožného můstku může být také ze svorek vlastní spotřeby.
- Tyristory se musí z důvodu možného zkratu generátoru a provozní spolehlivosti předdimenzovat
- Odbuzení lze provést přechodem v invertorový chod nebo kombinací se zhášecí komorou

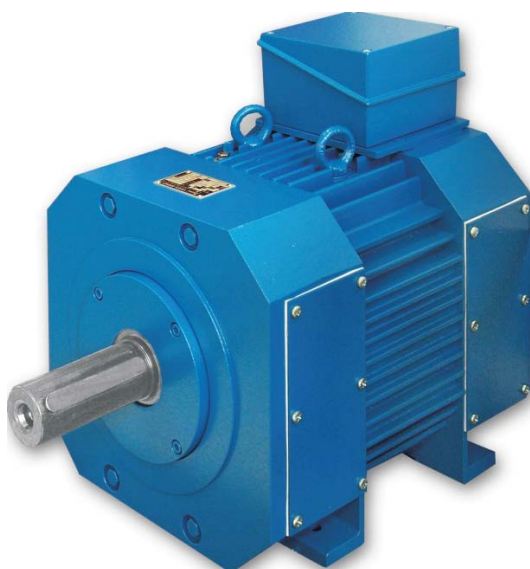


Statické systémy bezkartáčové

- Na společné hřídeli budící vinutí usměrňovač a rotor střídavého budiče (střídavé vinutí na rotoru, budící vinutí na statoru)
- Buzení střídavého budiče zajišťuje tyristorová souprava napájená přes transformátor z výstupu alternátoru
- Nevýhoda- bez úprav nelze měřit budící proud a napětí na budícím vinutí alternátoru, měří se budící proud střídavého budiče- pomalejší reakce- pro velké stroje nevýhodné

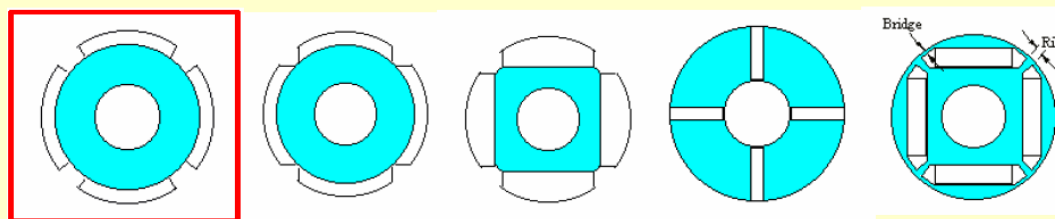


Motory s trvalými magnety

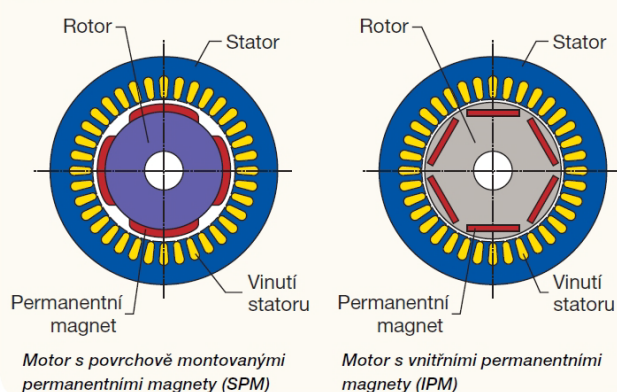


Synchronní motory řady SM (KM) jsou řešeny jako bezkartáčové stroje buzené permanentními magnety na bázi vzácných zemin, které jsou umístěny na rotoru. Magnetický obvod je složen z elektrotechnických plechů. V drážkách statoru je uloženo trojfázové vinutí zapojené do hvězdy. V motorech je standardně zabudována dvojstupňová tepelná ochrana vinutí. Izolační systém je ve třídě H. Chlazení je zajištěno buď s vlastní nebo cizí ventilací, případně jejich kombinací. Motory jsou napájeny z měniče kmitočtu s maximálním výstupním napětím sinusového průběhu 340 Vef.

Motory s trvalými magnety

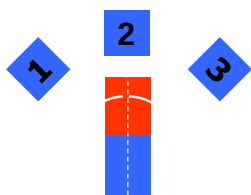


Obr. 1 Konstrukce motoru



Rozběh synchronního motoru

Při přímém připojení k síti se synchronní motor sám nerozeběhne



Magnetické pole statoru se otáčí synchronní rychlostí, rotor se nepohybuje

1. v čase t_1 je odpovídající síla F_1 , směr doleva
2. v čase t_2 je síla $F_2 = 0$
3. v čase t_3 je odpovídající síla F_3 , směr doprava

Směr působení síly na rotor se neustále mění, mechanická setrvačnost způsobí, že se rotor sám neroztočí (mechanická charakteristika nemá společný bod s osou momentu).

K tomu, aby se motor otáčel synchronními otáčkami, je třeba ho roztočit zhruba na 95% n_s . Poté se „vtáhne do synchronismu“.

Možnosti spouštění:

- pomocný motor (fázuje se na síť stejně jako alternátor nebo samosynchronizace)
- autosynchronní rozběh
- měnič frekvence

Autosynchronní rozběh

principem autosynchronního rozběhu je klecové vinutí, které je umístěno na rotoru (slouží zároveň jako tlumič).

- * synchronní motor se rozběhne jako asynchronní na zhruba 95 % otáček a poté se „vtáhne do synchronismu“.
- * při běhu klecové vinutí nezvyšuje ztráty, při synchronních otáčkách se do vinutí neindukuje žádné napětí.

Autosynchronní rozběh – motory s budícím vinutím

Při rozběhu je budící vinutí zkratováno nebo je připojeno přes rezistor (výhodnější), jinak by se při velkém skluzu nabudilo velké indukované napětí, které by poškodilo izolaci) Po dosažení asynchronních otáček se rotor nabudí a rotor se roztočí synchronními otáčkami.

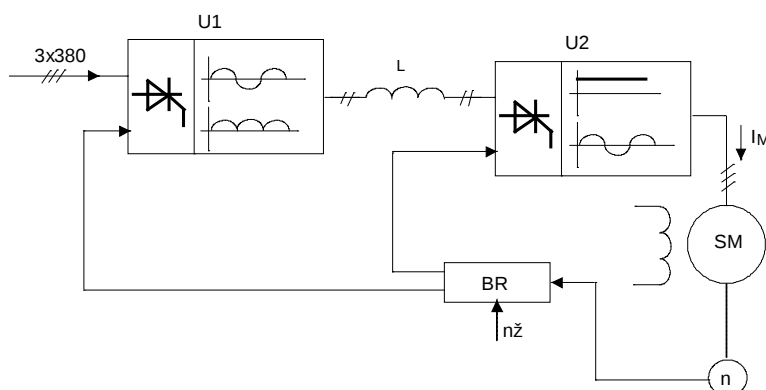
Možné problémy: klecové (tlumící) vinutí je uloženo v pólech a nemusí být rozloženo rovnoměrně po celém obvodu rotoru. Při velkém zátěžném momentu se rotor roztočí pouze zhruba na $50 n_s$. Motor se nemůže „vtáhnout do synchronismu“ a vznikají velké momentové a

Řízení otáček synchronních motorů

- Ze vztahu $n = (60 \cdot f) / p$ vyplývá, že jedinou možností měnit otáčky synchronního motoru je změnou frekvence

Nepřímý měnič frekvence se stejnosměrným meziobvodem

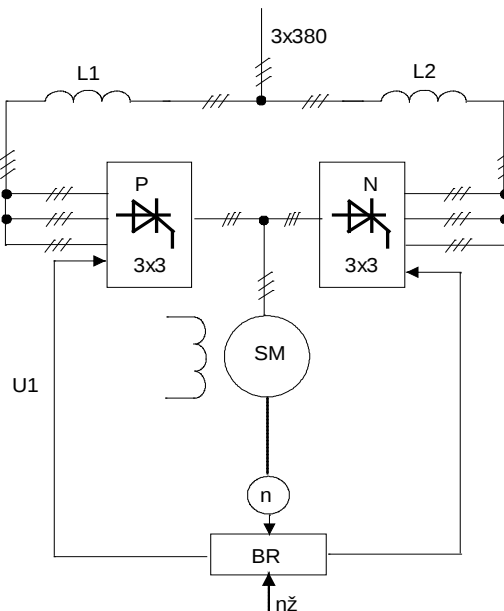
U1 – tyristorový usměrňovač
L - tlumivka ss meziobvodu
U2 – střídač
BR – blok řízení dává impulsy, kterými se řídí velikost ss proudu a impulsy na řídicí elektrody střídače, kterými řídí frekvenci střídavého proudu I_m
n - snímač polohy a otáček rotoru
nž – žádané otáčky zadané do BR
V generátorovém provozu si oba můstky vymění úlohy a energie se dodává do sítě



Řízení otáček synchronních motorů

Přímý měnič frekvence se skrytým stejnosměrným meziobvodem

Tři trojfázové usměrňovačové skupiny P a tři skupiny N napájené přes skupiny vyhlazovacích tlumivek L1, L2. Osmnáct tyristorů umožňuje spojení libovolné fáze s libovolnou fází motoru. Řídící impulsy z bloku řízení otevírají tyristory skupiny P a N tak v závislosti na fázi sítě a žádané frekvenci napájecího proudu (žádaných otáček)



Ukázky motorů

SYNCHRONNÍ MOTORY S PERMANENTNÍMI MAGNETY TYPOVÉ ŘADY SM (KM)



Bezkartáčový synchronní motor s trvalými magnety s výkony od 6 do 260 kW, možnost napájení z měniče frekvence.

Ukázky motorů

Typ	Výkon	Moment	Max. otáčky	J_r	Hmotnost
	kW	Nm	min ⁻¹	kgm ²	kg
SM112K	14	61	5000	0,0141	57
SM112S	21	91	5000	0,0177	66
SM112M	28	122	5000	0,0214	75
SM112L	33	143	5000	0,0251	84
SM132K	28	122	4000	0,031	91
SM132S	39	169	4000	0,038	103
SM132M	50	217	4000	0,045	116
SM132L	60	260	4000	0,052	128
SM160K	57	247	3400	0,098	152
SM160S	77	334	3400	0,116	170
SM160M	89	386	3400	0,134	188
SM160L	106	460	3400	0,152	206
SM180K	127	551	3200	0,242	242
SM180S	148	642	3200	0,275	265
SM180M	170	738	3200	0,308	288
SM180L	193	838	3200	0,341	311

**ZÁKLADNÍ TECHNICKÉ PARAMETRY
PRO JMENOVITÉ OTÁČKY 2 200 min⁻¹,
KRYTÍ IP23, CHLAZENÍ IC01**

Hodnota proudu, nutná pro přiřazení
odpovídajícího napájecího měniče
motoru se určí dle vzorce:

$$I = 7 \cdot 10^5 \cdot \frac{P}{n \cdot k_E}$$

kde:

I (A).....proud měniče
P (kW).....výkon motoru
n (min⁻¹).....otáčky motoru
k_E (V/1000min⁻¹).....napěťová
konstanta vinutí (viz typovací klíč)

M = konstant für 20 Hz bis f _{max}	Werte bei 50 Hz			Werte bei max. Frequenz			Baugröße	Bestell-Nr.	max. Fremd- trägheits- moment J _{ext} kgm ²	Gewicht für Bauform IM B5 ca. kg
	Bemes- sungs- leistung	Bemes- sungs- strom	Anzugs- strom	Bemes- sungs- leistung	Bemes- sungs- strom	Anzugs- strom				
M _N Nm	P _N kW	I _N A	I ₁ A	P _N kW	I _N A	I ₁ A				
max. Frequenz 50 Hz bei U _N = 400 V/50 Hz, max. Drehzahl 3000 min ⁻¹										
1,3	0,41	2,0	7,3	–	–	–	80	1FU8 080-2TA8□	0,023	9
2,2	0,7	2,9	11,8	–	–	–	80	1FU8 083-2TA8□	0,035	11
2,9	0,9	3,8	17,5	–	–	–	80	1FU8 086-2TA8□	0,045	12
7,3	2,3	6,8	43	–	–	–	112	1FU8 113-2TA8□	0,3	29
max. Frequenz 100 Hz bei U _N = 200 V/50 Hz, max. Drehzahl 6000 min ⁻¹										
1,3	0,41	4,1	14,6	0,82	4,2	21,7	80	1FU8 080-2TA6□	0,023	9
2,2	0,7	5,8	23,5	1,4	6,0	34,6	80	1FU8 083-2TA6□	0,035	11
2,9	0,9	7,2	33	1,8	7,5	48	80	1FU8 086-2TA6□	0,045	12
7,3	2,3	13,5	85	4,6	14,1	130	112	1FU8 113-2TA6□	0,25	29



**Bezkartáčový synchronní motor s
trvalými magnety s klecovým vinutím
pro asynchronní rozběh. Výkony od 0,3
do 6 kW, možnost napájení z měniče**



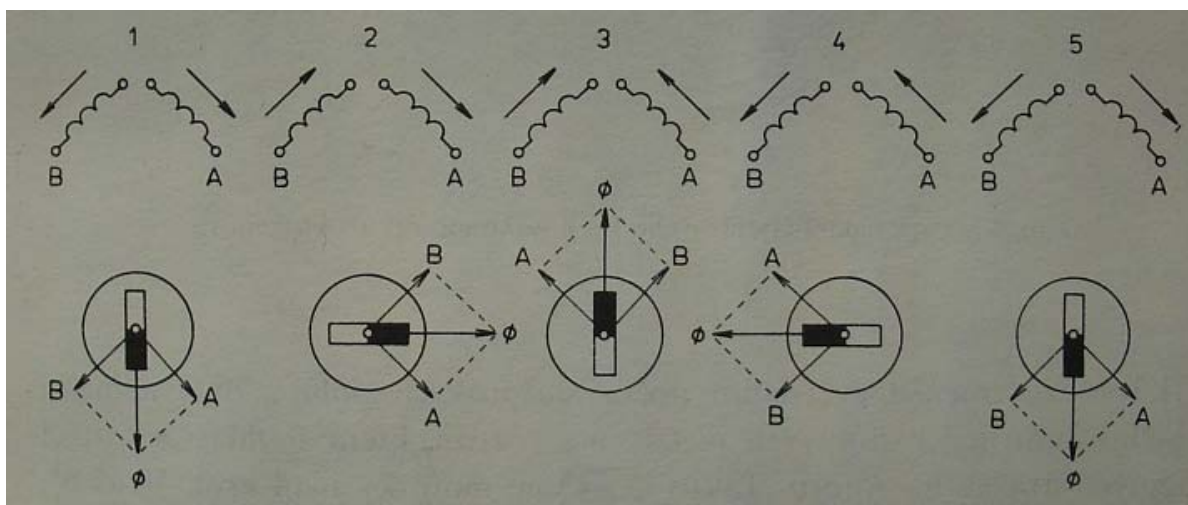
Speciální stroje

- Krokový motor
- Lineární motor
- Selsyny
- Stejnosměrné EC motory

P1

Krokový motor

- vykonává funkční pohyb nespojitě po stupních které se nazývají krokem
- Rotor z permanentního magnetu zaujme polohu, která odpovídá výslednému magnetickému toku

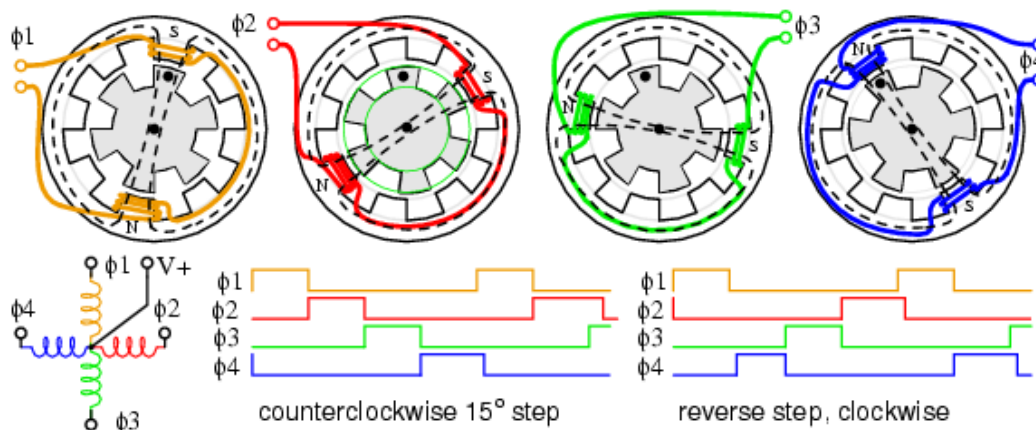


K1



Krokový motor

- Dle provedení magnetického obvodu rozlišujeme
KM s permanentními magnety na rotoru (aktivní rotor)
KM reluktanční (drážkování na rotoru bez PM)
Hybridní (drážkování i PM)

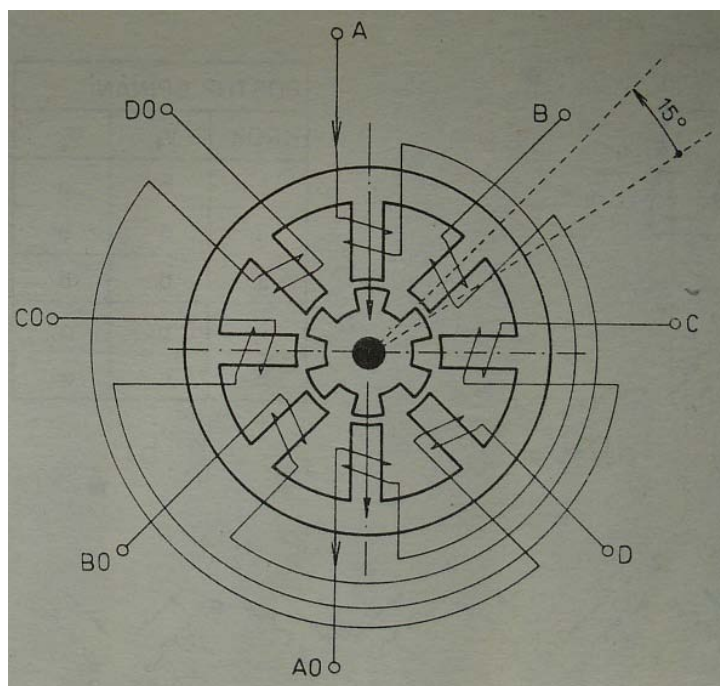
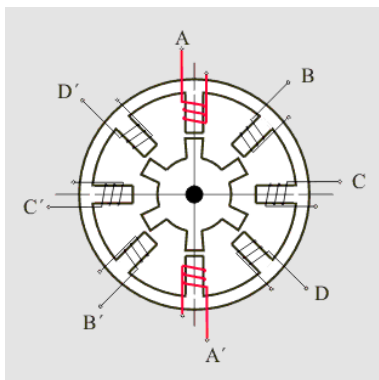


P1



Krokový motor 4.fázový

- Rotor má šest zubů a působí jako reakční (rotor se ustálí vždy tak, aby osa s maximální mag. vodivostí souhlasila s osou vinutí fáze)

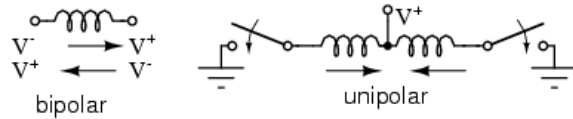


Krokový motor - řízení

- Při unipolárním řízení prochází proud v jednom okamžiku právě jednou cívkou.

Motor sice má nejmenší odběr, ale také poskytuje nejmenší kroutící moment.

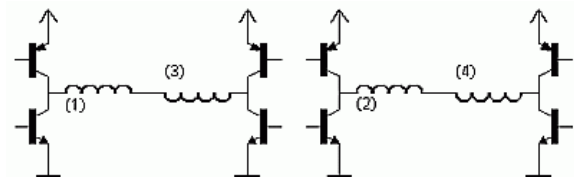
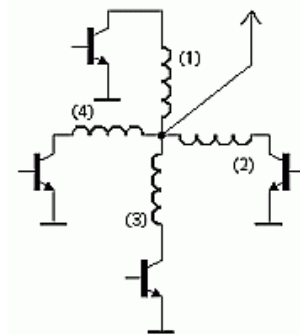
Jednoduché zapojení řídicí elektroniky - v podstatě stačí jeden tranzistor na každou cívku.



- Při bipolárním řízení prochází proud vždy dvěma protilehlými cívkami zapojenými tak, že mají navzájem opačně orientované mag. pole.

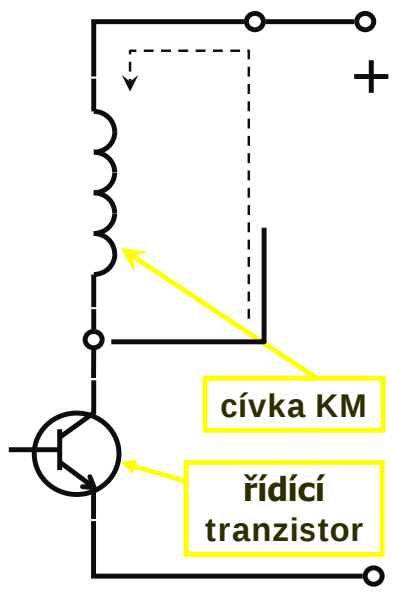
větší kroutící moment, ovšem za cenu vyšší spotřeby.

Pro řízení jsou zapotřebí 2 H-můstky: pro každou větev jeden



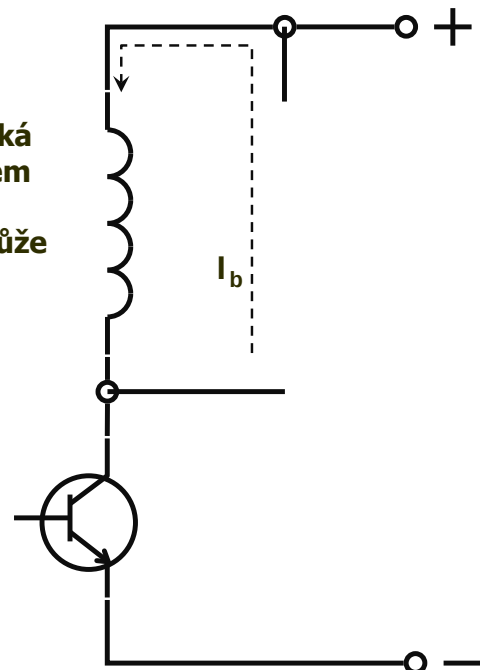
K1

Základní zapojení KM (jedna fáze)



Problém:

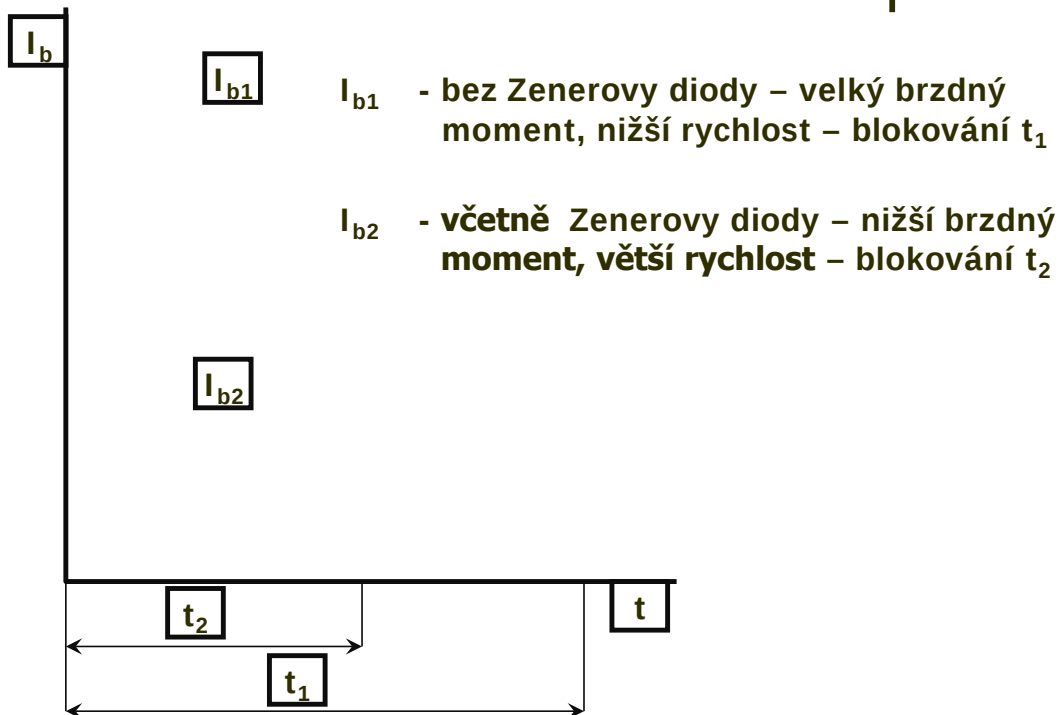
Při vypínání indukčnosti vzniká ve stejnosměrném obvodu velké přepětí, které může poškodit řídicí tranzistory - ?



Snížení přepětí:

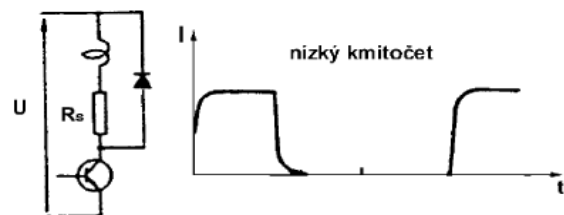
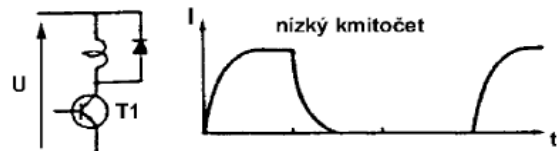
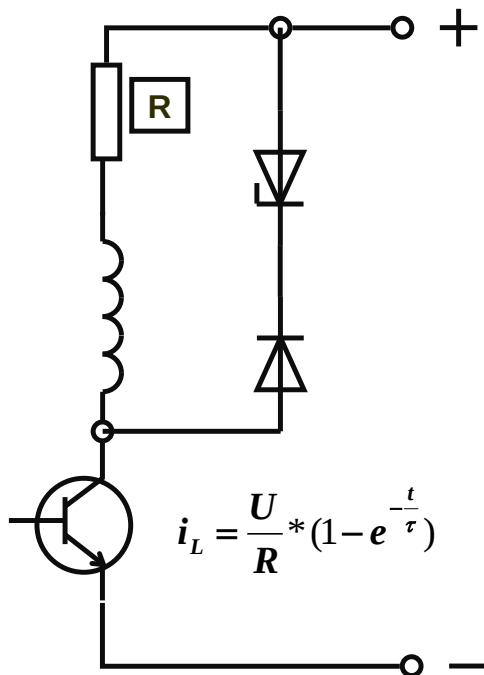
Nulová dioda, která je zapojena v závěrném stavu paralelně k cívce KM.

Průběh brzdného proudu



Možnosti zvýšení řídicího kmitočtu momentu motoru

Moment je dán střední hodnotou proudu na cívce.



Kratší časová konstanta $\Rightarrow$ větší odpor

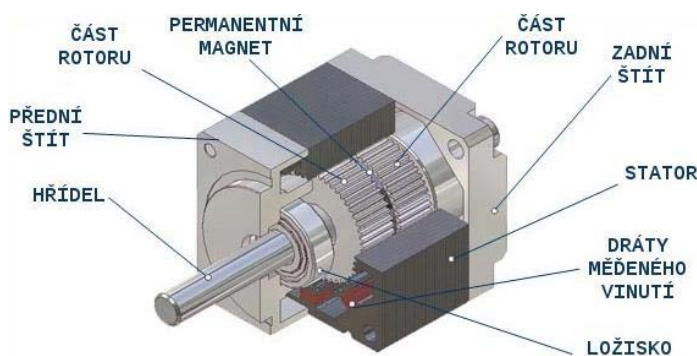
časová konstanta $\tau = L/R$

Změna časové konstanty zvýšením odporu a napájecího napětí.

Krokové motory

- Velkou předností krokových motorů je, že pracují bez nákladných snímačů otáček nebo polohy, jsou jednodušší a tím i provozně spolehlivější a levnější.
- Řízení se typicky provádí v přímé větvi bez zpětné vazby.
- Jedinou podmínkou spolehlivé funkce je jejich správné dimenzování ve všech provozních režimech.
- Mají vysokou životnost a jsou bezúdržbové.

Hybridní krokový motor



Charakteristickým rysem je axiálně orientovaný rotorový permanentní magnet, na jehož koncích jsou umístěny feromagnetické pólové nástavce. Obvodové zuby těchto nástavců jsou vzájemně pootočený o polovinu úhlového rozestupu zubů rotoru. V podélném směru je tak vždy proti zubu na jednom nástavci drážka na nástavci druhém.



Lineární motor

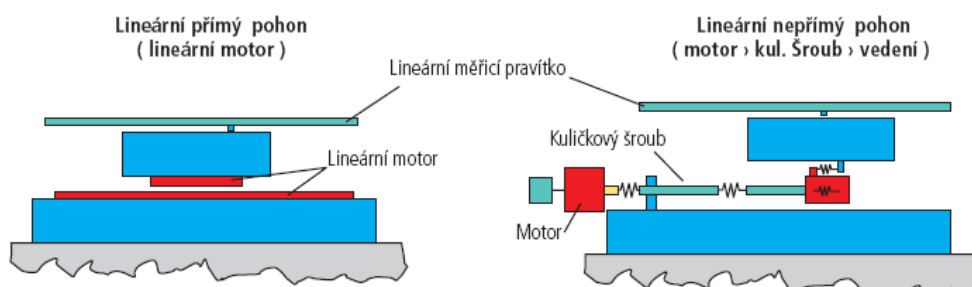
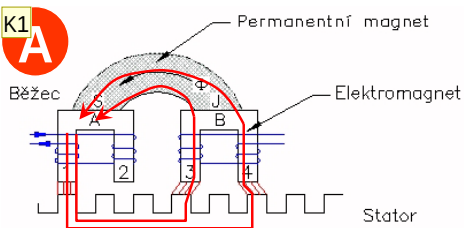
Lineární pohony umožňují lineární (přímočarý) pohyb.

Mohou být realizovány:

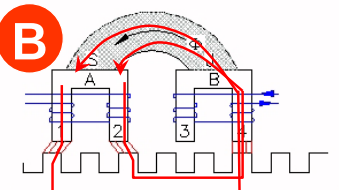
- * lineárním motorem
- * rotačním motorem se šroubovým převodem a vedením

Z hlediska konstrukce je možných několik variant pohonu. Takový pohon, který umožňuje přímočarý pohyb bez zprostředkujícího převodu označujeme jako přímý lineární pohon.

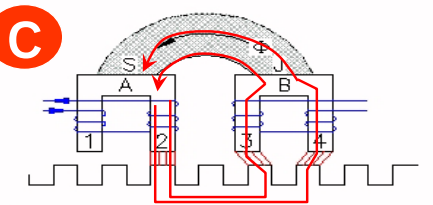
V praxi se především používají motory synchronní, asynchronní, krokové, stejnosměrné s komutátorem a reluktanční motory.

K1
A

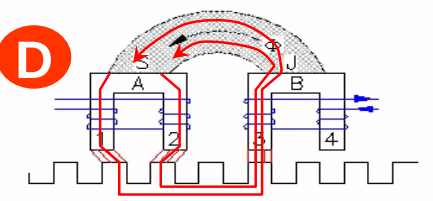
B



C



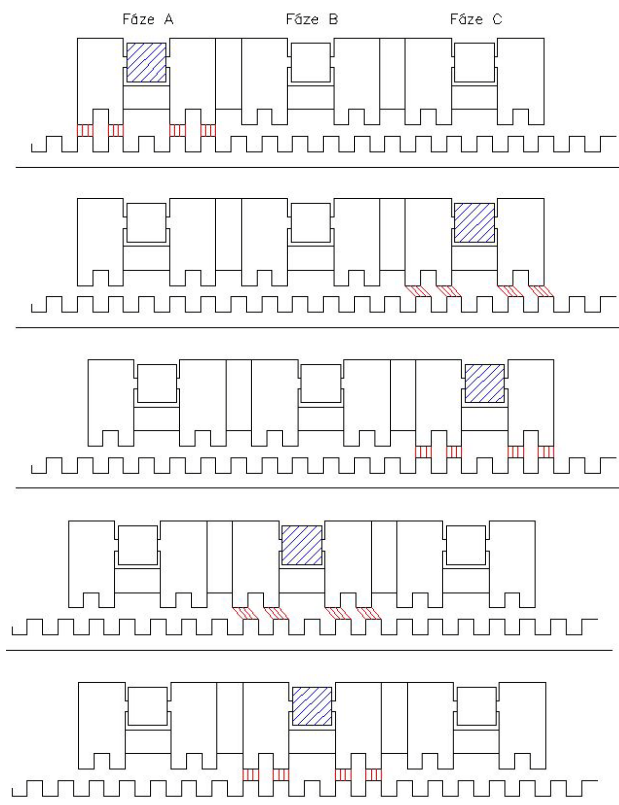
D



Lineární motor krokový motor dvoufázový

- A**
- 1 - pole PM + pole elektromagnetu A
 - 2 - pole PM – pole elektromagnetu A, výsledné pole je nulové
 - 3 - $\frac{1}{2}$ pole PM + pole elektromagnetu A
 - 4 - $\frac{1}{2}$ pole PM + pole elektromagnetu A
- B**
- 1 - $\frac{1}{2}$ pole PM + pole elektromagnetu B
 - 2 - $\frac{1}{2}$ pole PM + pole elektromagnetu B
 - 3 - pole PM – pole elektromagnetu B, výsledné pole je nulové
 - 4 - pole PM + pole elektromagnetu B
- C**
- 1 - pole PM – pole elektromagnetu A, výsledné pole je nulové
 - 2 - pole PM + pole elektromagnetu A
 - 3 - $\frac{1}{2}$ pole PM + pole elektromagnetu A
 - 4 - $\frac{1}{2}$ pole PM + pole elektromagnetu A
- D**
- 1 - $\frac{1}{2}$ pole PM + pole elektromagnetu B
 - 2 - $\frac{1}{2}$ pole PM + pole elektromagnetu B
 - 3 - pole PM + pole elektromagnetu B
 - 4 - pole PM – pole elektromagnetu B, výsledné pole je nulové

K1



Lineární motor krokový motor třífázový

- 1 - nabuzena fáze A
výchozí poloha
- 2 - nabuzena fáze C
jezdec vytvoří novou vazbu se zuby statoru
- 3 - nabuzena fáze C
jezdec překmitne do nové pozice – 1. krok
- 4 - nabuzena fáze B
jezdec vytvoří novou vazbu se zuby statoru
- 5 - nabuzena fáze B
jezdec překmitne do nové pozice – 2. krok

K1

1. Motor

- a) stator (jezdec) 3-fázové vinutí, které je uloženo v drážkách magnetického obvodu z plechů, které jsou z feromagnetického materiálu.
- b) rotor magnetické pásky (Nd-Fe-B), které jsou nalepeny na ocelové podložce. Rotor je vyhlazen.

2. Zdroj měnič frekvence s napěťovým meziobvodem se zpětnou vazbou od snímače polohy (elektronická komutace)

3. Přívod na motor

- napájecí kabel
- kabel od snímače polohy

Musí být dostatečně pohyblivé a chráněno proti mechanickému poškození

4. Snímač polohy

- **fotoelektrický princip** – na ocelovém pásku jsou vypáleny rysky 20 (40) μm, které přerušuje laserový paprsek
- **magnetický princip** – nosná páska s tenkou záznamovou vrstvou, ve které je „namagnetována“ mřížka s roztečí 2 – 10 mm. Pohyb snímá magnetická hlava.

5. Ostatní (koncové spínače, zabezpečení, chlazení, kryty, ...)

Synchronní lineární motor



6. Řídící systémy Zpětné vazby

o rychlosti motoru)
poloze motoru)

pohonu)

Komunikace

- obousměrná - motor nepřijímá pouze signál, ale informuje i o svém stavu (napětí, teplota, výpadek ze synchronismu, přetížení, napětí, ...)

- číslíkové regulátory

- * proudová
- * rychlostní (informace

* polohová (informace o

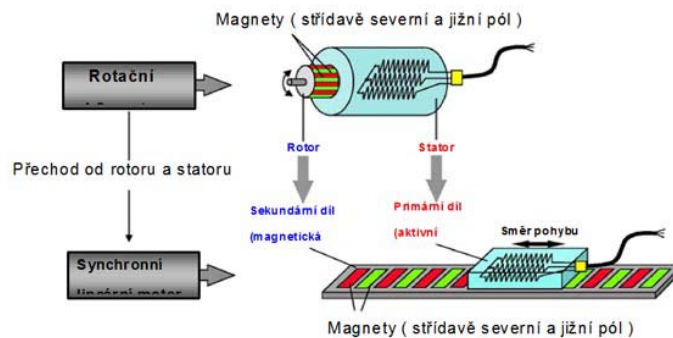
* zrychlení (podle typu

K1



Synchronní lineární motor

Statorem je u lineárních motorů označován primární díl a rotorem sekundární díl. Primární část je tvořena stejně jako u klasických strojů feromagnetickým svazkem složeným z elektrotechnických plechů a trojfázového vinutí uloženého v jeho drážkách. Proti primárnímu dílu je konstrukčně uspořádána sekundární část tvořená permanentními magnety, které jsou nalepené na ocelové podložce a zalité v pryskyřici. Pokud přivedeme do primární části (jezdec) řídicí proud, vznikne magnetické pole mezi oběma částmi a dojde k pohybu jezdce. Úrovní proudu můžeme ovládat rychlost a sílu pohybu.



P1



Lineární motor

- Mezi přednosti lineárních motorů patří
 - libovolně stavitelná magnetická dráha
 - vysoká přesnost polohy, opakovatelnost
 - velké dosahované rychlosti a zrychlení
 - jednoduché řízení
 - možnost použití více sekundárních částí (jezdců) na jedné magnetické dráze, které se pohybují nezávisle na sobě.



Lineární osa se dvěma jezdci

Asynchronní lineární motory



pracují na principu asynchronního stroje, sekundární díl - klec nakrátko tvoří buď

- vinutí uložené do drážek
- hliníková pás připevněný na ocelové podložce

- * možnost napájení bez měniče kmitočtu, přímo ze sítě.
- * zastavení je provedeno vypnutím přívodu nebo koncovým vypínačem
- * použití - posuvné brány, závory, podavače, čerpadla tekutých kovů , přenos kovových plechů , doprava (sekundár je kolej, primár je ve vozidle)

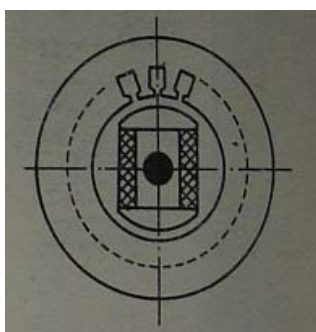
Výhodou u asynchronních oproti synchronním je menší velikost přitažlivé síly mezi primární a sekundární částí. Tato síla je ve vypnutém stavu motoru nulová.

P1

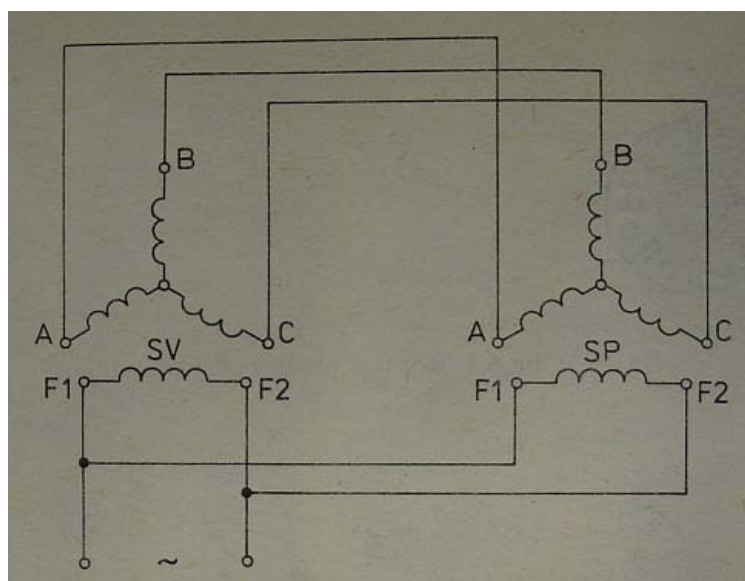


Selsyny- slouží pro dálkový přenos otáčivého pohybu

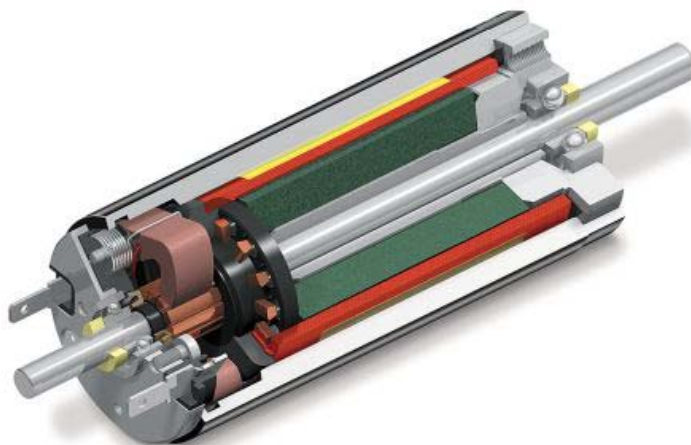
- Jedná se o synchronní motor, Na statoru je obvyklé třífázové vinutí, Rotor je z plechů, navinut také trojfázové (dvě fáze se spojí (do série nebo paralelně) a konce se vyvedou na kroužky. Třetí fáze se spojí nakrátko a tvoří tlumící vinutí. Rotor může mít i vyniklé póly (obvykle dvoupólový)



SV – vysílač
SP – přijímač – může jich být více
Vinutí statoru i rotoru zapojena paralelně



Stejnoseměrné motory se samonosným vinutím



Materiály z prezentace Uzimex (motory Maxon)

Úvod

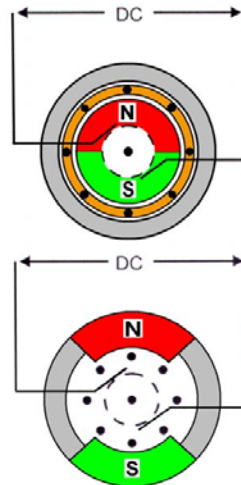
Z odborných studií tvoří motory malých výkonů (řádově do stovek wattů) až 70% všech motorů.

Na tyto motory jsou kladeny specifické požadavky:

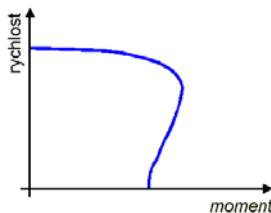
- * jednoduchá konstrukce, minimální údržba
- * vysoká dynamika pohonu
- * **jednoduchá regulace otáček**
- * minimální nebo žádné rušení
- * optimální rychlostní a mechanické charakteristiky
- * vzájemná vazba mezi vektory magnetických polí statoru a rotoru (pro maximální mechanický moment - 90°)
- * **optimální rozběhový moment pro daný pohon**
- * **případná možnost nastavit úhel natočení**

Možnosti realizace

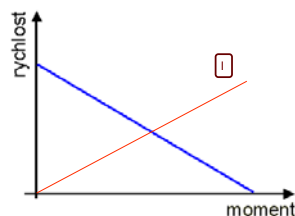
1. Klasický stejnosměrný motor s trvalými magnety
2. Komutátorové motory s trvalými magnety, se samonosným vinutím bez železného jádra viz obr. (PM uvnitř nebo vně)
3. Bezkartáčové motory s trvalými magnety a elektronickou regulací (v principu jsou to synchronní motory, ale svými vlastnostmi se blíží stejnosměrným motorům)
4. Krokové motory



Ve všech aplikacích se vzhledem k malému výkonu předpokládá buzení prostřednictvím trvalého magnetu.



Charakteristiky



K1

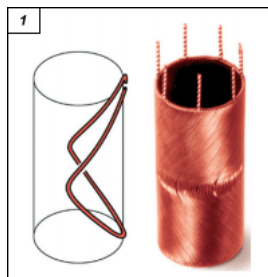
Konstrukce komutátorového motoru bez železného jádra

1. Rotor (kotva)

Rotor je tvořen pouze vinutím bez železného jádra – samonosné vinutí.

Konce vinutí jsou vyvedena na komutátor.

V dutině cívky je umístěn trvalý magnet - stator



Samonosné vinutí

Vlastnosti:

- * **výrazné snížení indukčnosti vinutí kotvy**
 - téměř odstraňuje reakci kotvy a problémy s komutací
 - snižuje opalování kartáčů a komutátoru $\Rightarrow$ zvyšuje životnost motoru, motory jsou bezúdržbové
 - zvýšení dynamiky pohonu (snižuje se časová konstanta)
- * snižuje hmotnost motoru
- * zmenšuje rozměry motoru
- * umožňuje zvýšení rychlosti (menší odstředivé

Konstrukce komutátorového motoru bez železného jádra

2. Stator

Budící vinutí je nahrazeno trvalým magnetem, pro jehož umístění je využit prostor v dutině samonosného vinutí

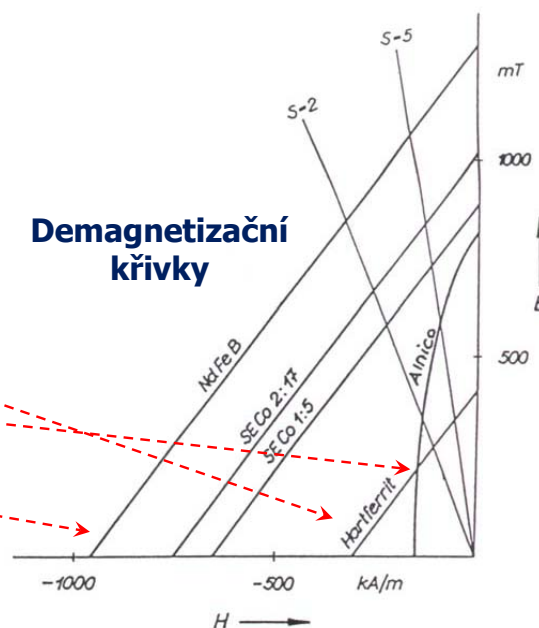
Kostru motoru tvoří feromagnetický plášť.

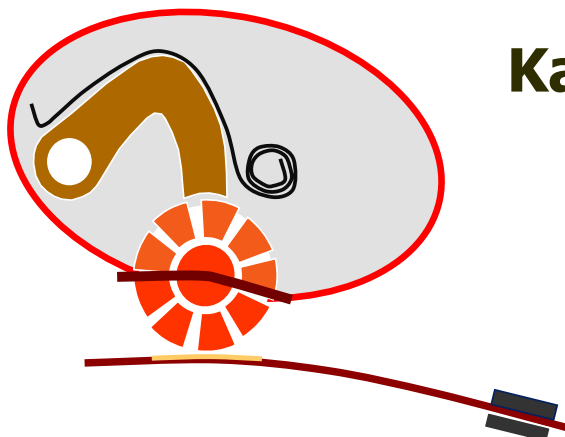
Trvalé magnety:

- * magneticky tvrdé ferity
- * slitina ALNICO
- * vzácné zeminy (neodym, železo, bór)

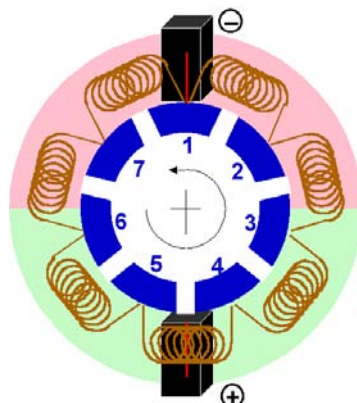
Pro volbu daného magnetu se uvažuje poměr
velikost – hmotnost – cena

Demagnetizační křivky



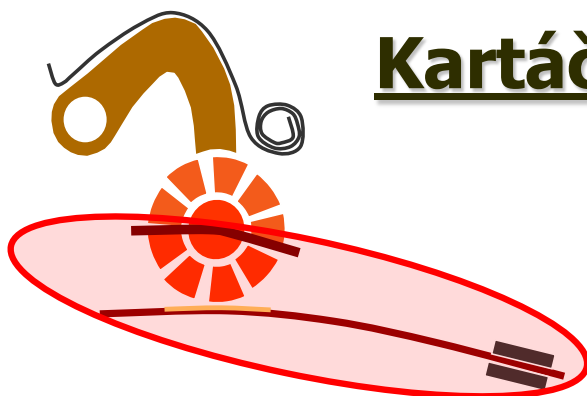


Kartáče a komutátor

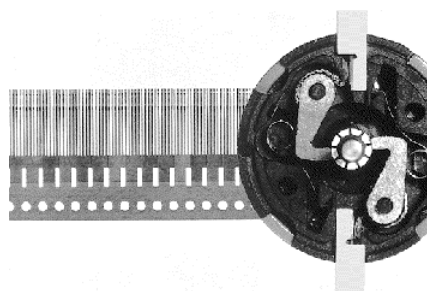


1. Grafitové kartáče (grafit + měď')

- * dosedají na komutátor větší plochou, mohou přenášet větší proudy
- * vyžadují větší přitlačnou sílu
- * zvyšují mechanický odpor, zvyšují proud naprázdno
- * při opotřebení dochází ke znečištění motoru grafitovým prachem
- * vyšší rušení, nutné odrušení
- * používají se pro větší výkony, pohony s častými rozběhy a předpokládaným krátkodobým přetížením



Kartáče a komutátor

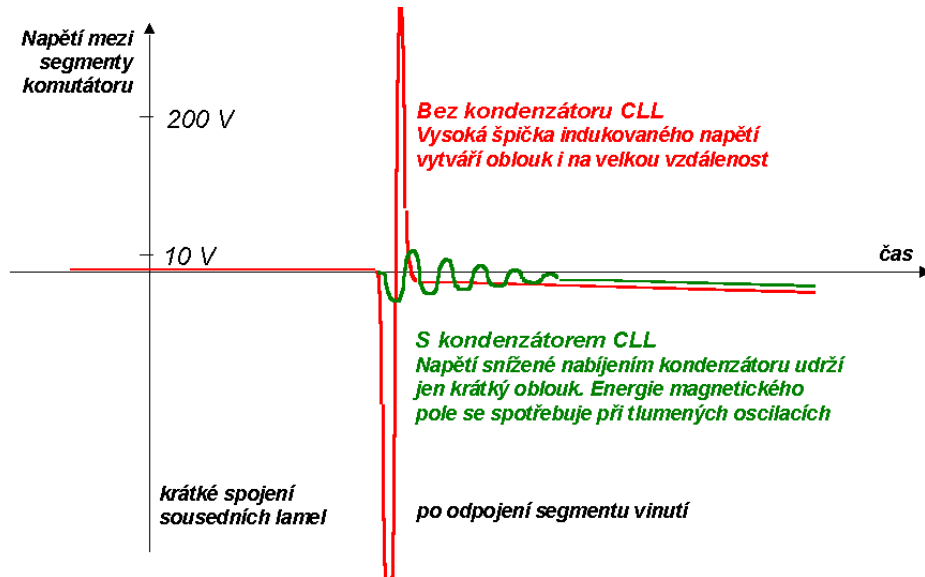


2. Kovové kartáče (kartáče - bronz + stříbro, komutátor – bronz)

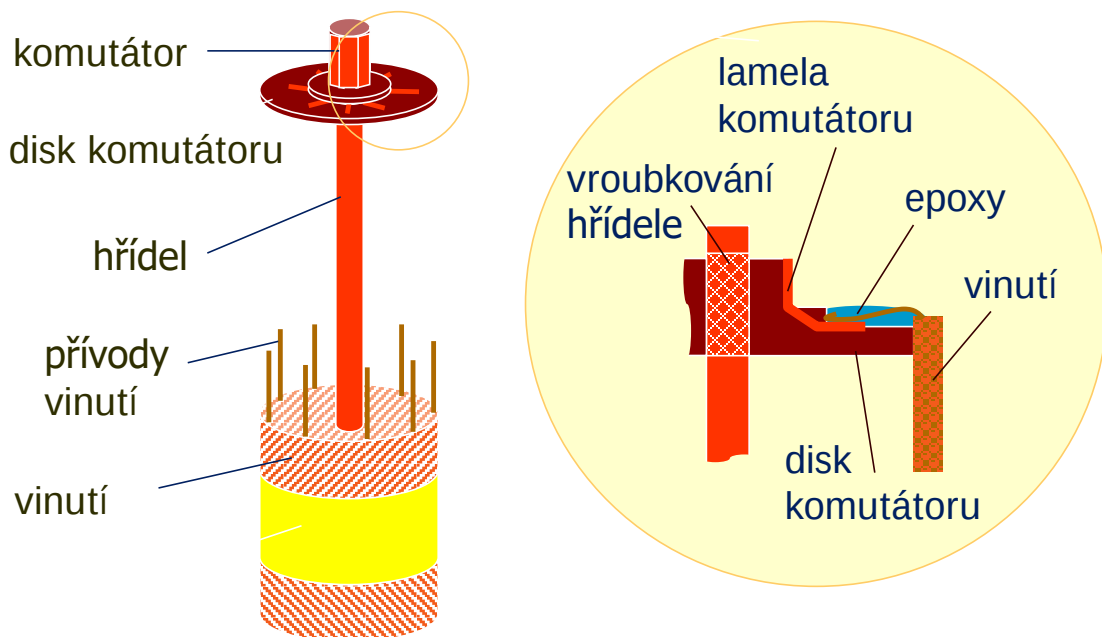
- * doléhají na komutátor vlastní pružností $\Rightarrow$ malá přitlačná síla
- * nízký přechodový odpor
- * malé mechanické brzdění $\Rightarrow$ snížení proud naprázdno
- * ke snížení jiskření se používají kondenzátory $\Rightarrow$ zvýšení doby života

Kartáče a komutátor

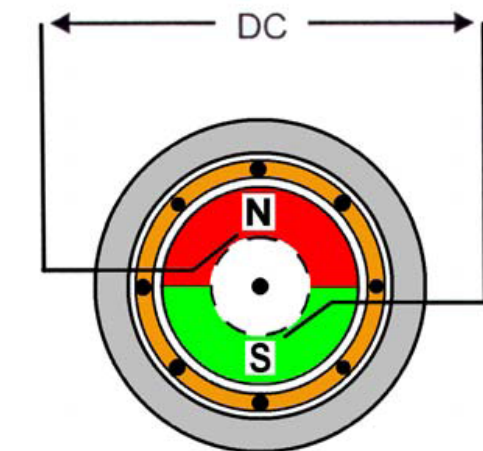
Kondenzátory jsou umístěny mezi sousedními lamelami komutátoru



Konstrukce rotoru

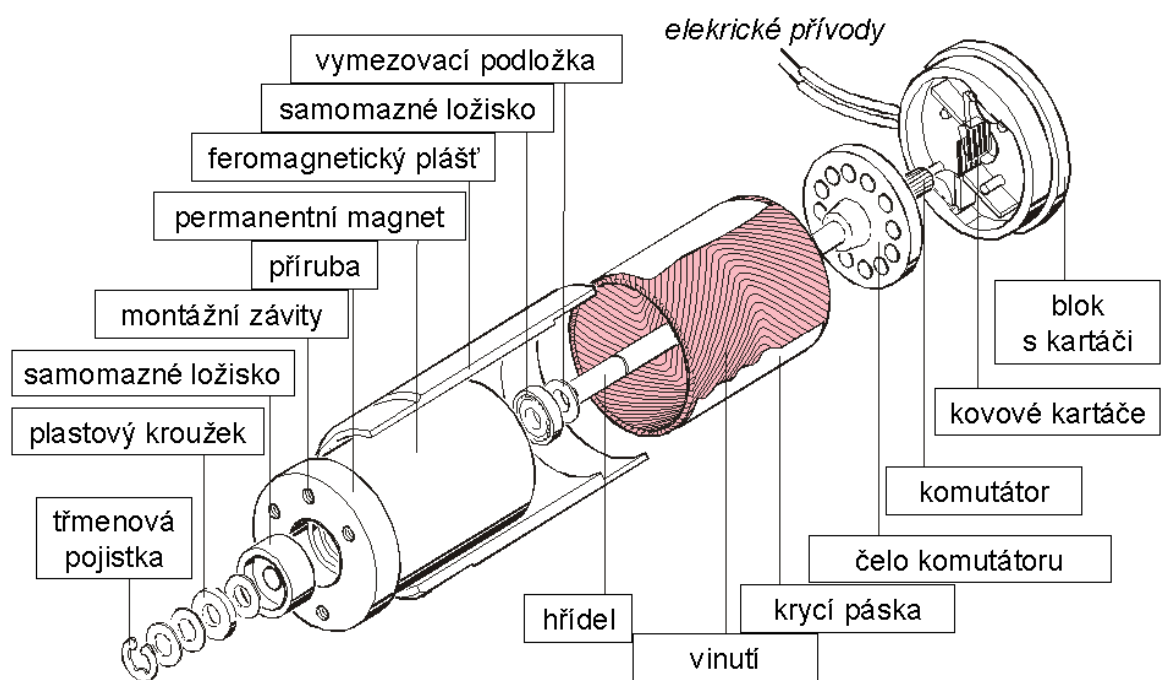
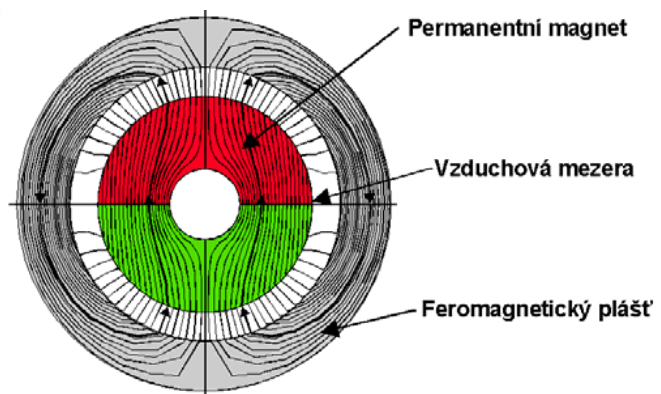


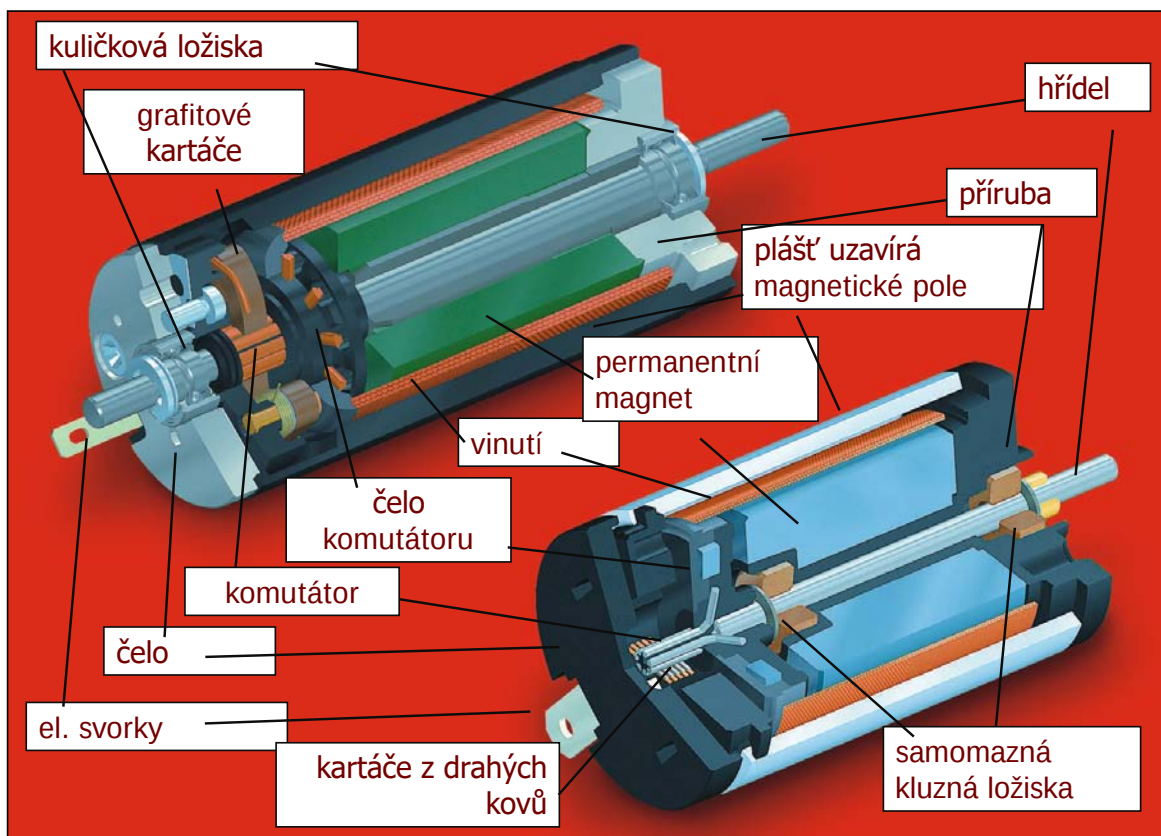
Konstrukce



Rozložení magnetického toku

Stejnoseměrný motor se samonosným vinutím a komutátorem





Elektronicky komutované stejnosměrné motory (EC)

Proč elektronicky komutované motory ?

Odstranit kluzný kontakt komutátor – kartáč, který:

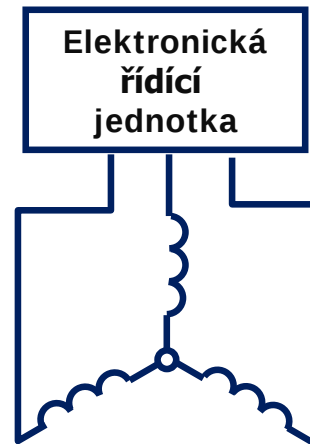
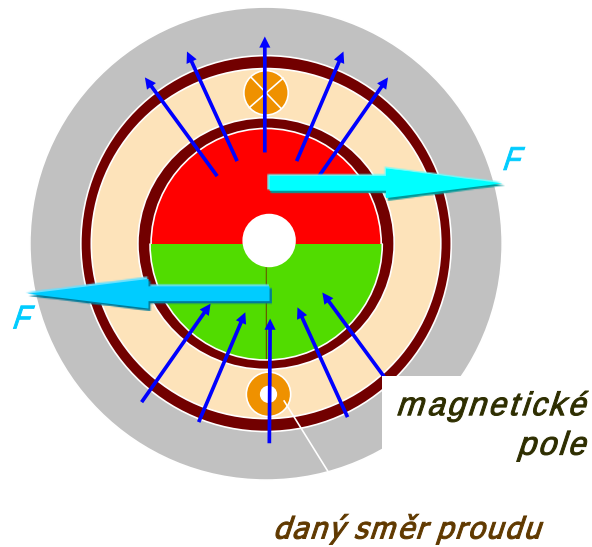
- * omezuje maximální rychlost
- * je zdrojem elektromagnetického rušení
- * snižuje životnost motoru

Současně zachovává výhody stejnosměrného motoru:

- * velké krátkodobé přetížení
- * velký záběrový moment
- * malá časová konstanta, velká dynamika pohonu
- * malé rozměry

Princip motoru EC

směr proudu v cívkce je řízený komutací

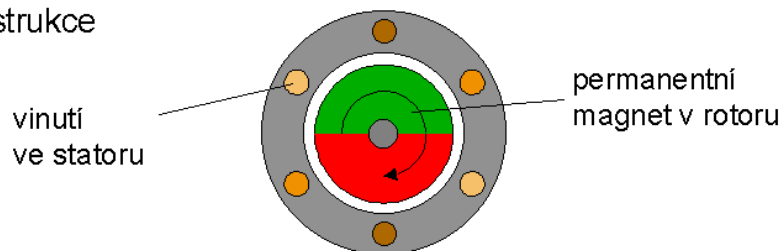


Zapojení vinutí může být do hvězdy nebo do trojúhelníku

K1

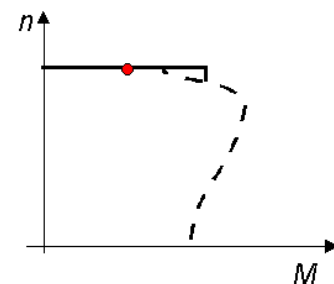
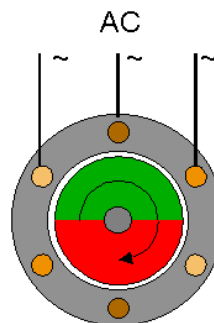
Porovnání různých typů motorů

- Podobná konstrukce



způsob řízení vytváří specifické vlastnosti pohonu

- synchronní motor
 - třífázové napájení
 - rychlost určena frekvencí externího napájení
 - obvykle 50 Hz (3000 ot/min)
 - nebo frekvencí měniče



Porovnání různých typů motorů

- **krokový motor**
 - **externí přepínací frekvence** určuje rychlost
 - přepnutí proudu pro "další krok", bez ohledu na současné natočení rotoru
 - pootočení o jeden krok: od jedné rovnovážné polohy do další rovnovážné polohy
- **stejnosměrný motor EC**
 - **vnitřní zpětná vazba**: natočení rotoru určuje sekci vinutí, která je napájena (podobně jako **mechanická komutace** v motoru DC)

Konstrukce motorů EC

1. Stator - kotva

- * na základě požadavku odstranění kluzného kontaktu musí být napájení do pevné části motoru – statoru
- * protože je motor napájen stejnosměrným proudem, nevytvoří se točivé magnetické pole $\Rightarrow$ vinutí statoru musí být napájeno z elektronické jednotky, která postupným spínáním jednotlivých vinutí vytvoří postupné pole
- * vinutí statoru je rozděleno na 3 sekce (cívky), které jsou napájeny z elektronické jednotky
- * magnetické pole statoru je proměnné $\Rightarrow$ magnetický obvod statoru musí být ze vzájemně izolovaných plechů (snížení ΔP_{FE})
- * plášť motoru je hliníkový nebo ocelový

Konstrukce motorů EC

2. Rotor

Požadavek kvalitních trvalých magnetů (malý průměr rotoru) vede k používání vzácných zemin (NeFeB).

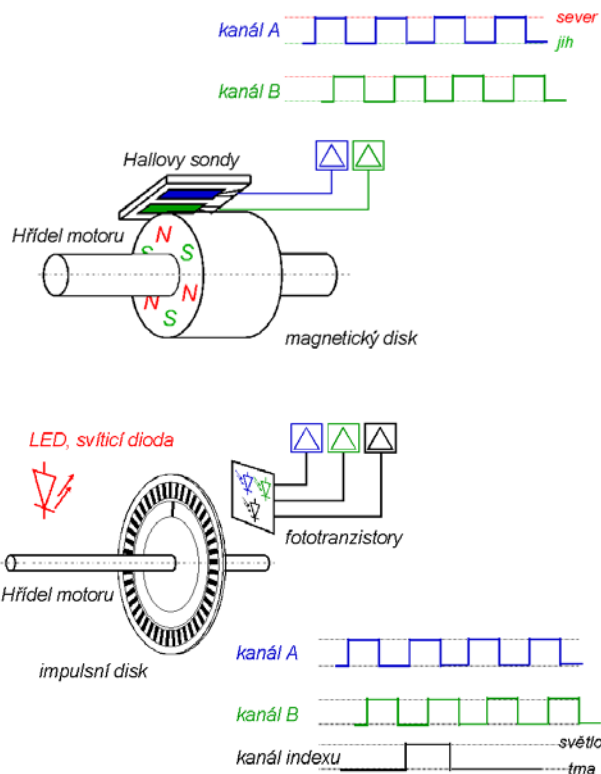
3. Snímání okamžité pozice rotoru

Pro řízení motoru musí mít elektronická jednotka informaci o okamžité pozici rotoru:

* Hallova sonda (jednodušší aplikace)

* inkrementální snímač (náročné aplikace na dynamiku pohonu)

4. Řídící elektronická jednotka



Systémy elektronické komutace

• Komutace s Hallovými sondami

- řízený rozběh
- umožňuje vysoký rozběhový moment
- vysoké zrychlení
- možná sinusová komutace pro plynulý běh při malé rychlosti

- Dynamický pohon
- provoz start-stop

• integrovaná řídicí elektronika do motoru s Hallovými sondami

- omezený napájecí proud
- omezený rozsah napájecího napětí
- snížená dynamika motoru

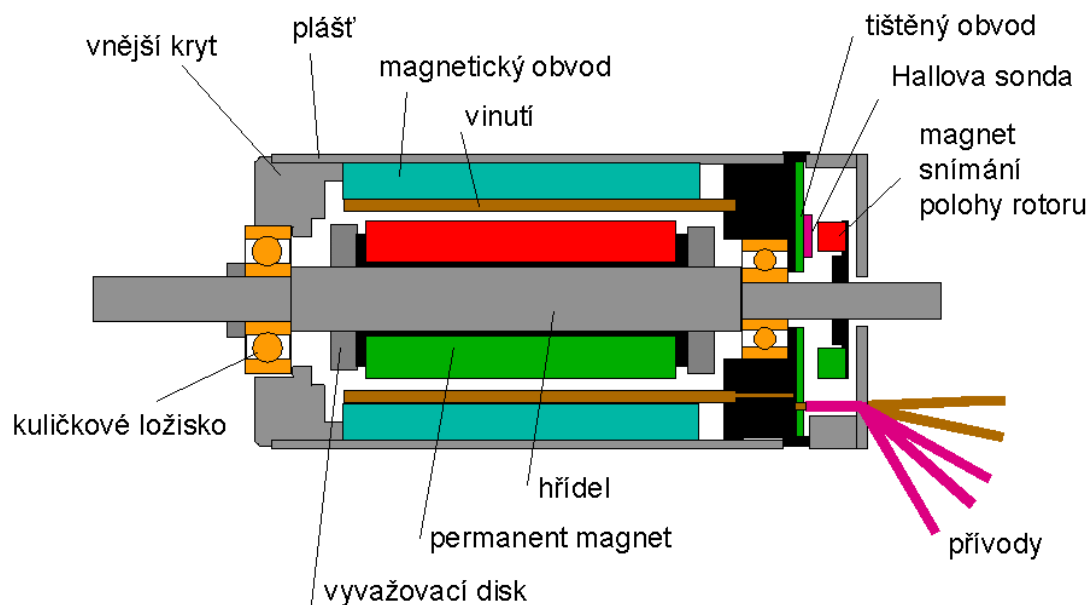
- Nižší dynamika pohonu
- pro plynulý provoz s nízkou nebo vysokou rychlostí

• komutace bez snímače

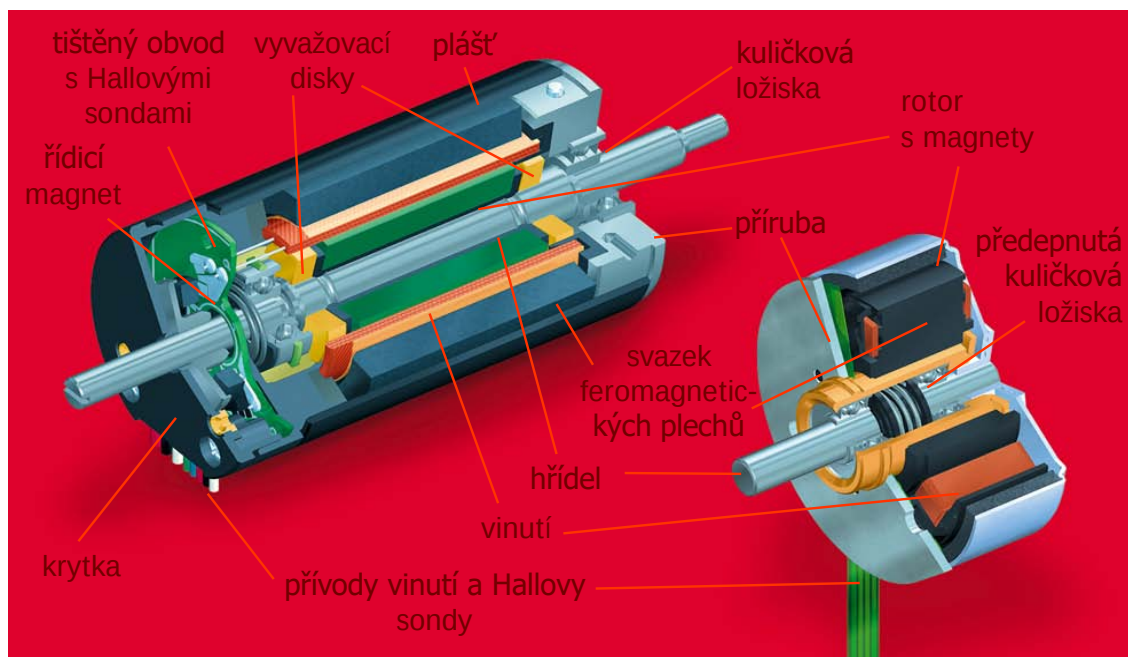
- nedefinovaný rozběh
- problémy při malé rychlosti
- motor je bez dynamiky

- Plynulý provoz vysokou rychlostí, ventilátory, jednoduchá čerpadla

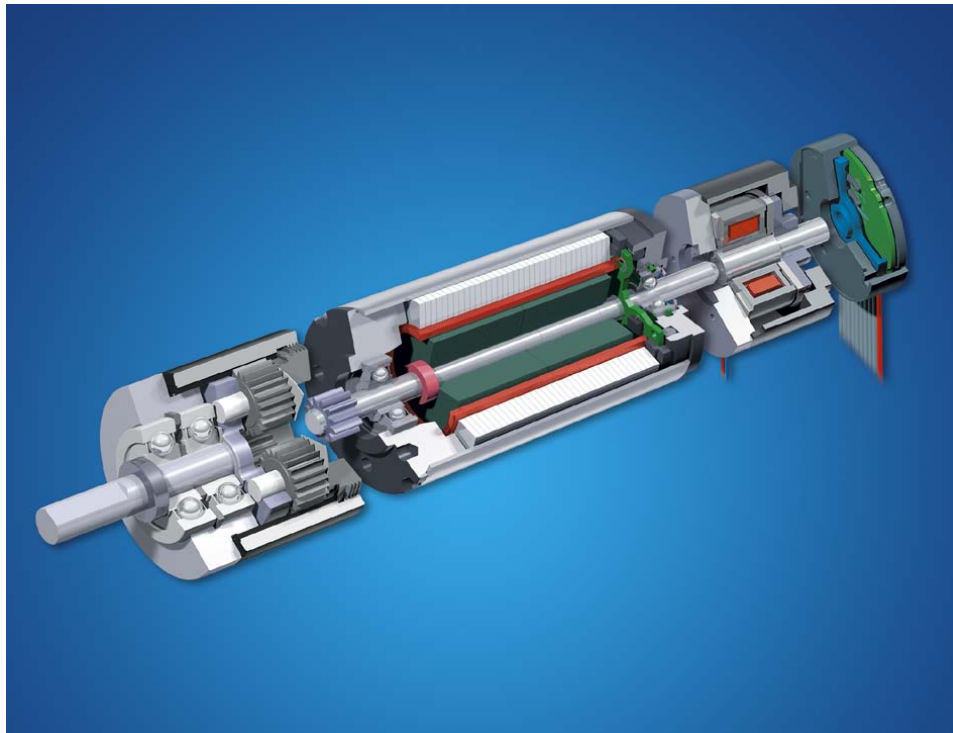
Konstrukce EC



Konstrukce EC

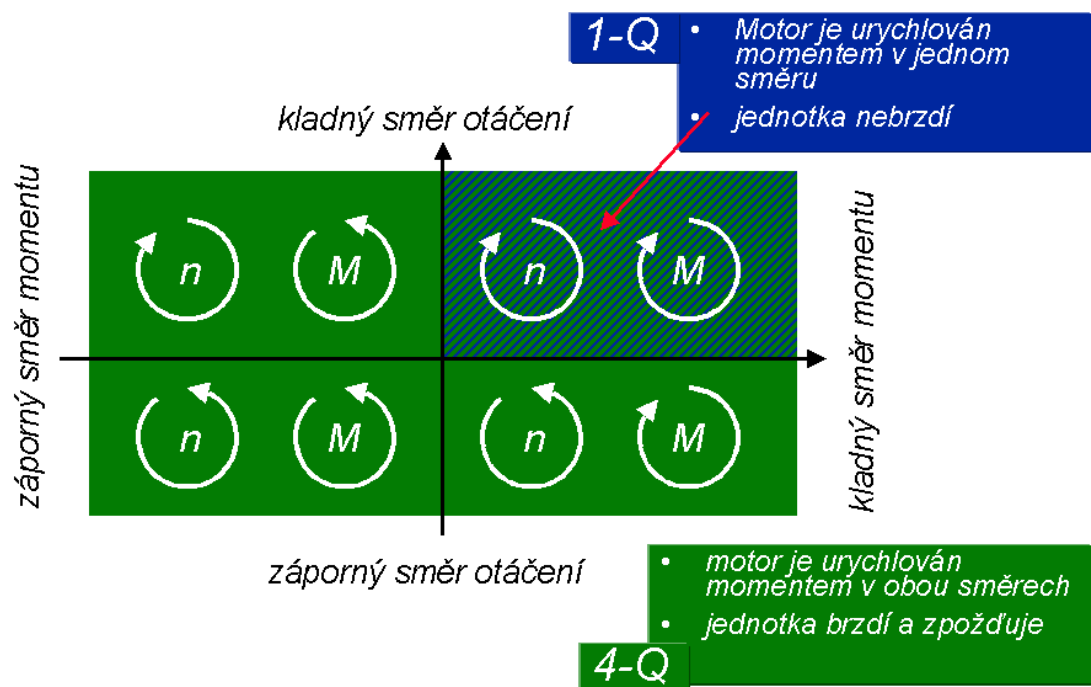


Konstrukce EC včetně převodovky

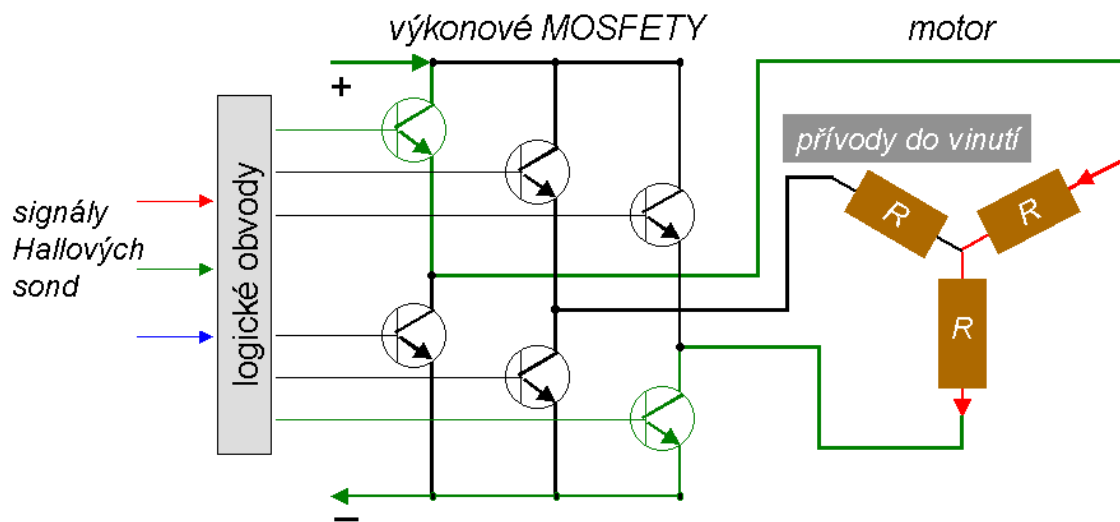


K1

1-Q a 4-Q řízení



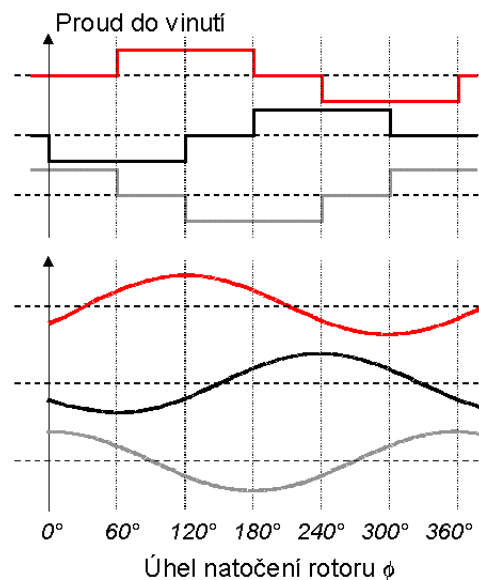
Jednoduché řízení motorů EC



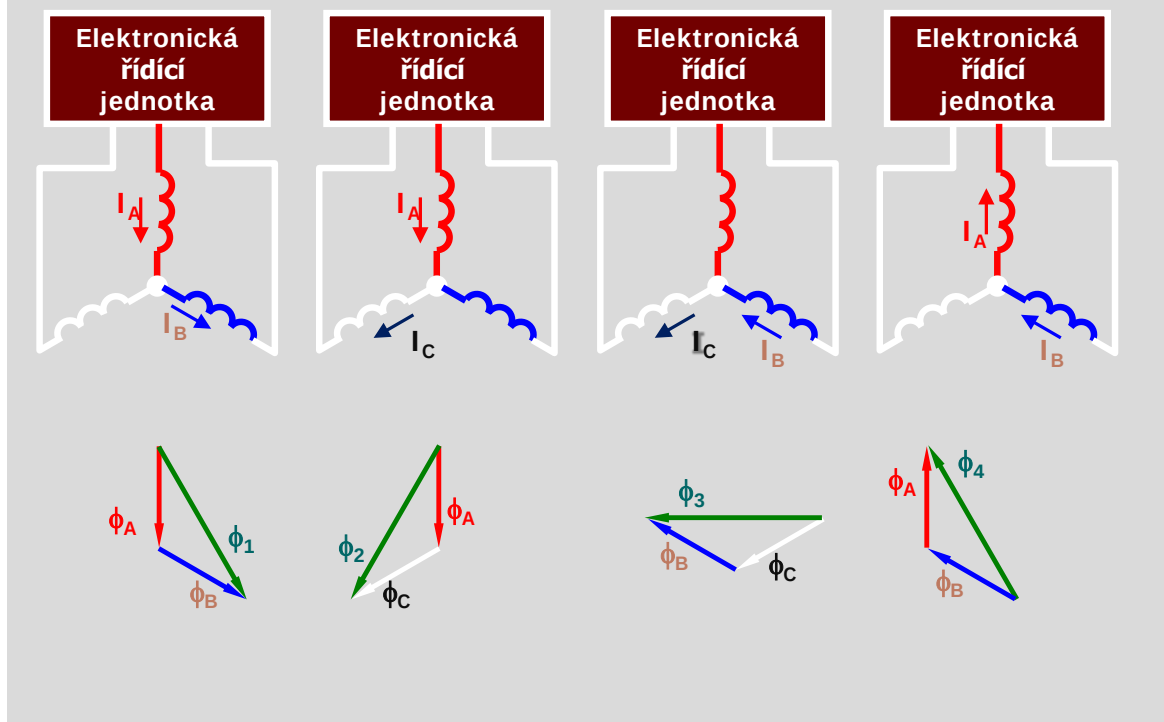
K1

Jednoduché řízení motorů EC

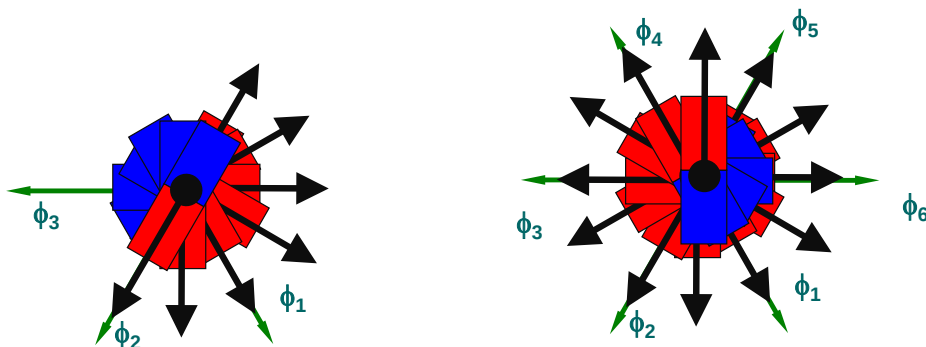
- Obdélníková komutace
 - změny proudu: skokem
 - kolísání momentu: 14 %
 - poloha rotoru snímána Hallovými sondami
- Sinusová komutace
 - změny proudu: plynulé
 - obdoba třífázového napájení proměnnou frekvencí
 - kolísání momentu: teoreticky 0 %
 - poloha rotoru musí být známa přesně: resolver nebo inkrementální snímač



Jednoduché řízení motorů EC

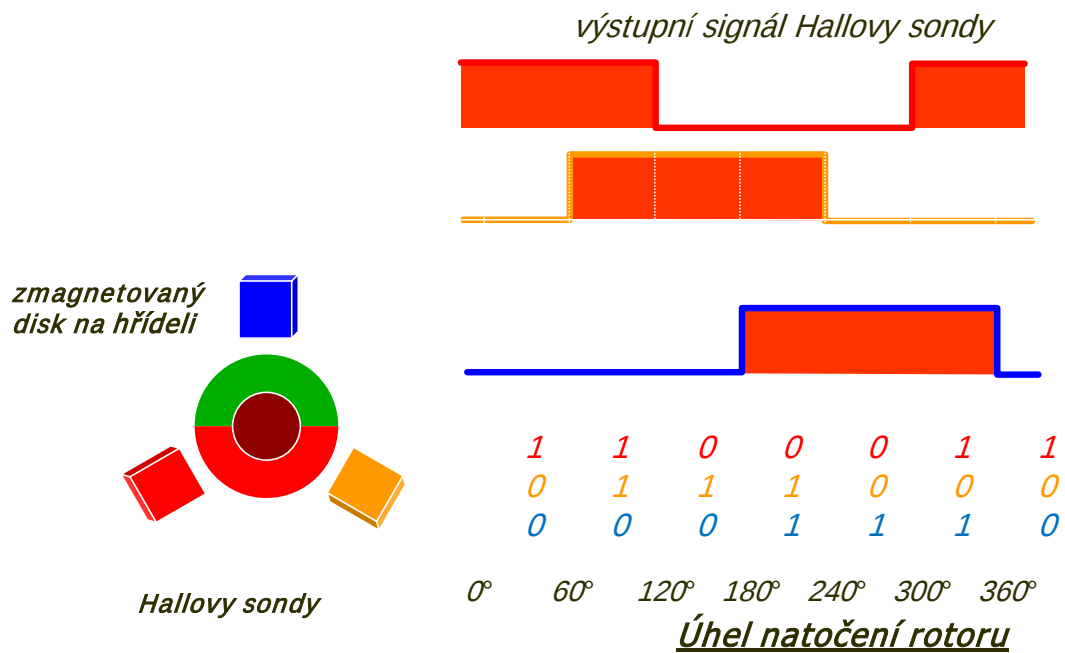


Jednoduché řízení motorů EC

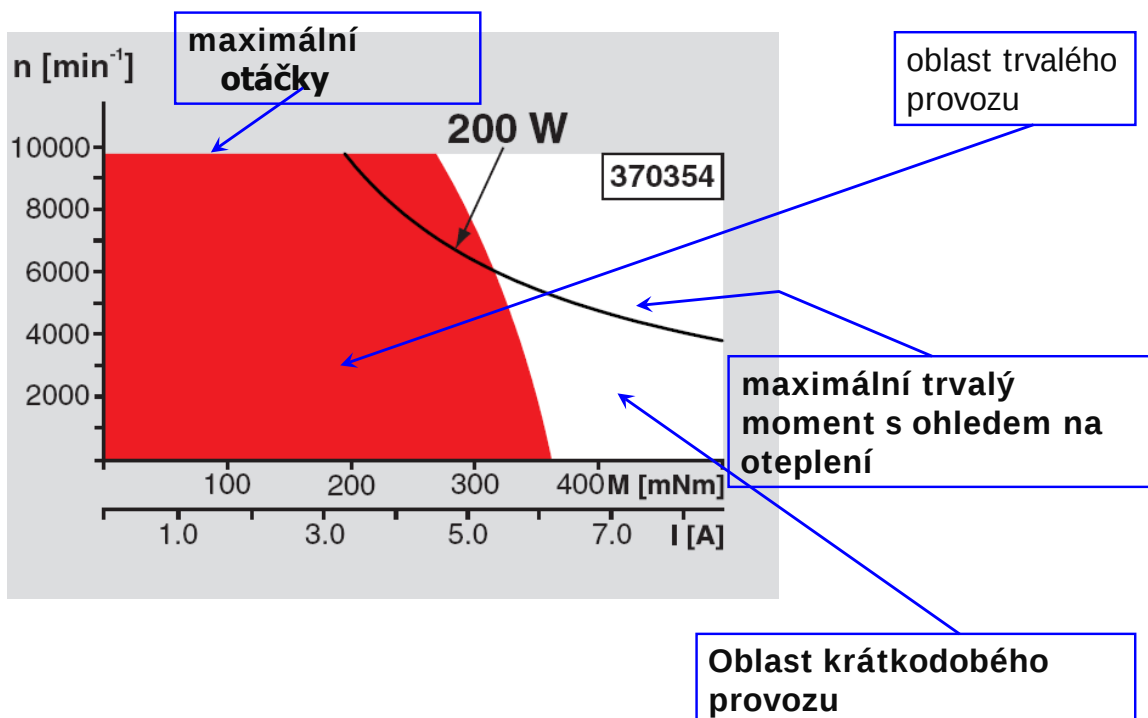


- * **maximální moment je při vektorovém posunu magnetické toku statoru a rotoru 90°**
- * **při nejjednodušším přepínání (zpětná vazba prostřednictvím Hallovy sondy) se vektor statorového vinutí posouvá o 60°**
- * **úhel mezi oběma vektory se mění od 120° do 60°**
- * **elektronická jednotka musí mít informaci o pozici rotoru a podle aktuálního stavu spíná jednotlivé cívky**

Využití Hallovy sondy



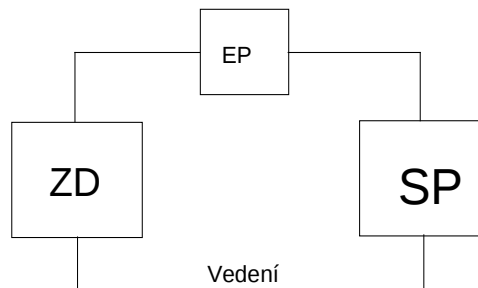
Charakteristiky motorů (příklad P = 200W)



Elektrické přístroje

Každý obvod obsahuje nutně 4 členy
El. přístroj vykonává některé z těchto úkonů

- spojuje, rozpojuje el. obvod (bez I)
- zapíná a vypíná proud v obvodu
- jistí el. zařízení
- chrání živé bytosti před úrazem elektrickým proudem
- řídí el. obvod tak aby dosáhl požadovaného stavu



Rozdělení přístrojů:

- Spínací přístroje nízkého napětí (dále jen nn) – užívají se v sítích nízkého napětí do 1000 V
 - nesamočinné
 - samočinné - stykače, relé

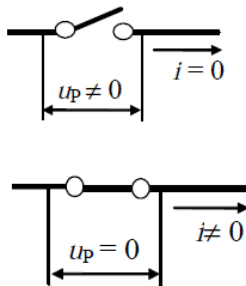
Rozdělení přístrojů:

- Jisticí přístroje nízkého, popř. vysokého napětí
 - jističe – samočinně vypínají při nadproudech
 - proudové chrániče – samočinně vypínají při vzniku poruchového proudu tekoucího mimo obvod
 - pojistky – samočinně vypínají při nadproudech
 - svodiče přepětí – omezují přepětí a svádějí jeho náboj do země.
- Spínací přístroje VN, VVN a ZVN
 - s proudem - výkonové vypínače, odpínače
 - bez proudu - odpojovače
- Elektromagnety – vyvolávají mechanickou sílu (přidržené) nebo pohyb (pohybové)
- Řídicí, regulační a spouštěcí přístroje – např. polovodičové spínací prvky, reostaty, spouštěče atd.
- Měřicí přístroje – např. přístrojové transformátory napětí a proudu

Funkční stavy kontaktů spínacích přístrojů

- Každý Elektrický přístroj má čtyři základní stavy:
- VYPNUTO - (nulový proud a plné napětí na kontaktech, které určuje rozměr přístroje)
- ZAPNUTO (nulové napětí a průchod proudu kontaktem způsobuje oteplení přístroje vlivem Jouleových ztrát)
- ZAPÍNÁNÍ - přechod mezi stavy VYP a ZAP
- VYPÍNÁNÍ - přechod mezi stavy ZAP a VYP,

Vypínací schopnost přístroje je velikost proudu, který dokáže spínač vypnout (bez poškození spínače).



Štítek el. přístroje

- Nejdůležitější část el. přístroje
 - Druh proudu ($=$, $\sim$ nebo $\cong$)
 - Kmitočet střídavého proudu
 - Jmenovité napětí
 - Vypínací výkon
 - Číslo normy
 - Krátkodobý nadproud
 - Ovládací napětí
 - Krytí (IPXX)

El. obvod z hlediska zapínání a vypínání

■ Zapínání obvodu napájeného ss proudem

Při zapínání a vypínání el. proudu v obvodu dochází ke vzniku přechodných dějů.

i' – ustálená složka

i'' – přechodná složka

$i = i' + i''$

$\tau = L/R$ – časová konstanta

– dává přehled o trvání přechodového děje ($t = 3\tau$, i'' klesne 5%)

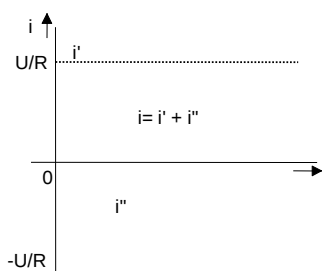
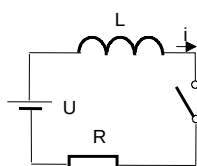
i'' klesne 5%)

Vypínač idealizujeme

Sepnut – $R = 0$

Vypnut – $R = \text{nekonečno}$

$T_{\text{zap}}, T_{\text{vyp}} = 0$



$$i = \frac{U}{R} \cdot (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$$

P1

El. obvod z hlediska zapínání a vypínání

■ Vypínání obvodu napájeného ss proudem

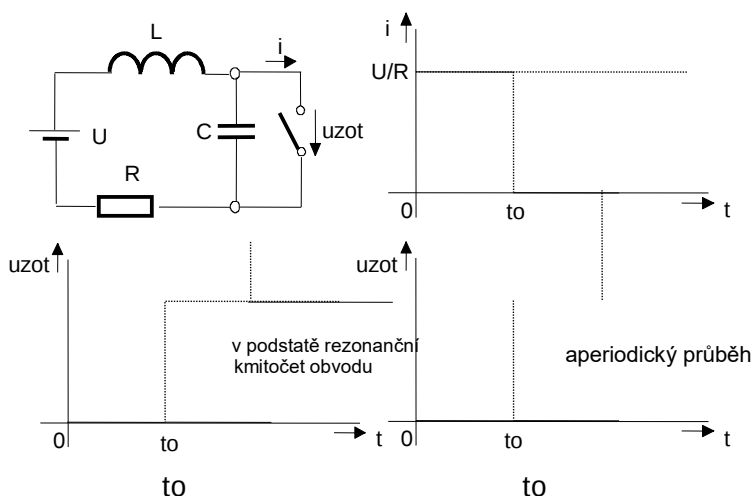
– Napětí na kontaktech je i větší než napětí zdroje – přepětí – to nechceme- zařadíme oblouk – proud klesá pozvolna

$$u_i = L \cdot \frac{di}{dt}$$

U běžných vypínačů dosahuje až $10 \times U_n$

Přelévání energie mezi C a L

$$W_L = W_C$$

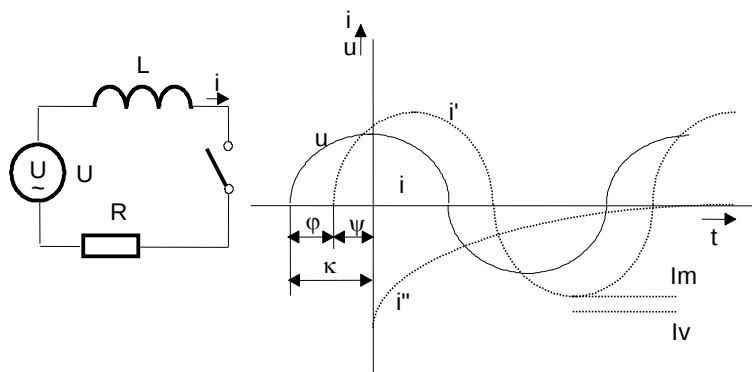


El. obvod z hlediska zapínání a vypínání

- Zapínání obvodu napájeného ~ proudem
 - Po připojení vznikne přechodný děj, při kterém se mění proud z 0 na ustálenou hodnotu. Na průběh přechodového jevu má vliv počáteční okamžitá hodnota napětí zdroje v době $t=0$, kdy vypínač zapne

Dva mezní případy

- tzv. sepnutí v nule proudu, přechodový děj nevznikne $i = i'$ nastane při $\kappa = \varphi \pm k \cdot \pi$ kde k je 0, 1, 2, ...
 - tzv. sepnutí v maximu proudu. i_v pak může dosáhnout až $2I_m$ ($\tau \gg T$) $\kappa = \varphi \pm k \cdot \pi/2$ kde k je 1, 2, 5.
- i' – ustálená složka
 i'' – přechodná složka
 $i = i' + i''$



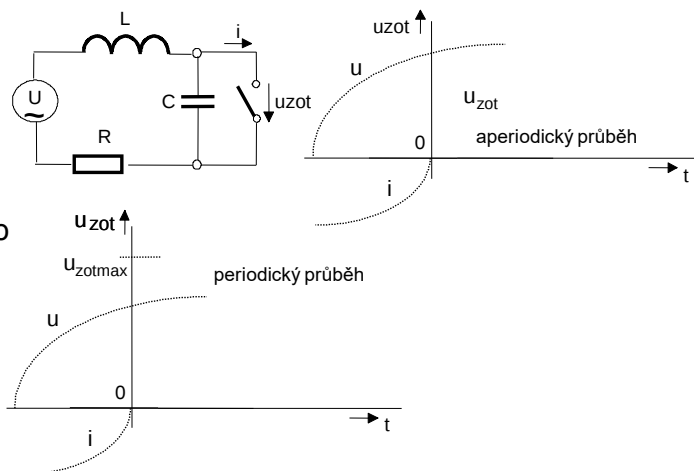
P1

El. obvod z hlediska zapínání a vypínání

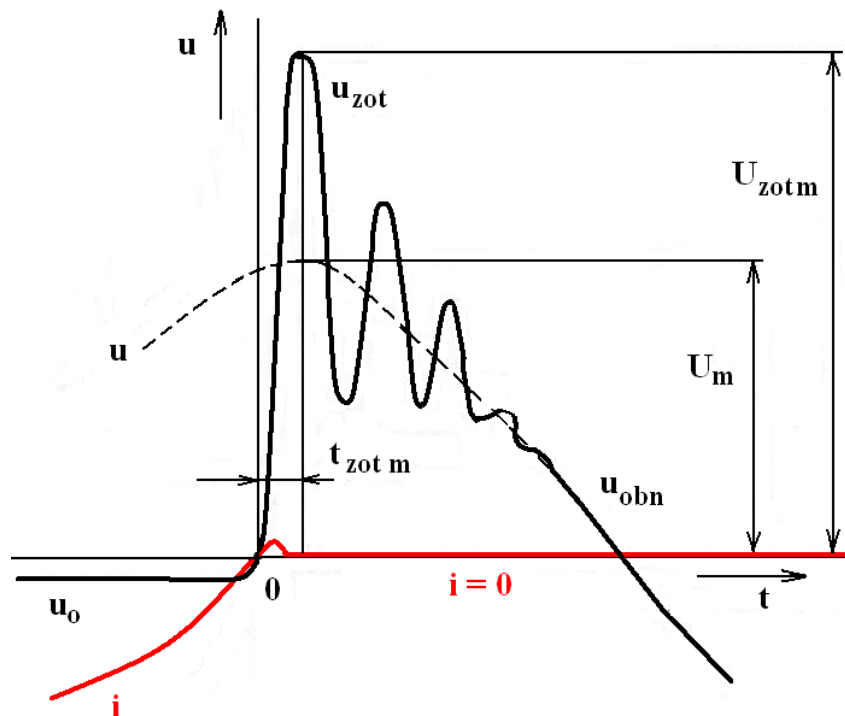
- Vypínání obvodu napájeného ~ proudem
 - Střídavý proud se snažíme vypnout v nule proudu ($W_L=0$)
 - Obvod bez L – při nule I je i nula U – U_{zot} nabíhá plynule
 - Obvod s L – při nule I nenulové U – vznikne přechodová složka
 - Nejnepríznivější případ čistá indukčnost

U_{zot} – napětí, které se po vypnutí objeví mezi kontakty. Má dvě složky

- obnovené napětí – napětí zdroje U_{ob} .
 - přechodná složka zotaveného napětí má harmonický průběh a po určitém čase se ztlumí
- Má-li dojít k vypnutí musí po zániku oblouku být poobloukové napětí vyšší než zotavené

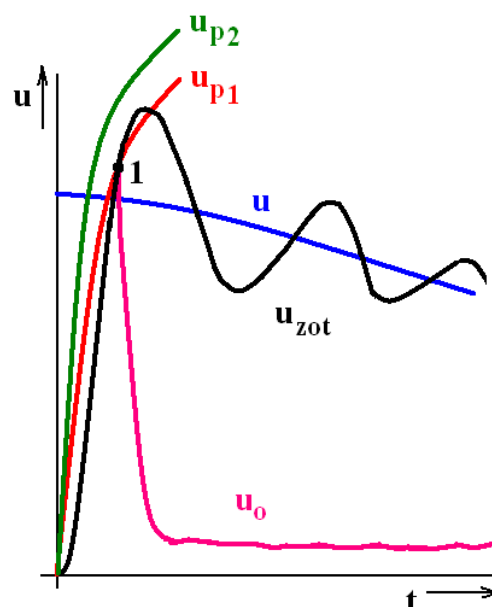


Vypínání se synchronizací do nuly



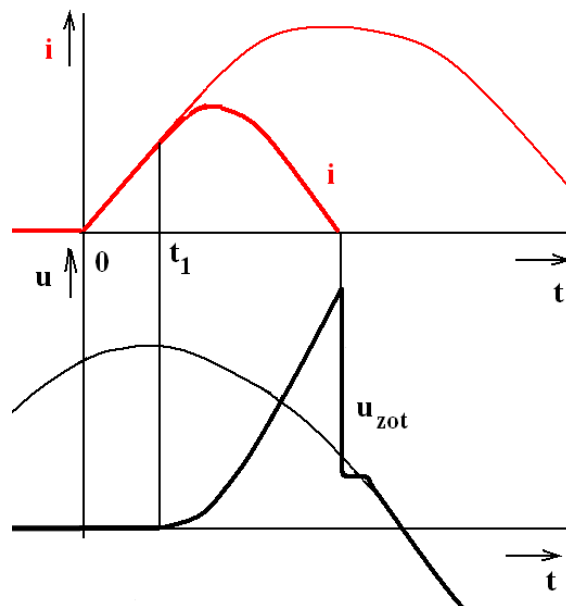
Úspěšné a neúspěšné vypnutí

- po průchodu nulou probíhají současně dva procesy:
 1. nárůst el. pevnosti (průrazného napětí) prostoru mezi kontakty u_p
 2. nárůst zotaveného napětí u_{zot}
 - pro úspěšné vypnutí musí el. pevnost narůstat rychleji než zotavené napětí
 - křivka u_{p2} - oblouk znovu nezapálí, vypnutí je úspěšné
 - zotavené napětí u_{zot} kmitá kolem křivky napětí sítě u
 - křivka u_{p1} – opětovné zapálení oblouku v bodě 1
- napětí na kontaktech klesne na hodnotu obloukového napětí u_0



Vypínání s odtržením

- použití: vypínání s omezením proudu u jisticích prvků
- je třeba omezit amplitudu zkratového proudu
- zvýší se proto napětí na oblouku, oblouk nedohoří až do nuly a zaniká již dříve. Vzniká přitom spínací přepětí
- na obrázku: zkrat z chodu naprázdno (z nulového proudu)
- v čase $t = 0$ vznikne zkrat
- v čase t_1 začíná hořet oblouk
- proud dosahuje maxima a odtrhuje se. Zotavené napětí končí přepětovou špičkou pak se vrací, zpravidla silně tlumené, do obnoveného napětí



Parametry charakterizující Uzot

- Kmitočet přechodové složky
- Strmost nárůstu zotaveného napětí
- Překmit (poměr max. hodnoty U_{zot} k hodnotě obnoveného napětí v tvyp.

U reálného vypínače je zotavené napětí po proudu druhým rozhodujícím parametrem pro stanovení vypínací schopnosti

U reálného vypínače vzniká při vypínání oblouk

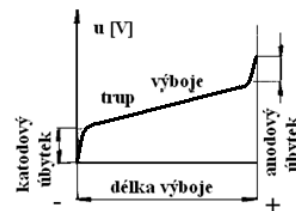
Elektrický oblouk

- Elektrický výboj v plynném dielektriku, které se vlivem tepelných pochodů v něm probíhající stává vodičem el. proudu.
- Vzniká ionizací – elektron urychlen el. polem tak, že získá kinetickou energii pro ionizaci dalších neutrálních atomů
- Vzniká koróna která může přejít v el. jiskru (zanikne sama) nebo oblouk (nutný mech. nebo el.mech. zásah)

K1

Charakteristika oblouku

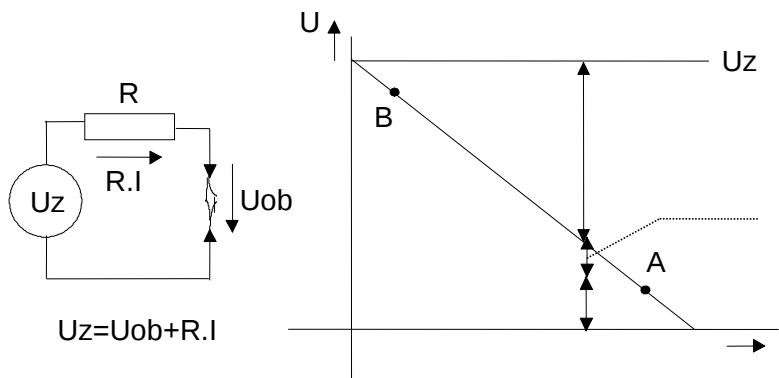
- Vysoká teplota (až 8000K)
- Malé napětí mezi elektrodami (vzhledem k napětí zdroje)
- Velký proud procházející obloukem
- Intenzivní vyzařování světla



Vznik oblouku ve spínacích přístrojích

- Zapínání
Vznikne bez znatelného vlivu na spínací pochod (chvění)
Vzniká při napětí elektrod větším jak 300V
- Vypínání
Vzniká při nižších napětích (zmenšuje se kontaktní síla, zmenšuje se velikost a počet bodových plošek, vzrůstá odpor a kontakty(elektrody na počátku výboje jsou teplé)

Charakteristika oblouku



■ V bodě A je oblouk ve stabilním stavu

$I_A + \Delta I \rightarrow U_{ob} + R \cdot I > U_z$ I klesne, zdroj nemůže zvýšit U

$I_A - \Delta I \rightarrow U_{ob} + R \cdot I < U_z$ I vzroste

$I_B + \Delta I \rightarrow U_{ob} + R \cdot I < U_z$ I vzroste – přechod do bodu A

$I_B - \Delta I \rightarrow U_{ob} + R \cdot I > U_z$ I klesne – oblouk zanikne

Zhášení stejnosměrného oblouku

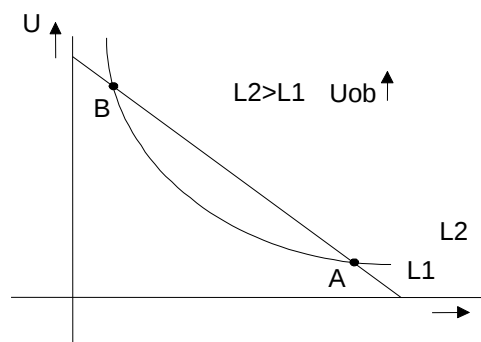
■ Zvýšení obloukového napětí

Zvětšení délky oblouku

Zvětšením chlazení oblouku (odporu oblouku)

Řazením krátkých oblouků (více katodových a anodových úbytků)

■ Aby se mohli vypínací dráhy zkrátit a množství vzniklé tepelné energie bylo co nejmenší je třeba hoření oblouku zkrátit umělým zhášením. Vypínací čas není možné zkracovat libovolně neboť roste přepětí



Zhášení střídavého oblouku

- Metody použité pro zhášení stejnosměrného oblouku jsou použitelné i pro střídavý oblouk
- Využíváme skutečnosti, že po průchodu proudů nulou oblouk uhasíná !

Snažíme se obnovit el. pevnost v prostoru mezi kontakty tak, aby po nárůstu zotaveného napětí nedošlo ke znovu zapálení oblouku

- Zhášedla střídavého oblouku pracují převážně s krátkým obloukem a nehodí se pro zhášení stejnosměrného proudů (v podstatě neřešíme uhasnutí, ale zabránění opětovného zapálení)

Spínače VN, VVN

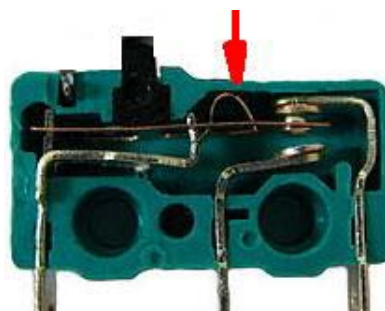
- odpojovače
- Odpínače
- Výkonové vypínače
 - elektromagnetické
 - tlakovzdušné
 - kapalinové
 - plynové
 - vakuové

MŽIKOVÉ VYPÍNÁNÍ

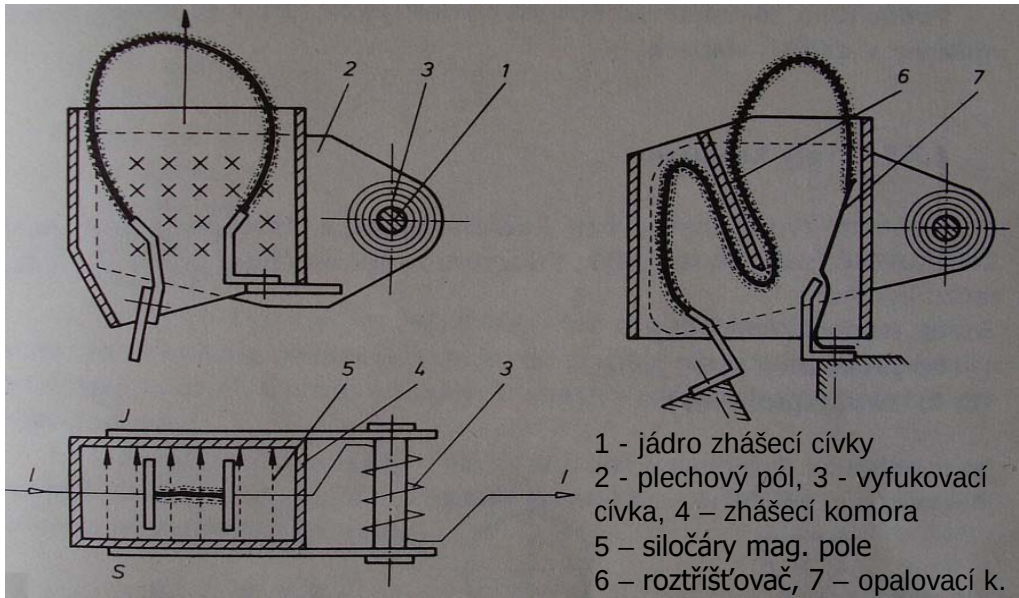
- **MŽIKOVÉ VYPÍNÁNÍ**
- zvětšení vypínací rychlosti za účelem rychlého oddálení kontaktů
- energie potřebná k vypnutí se akumuluje v pružině (pružinách)
- uvolní se velmi rychle nezávisle na rychlosti ovládacího mechanismu

Užití

- *nesamočinné spínače nízkého napětí (nn)*
- *spolu s dalšími opatřeními ke zhášení oblouku prakticky u všech spínačů*

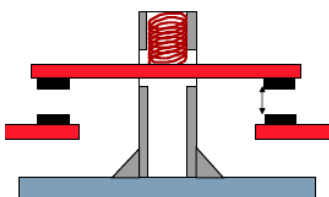
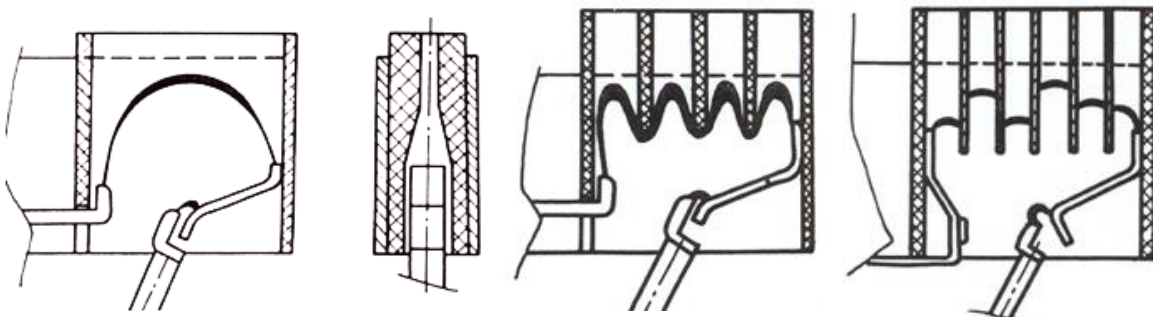


Elektromagnetické zhášení



Rozdělení oblouku na několik dílčích

- izolační štěrbinová komora – oblouk se natahuje do zužující se komory, chladí se o stěny i vzduchem, vzhledem k němuž se pohybuje
- izolační komora s roštem – oblouk se prodlužuje díky izolačním přepážkám
- komora s kovovým roštem čili deionová komora – oblouk se tříští a dělí na dílčí oblouky



PŘERUŠENÍ OBVODU NA VÍCE MÍSTECH

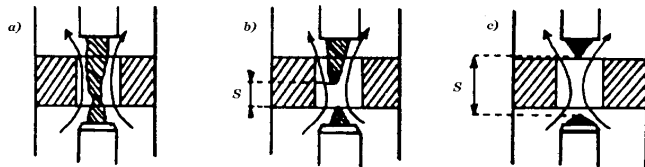
spínač má více kontakty v sérii (obvykle dva)
 obvod se současně rozezne na více místech
 napětí zdroje se obvodu se rozdělí, zkrátí se potřebná
 vypínací dráha

P1

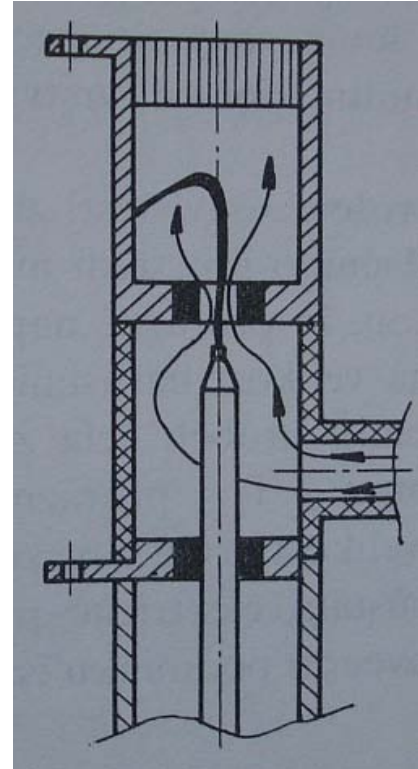


Dále uvedené možnosti
zhášení jsou vhodné jen
pro ~ proud

- **Tlakovzdušné vypínače** –
vypínač s krátkým obloukem s cizí
zhášecí energií. Chladící médium je
vzduch, (tlak až 6,4Mpa) který oblouk
účinně ochlazuje, zhasnutí oblouku trvá
0,015 až 0,05s, celý vypínací proces
0,075 až 0,2s
- Nedílnou součástí vypínače je zásobník
tlakového vzduchu, kompresor a
rozvody, vzduch zajišťuje i pohon
vypínače



Obr. 7.32

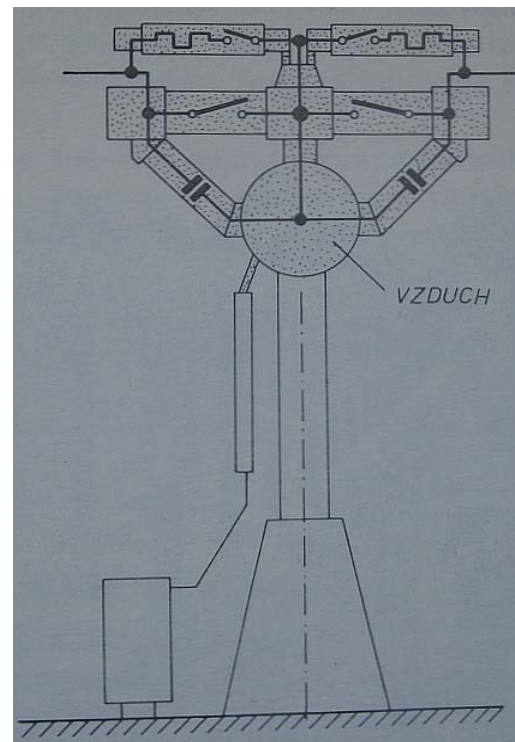


P1



Uspořádání zhášedla na vypínači

- Dvě zhášecí komory, se
svým zásobníkem vzduchu
- Ke každé připojené
keramické zhášecí odpory
(omezují přepětí a zvyšují
vypínací výkon, tlumí vlastní
kmity zotaveného napětí)
- V šikmém izolátoru umístěné
rozdělovací kondenzátory
(určené pro rovnoměrné
rozdělení napětí na jednotlivé
zhášecí komory jak při
vypínání tak ve vypnutém
stavu)



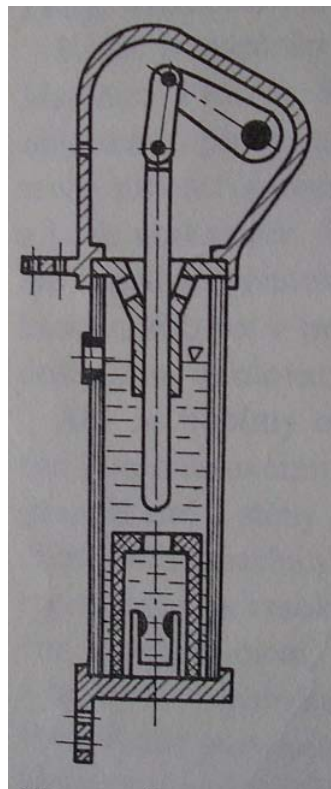
Kapalinové vypínače

zhášecím médiem je olej
nebo voda

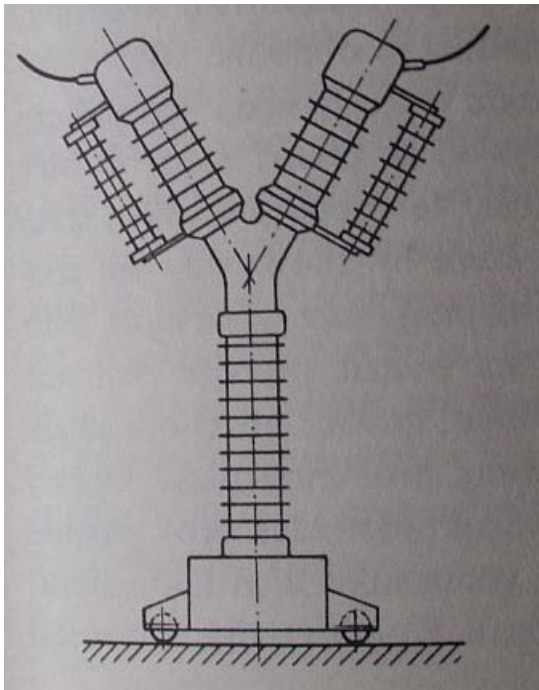
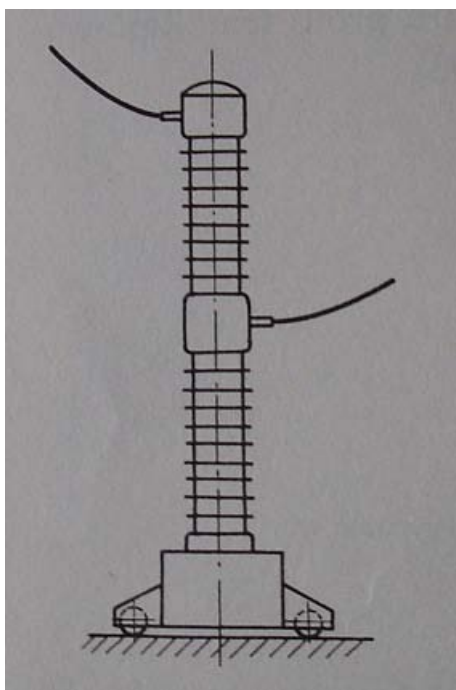
■ Řez máloolejovým vypínačem VN

Olej slouží jen jako zhášecí médium a izolace ve vypínací dráze (ne jako izolace živých částí proti zemi jako u kotlových vypínačů)

Teplem oblouku se olej odpařuje a vytváří plynnou bublinu. Ta narůstá do určité velikosti a pak se utrhne. Prostor mezi kontakty se zalije olejem a tím se zvýší el. pevnost

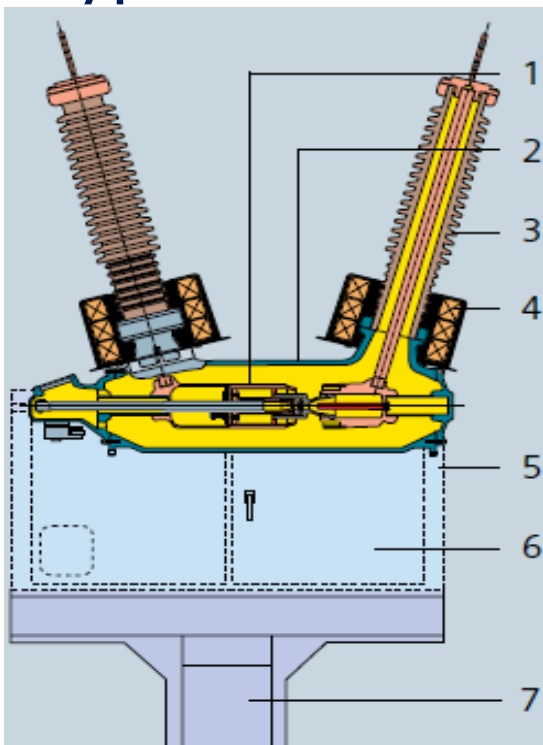


Sloupové provedení máloolejových vypínačů



Plynové vypínače

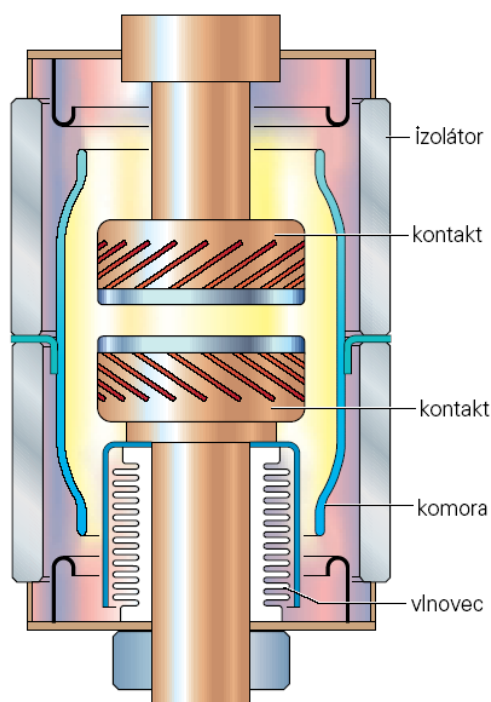
- 3 až 4x rychlejší nárůst průrazného napětí než při stejném tlaku vzduchu a rychlosti kontaktů
- Jedná se o obdobu tlakovzdušných vypínačů – rozdíl je v tom, že soustava proudění plynu je utěsněná od okolí. Používá se SF_6 , lépe chladí (až 2,5x lepší součinitel přestupu tepla) el. pevnost je 2x lepší
- Menší rozměry



P1

Vakuové vypínače – výrazně stoupá průrazné napětí

- Elektrody umístěny ve vakuové nádobě
- Oblouk vyplňuje v podstatě celý prostor – koncentrace nabitých částic je malá (oblouk hoří v parách kontaktního kovu) a uhasíná v první nule proudu)
- Pohyb kontaktu se ovládá běžným mechanismem nebo elektromagnetem (vzdálenost kontaktů jen několik mm)



Kontakty

- Stykový odpor – obvod je uzavřen při styku kontaktů. Vlivem nerovností je jen několik bodů dotyku

$$R_s = R_{m1} + R_{m2} + R_u$$

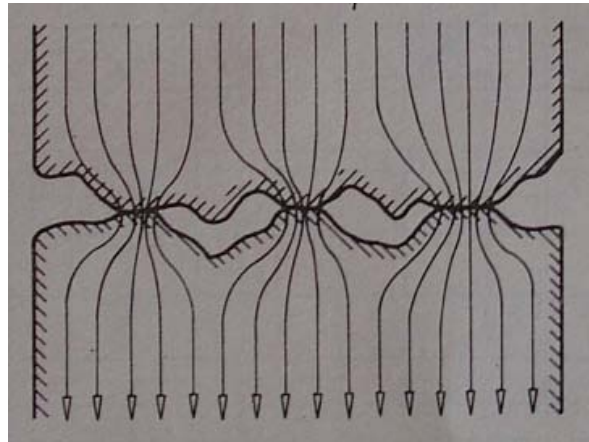
R_u – úžinový odpor, R_m odpor materiálu

Obvykle $R_k = R_u$

Pro znečištěný kontakt

$$R_s = R_u + R_p$$

R_p – přechodový odpor respektující cizí vrstvy (na povrchy vznikají vrstvy, jejichž elektrické vlastnosti jsou vždy horší než vlastnosti materiálu (oxidy, sirníky, ale i mastnota)



- Kontaktní odpor lineárně klesá s přítlakovou silou, s časem narůstá (nárůst cizích vrstev). Ke zmenšení dochází vždy při zapnutí (problém u málo spínaných kontaktů)

K1

Druhy styků

- Bodový – dvě koule, koule plocha, nepoužívá se - nestálý
- Přímkový – dva válce, válec plocha, jeden kontakt musí mít výkyv aby dosedly, stálejší, odolný proti otláčení
- Plošný – dvě roviny, těžko dosažitelný i když jsou oba kontakty výkyvné, větší přechodový odpor (nízký tlak)

- Požadavky na kontakty

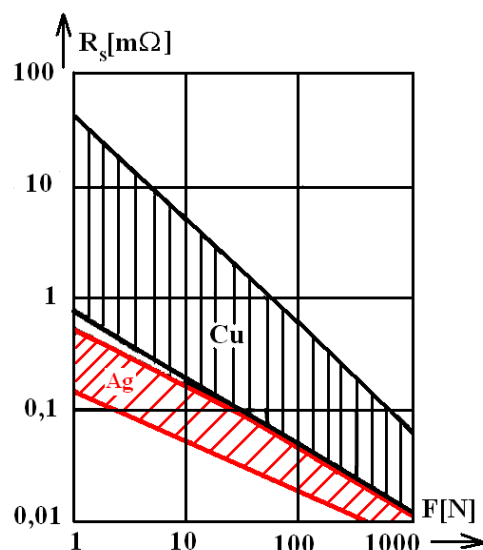
Malý stykový odpor

Odolnost proti mech opotřebení (otěr)

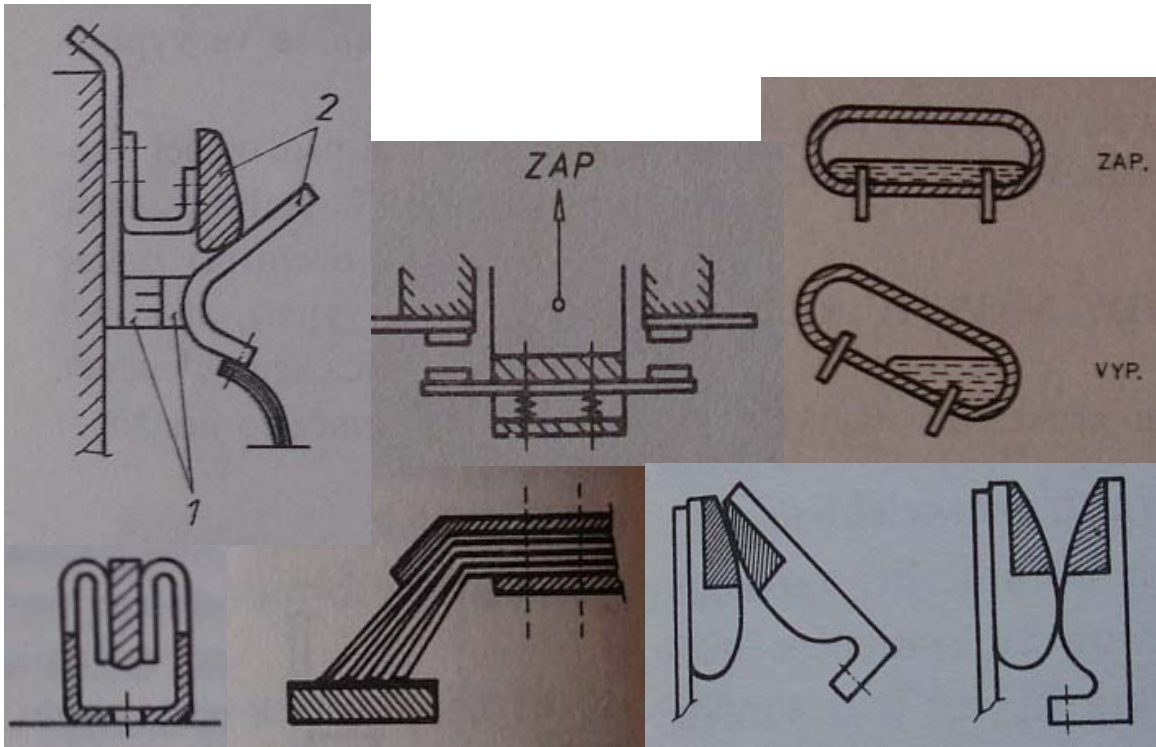
Odolnost proti svaření

Odolnost proti opalování el. obloukem (odpařování materiálu kontaktů)

Vypínací schopnost kontaktů (vliv na deionizační pochody – zejména velikost poobloukového průrazného napětí)



Tvary kontaktů



Materiály pro kontakty

■ Čisté kovy

Cu – nejběžnější, odolná proti korozi (vzniklý kysličník se mechanicky dobře odstraňuje – pozor na čelní styk), při velkých I se snadno odpařuje a vzniklé páry ionizují prostředí – oblouk po uhasnutí snadno zapaluje

Ag – odolná korozi sklon ke svařování, C, Ni, Mo, W

Au – jen pro malé proudy (relé – kontakt s malým přitlakem)

■ Slitiny

Slitiny Cu – mosaz (Cu a Zn - pružná), fosforový bronz (Cu a Sn – tvrdý a odolný)

Slitiny Ag – (Ag a Cu – levnější ale oxiduje), (Ag a Cd – lépe odolává oblouku)

■ Spékané kovy - vyrobený práškovou technologií – mechanicky vytvořená směs neslévatelných kovů. Vždy jedna složka dobře vodivá, druhá zvyšuje odolnost proti opalu

Ag-Ni, Ag-C, Ag-CdO

Ag-W, Cu-W – velká odolnost proti účinkům oblouku, používají se jako opalovací hroty hlavních kontaktů



Spínací přístroje bez zhášedel

- Spínací přístroje (VN, VVN)
 - odpojovače
 - odpínače
 - Spínací přístroje NN – nesamočinné
 - Pákové vypínače
 - Nožové
 - Kloubové
 - Suvné vypínače
 - Tlačítkový
 - Stiskací (tahem zapni, stiskem vypni)
 - Otočné vypínače
 - Válcový
 - Vačkový
- Koncové spínače – mech. ovládané vypínače, které zabezpečují dojetí do koncové polohy
- Mikrospínače- miniaturní spínače, velmi malá ovládací dráha, momentové spínání, velká trvanlivost tlačítka

P1



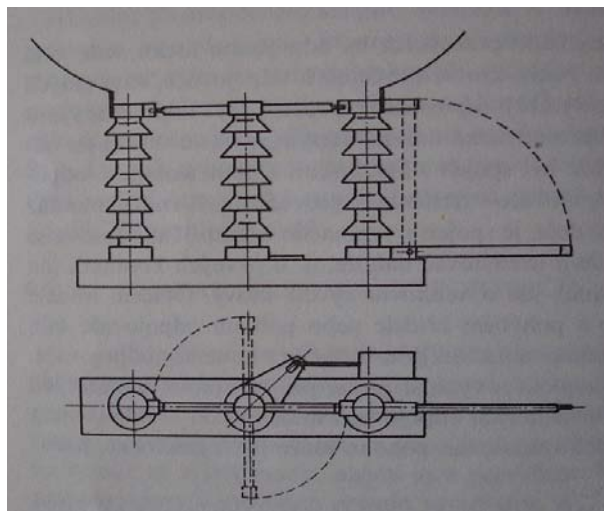
Spínací přístroje bez zhášedel

- Odpojovače
 - spínač, který spojuje a rozpojuje nezatížený el. obvod – mechanicky s viditelnou rozpojovací dráhou používá se k odpojení vedení, stroju atd. za účelem opravy, revize.
 - Slouží především k ochraně osob
 - Ovládá se ručně (izolační tyč s hákem)nebo dálkově (motorový nebo tlakovzdušný pohon)
 - v zapnutém stavu musí bez poškození snést zkratový proud
 - ve vypnutém stavu nesmí dojít k přeskočení ani při přepětí
- Odpojovač vývodový – opatřený ocelovým uzemňovacím nožem

P1



Odpojovače

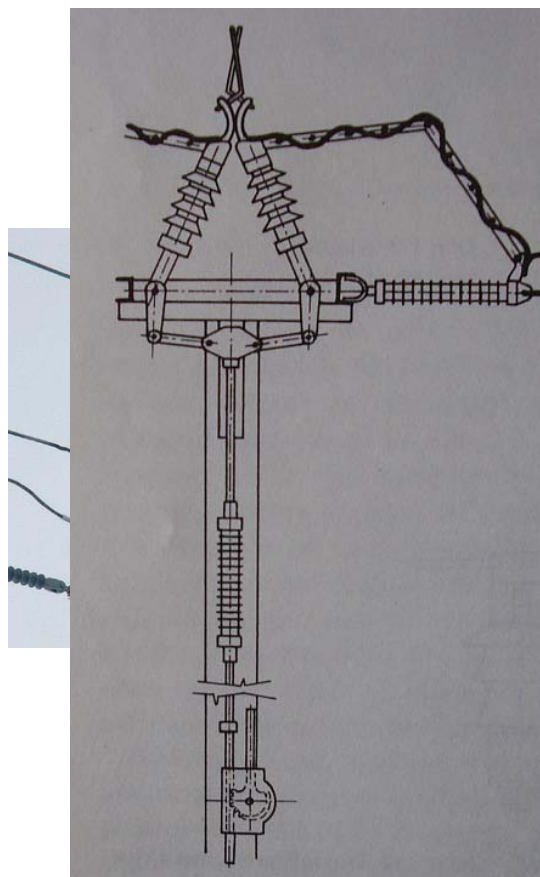


P1



Úsekový vypínač – Úsečník (VN)

- Je schopný vypínat a zapínat normální pracovní proudy v rozsahu své jmenovité spínací schopnosti, ve vypnutém stavu zastává úlohu odpojovače
- Výhradně venkovní provedení na stožáry a sloupy
- Dva výkyvné (nesou dva čelní kontakty z bronzu, na každém opalovací růžek z měděné kulatiny a dva pomocné napínací izolátory. Do ovládacího táhla vložen izolátor pro zvýšení bezpečnosti obsluhy
- Oblouk se zháší volně na vzduchu



Odpínač

ve vypnutém stavu splňuje bezpečnou vzdálenost jako odpojovač
v zapnutém stavu musí bez poškození snést zkratový proud
má zhášecí systém
vypínací schopnost odpovídá zpravidla jmenovitému proudu (závisí ale na druhu zatížení)
může být uzemňovací



kontakty:

hlavní např. nožové – vedou v zapnutém stavu

opalovací – zháší se na nich oblouk

po uhašení oblouku musí kontakty

dosáhnout bezpečné a viditelné vzdálenosti

Druhy odpínačů:

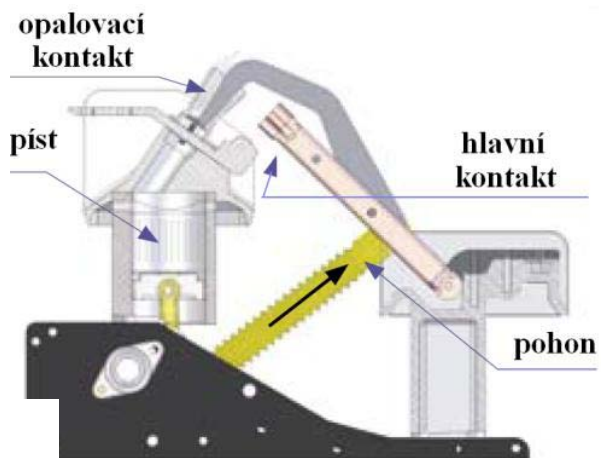
vzduchové (též

kompresní)

□ po rozpojení hlavních kontaktů vzniká oblouk na opalovacích kontaktech

□ oblouk se zháší proudem vzduchu

vyvolaným pohybem pístu ve válci při vypínacím pohybu

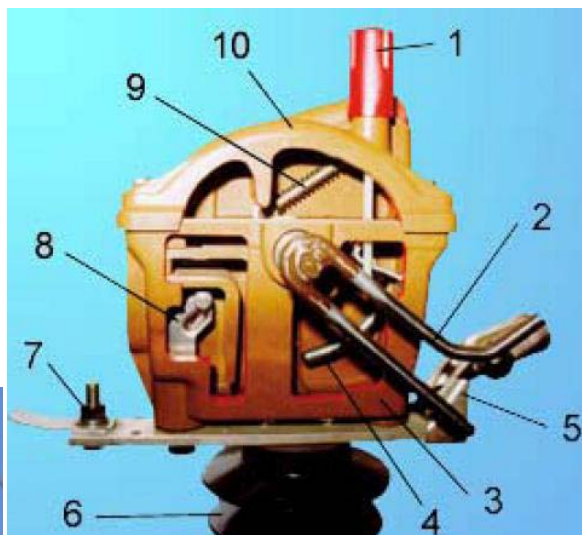


Druhy odpínačů:

se zhasací komorou

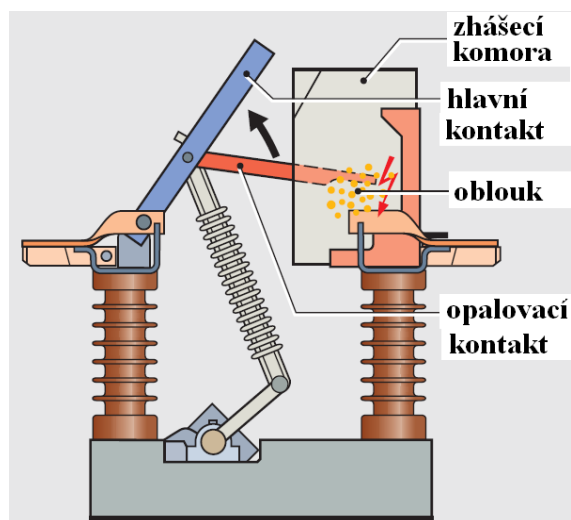
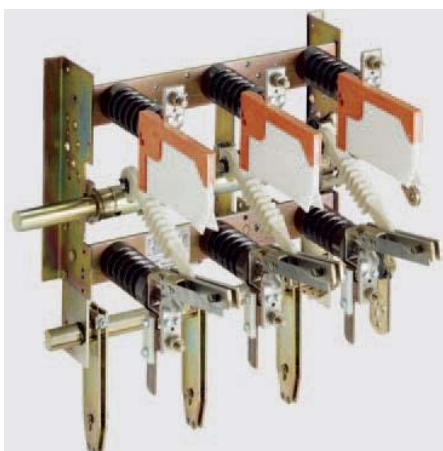
☐ máloolejovou (na obr.)

☐ vakuovou



Druhy odpínačů:

- se zplynující látkou – oblouk se zhasí vyfouknutím tlakem plynů vznikajících v důsledku žáru oblouku (na obr.)
- s plynem SF₆

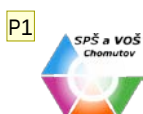
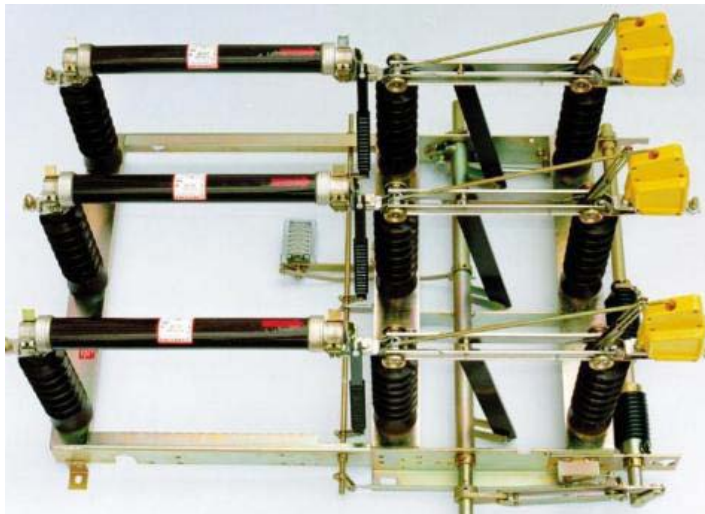


Druhy odpínačů:

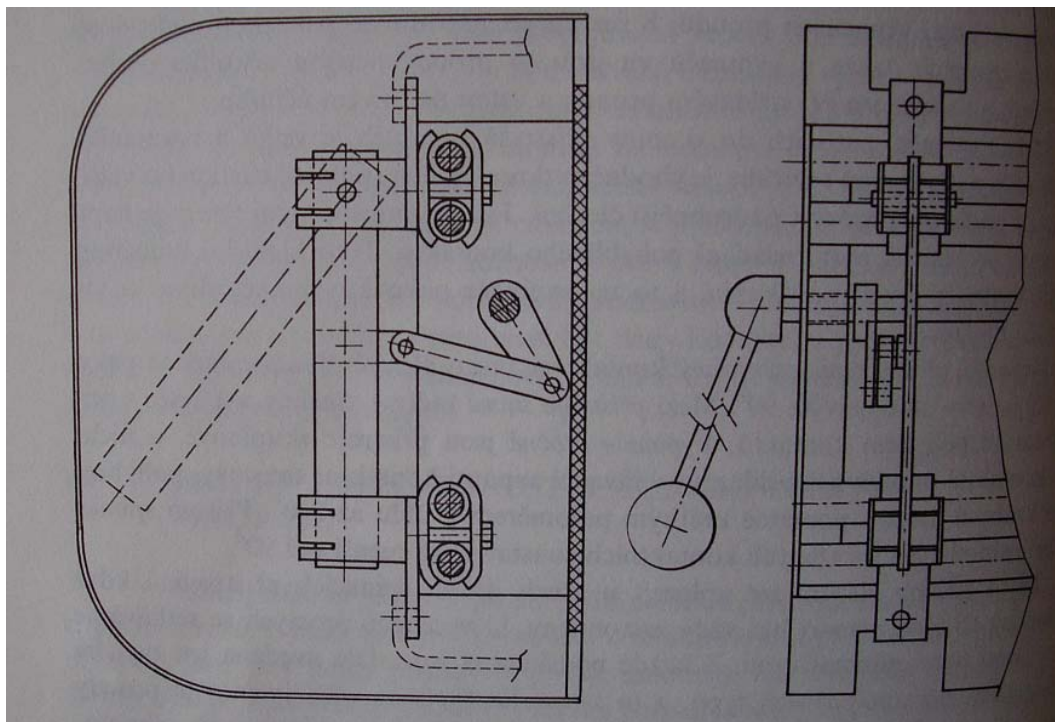
Pojistkový odpínač (fuse switch disconnecter) - kombinace odpínače s výkonovou pojistkou vn.

může vypínat provozní proudy (odpínačem) i nadproudy (pojistkou) a nahradí tak dražší výkonový vypínač

provedení:
venkovní



Pákové vypínače - nožový



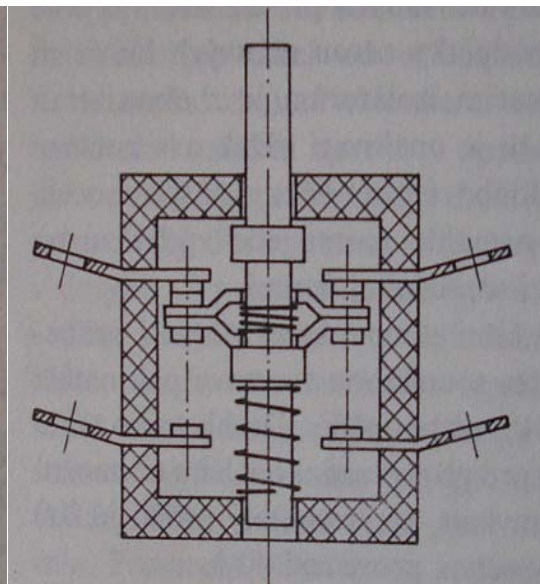
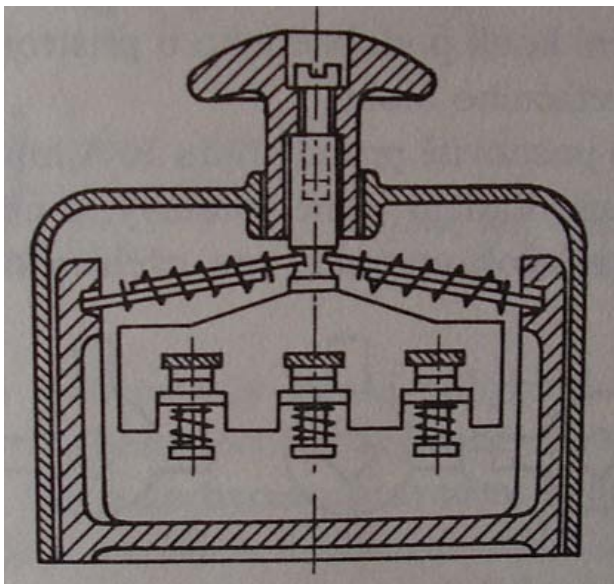
P1



Suvné vypínače

Stiskací – 3p. vypínač, obě polohy stálé, mžikové vypnutí pomocí překlápěcích pružin

Tlačítkový – stavebnicové provedení, poloha stálá a přechodná

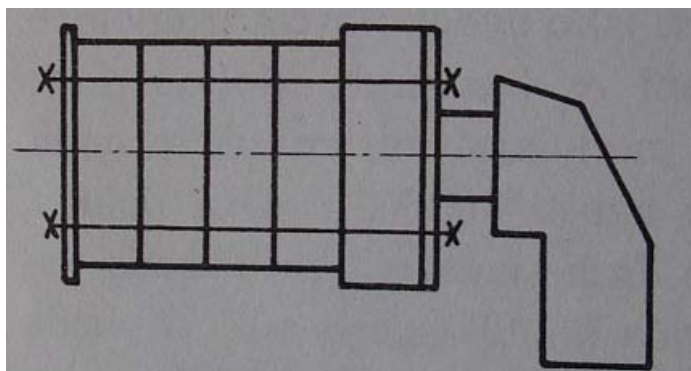


P1

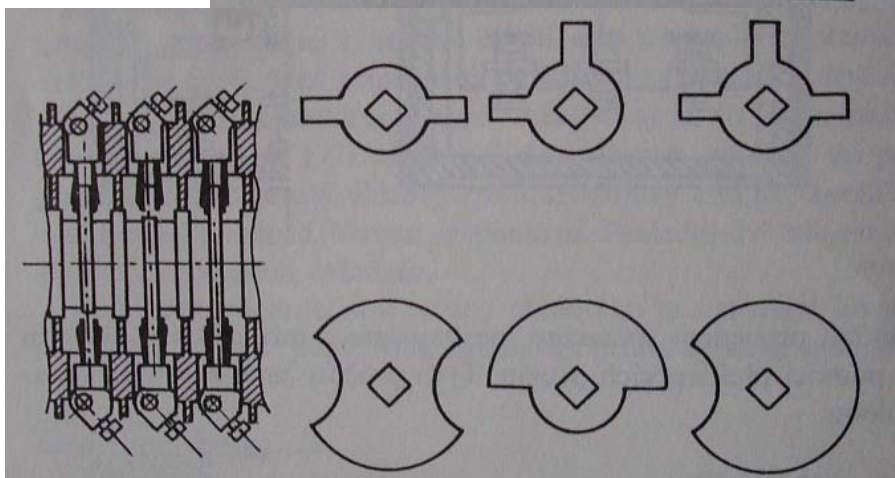


Válcový přepínač

- Spínací polohy 4 po 90° - zarážkou lze omezit, každá soustava má 4 pevné kontakty pohyblivé kontakty tvoří plochý měděný segment izolačně upevnění na 4 hraném hřídeli



Segmenty mohou mít různé tvary, čímž se dosáhne potřebné spínací schéma (např. přepnutí směru nebo přepínač hvězda trojúhelník)



■ koncové spínače

slouží k vymezení pohybu
elektricky poháněných zařízení



vačkové spínače

otočná část s vačkou spíná dvojice kontaktů na pevné části

obvykle bývá řazeno více spínacích jednotek za sebou, velká rozmanitost tvarů

užití: spínání motorů obecné spínání v průmyslu, spínání obvodů v určitém pořadí



K1

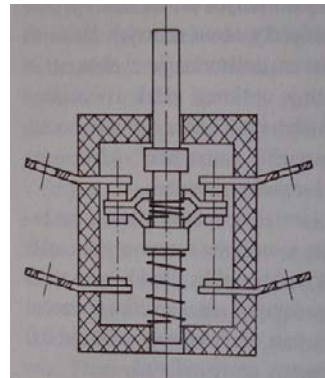
■ tlačítka

zapínací i vypínací
kontakty

jen jedna stabilní poloha
tlačítkový ovladač –
spojení více tlačítek do
jednoho celku

provedení: se
zapuštěným či
hříbovitým ovladačem, s
otočným kohoutkem, se
zámkem, prosvětlené

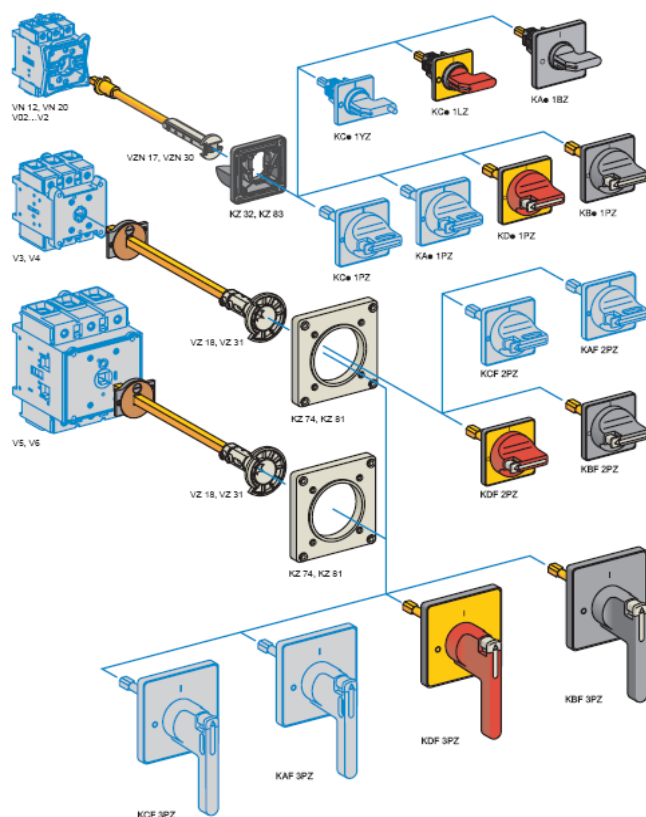
*užití: ovládací a
signalizační obvody*



■ *mikrospínače*

spínače s malým
zdvihem kontaktů
pro slaboproudé
aplikace

mikrospínač



Mechanické
spínače pro
vyšší proudy

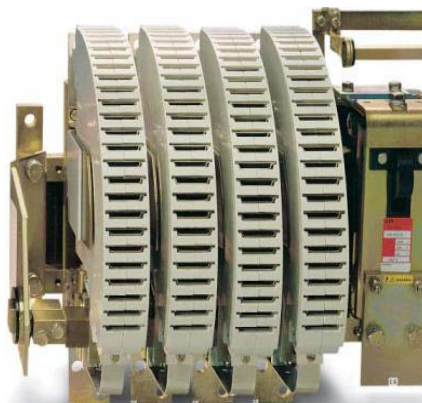


P1



Spínací přístroje NN - Stykače

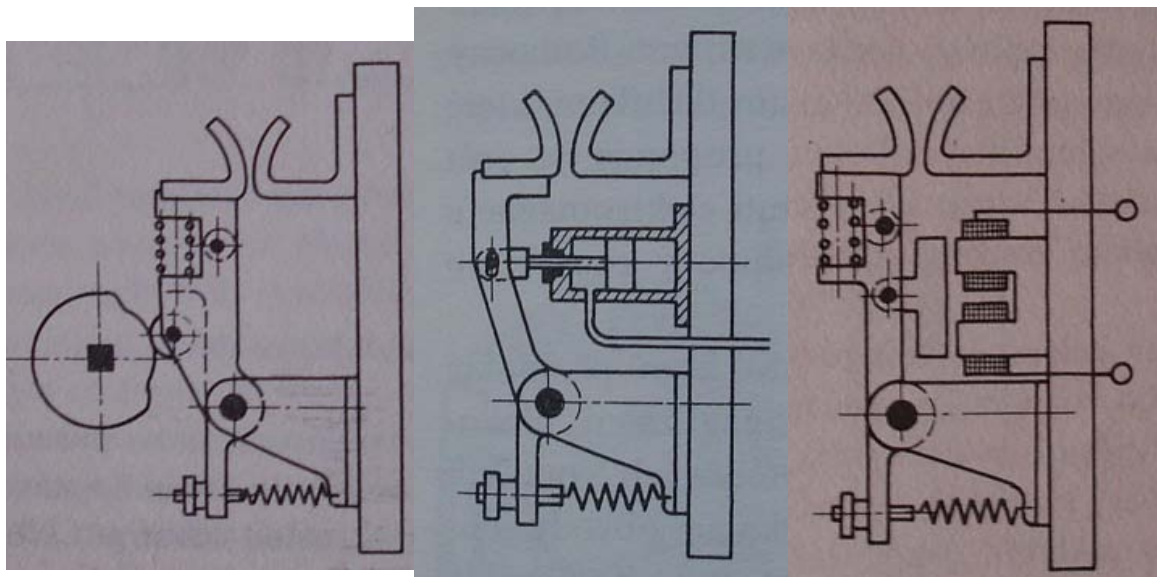
- Dálkově ovládaný přístroj určený k častému spínání (pomocí malého I ovládáme velké I)
- Stabilní poloha je jedna - obvykle vypnuto, do druhé polohy se kontakty přivádějí mechanismem a setrvávají v ní tak dlouho dokud mechanismus působí (jinak pružina vrátí)
- Mechanismus může být
 - Elektromagnetický (nejrozšířenější, jeho nevýhodou je, že nelze udělat velký zdvih)
 - Vačkový
 - Pneumatický
- Podle druhu proudu rozlišujeme
 - Stejnsměrný – má vždy vyfukovací cívku
 - Střídavý
 - univerzální – pro každý druh proudu je jiná hodnota jmenovitého proudu



P1



Stykače - pákové



K1

- kategorie užití – charakterizuje různé spínací podmínky podle druhu zátěže, nejobvyklejší jsou

AC1 – spínání střídavých obvodů s odporovou nebo málo induktivní zátěží

AC3 – spínání asynchronních motorů s kotvou nakrátko

DC1 – spínání stejnosměrných obvodů s malou indukčností

- jmenovitý (pracovní) proud – rozlišuje se podle kategorie (AC1 25A)
- jmenovité napětí (400V)
- jmenovité napětí, druh proudu a příkon ovládacího obvodu (např. 230 V, 50 Hz, 15 VA)
- Ovládací cívka – 220V – 240V 50Hz
- Hlavní (silové) kontakty (3 zapínací + jeden rozpínací , který se používá jako pomocný)
- jmenovité napětí a proud pomocných kontaktů, jejich počet a druh (možnost připojení dalšího modulu s pomocnými kontakty)

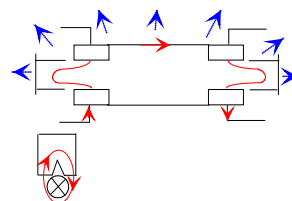


P1



Pákové a suvné stykače

- Pákové stykače
 - se používají pro = proudy a větší ~ proudy.
 - Mají vždy vyfukovací cívku (jsou =)
 - Umožňují vzájemné smýknutí kontaktů po sobě a rozrušení korozní vrstvy
- Suvné stykače
 - Vznikly později, menší I_n (do 200A)
 - Nevhodné pro vypínání = proudu
 - Výhradně kontakty s čelním stykem (velký obsah Ag) Nemají vyf. cívku
 - musí vystačit s jednoduchou komůrkou





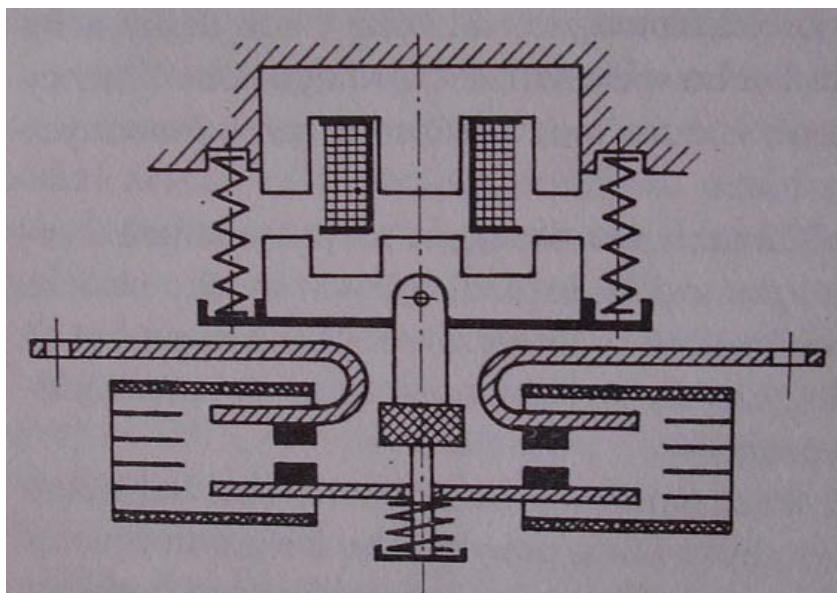
Elektromagnetický suvný stykač

- Rozlišujeme
 - Silové kontakty
 - Pomocné kontakty – slouží jako přídržné, blokové a návěští. Kopírují činnost hlavních kontaktů
- Kromě jmenovitého proudu rozlišujeme pracovní proud (menší než jm. hodnota, určuje výrobce na základě hustoty(četnosti) spínání), důvodem je oteplení vlivem častého spínání motorů(velký záběrný proud)
- Mechanická trvanlivost – obvykle milióny sepnutí
- Elektrická trvanlivost – závisí na typu zátěže
- Zapínací cívka el.mag. stykačů může být na = napětí (24,230V) nebo ~ (48,230,380,500V). Cívky na malé napětí nejsou spolehlivé.

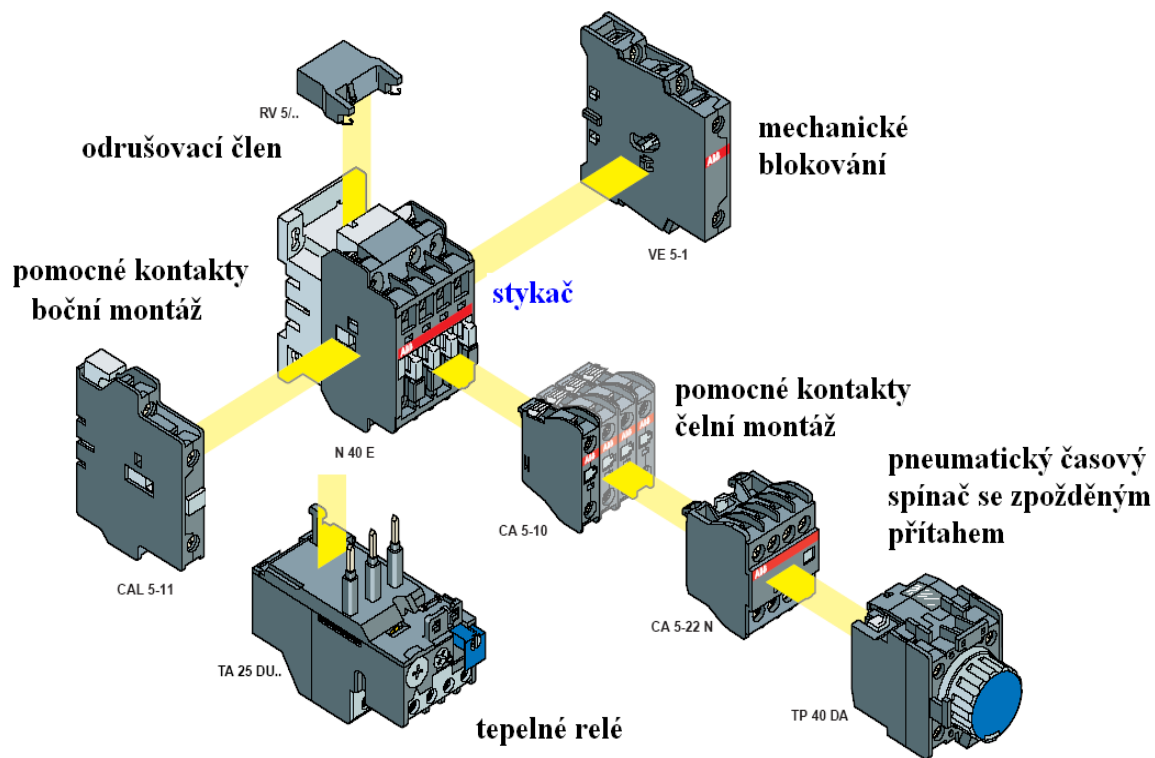
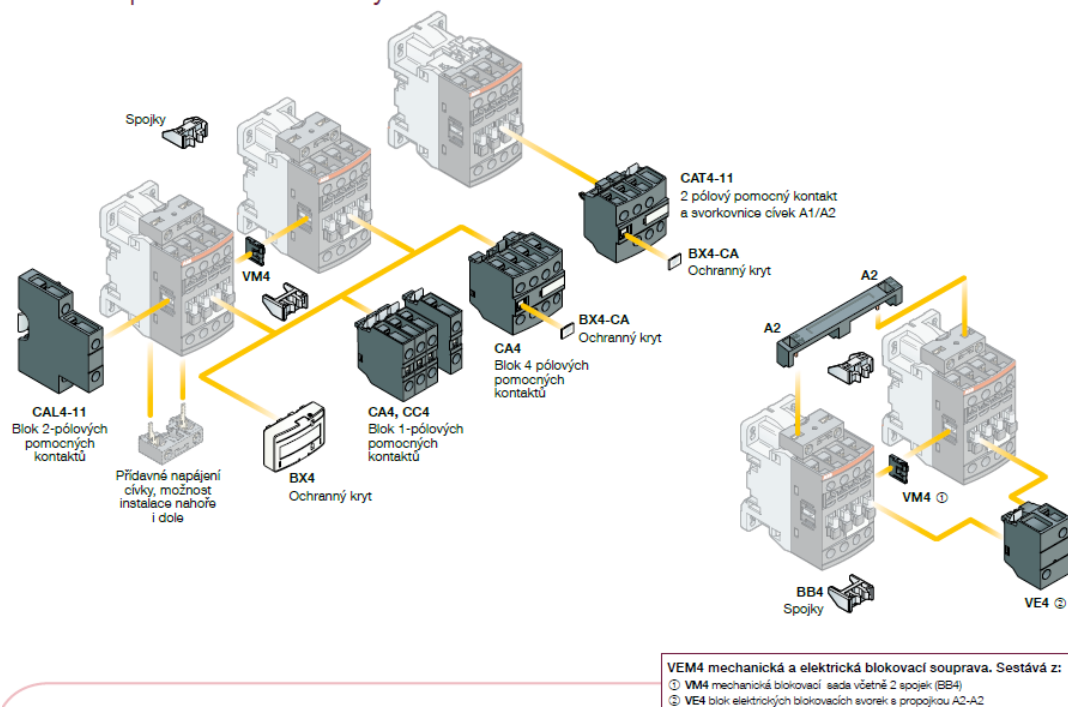


Suvný elektromagnetický stykač

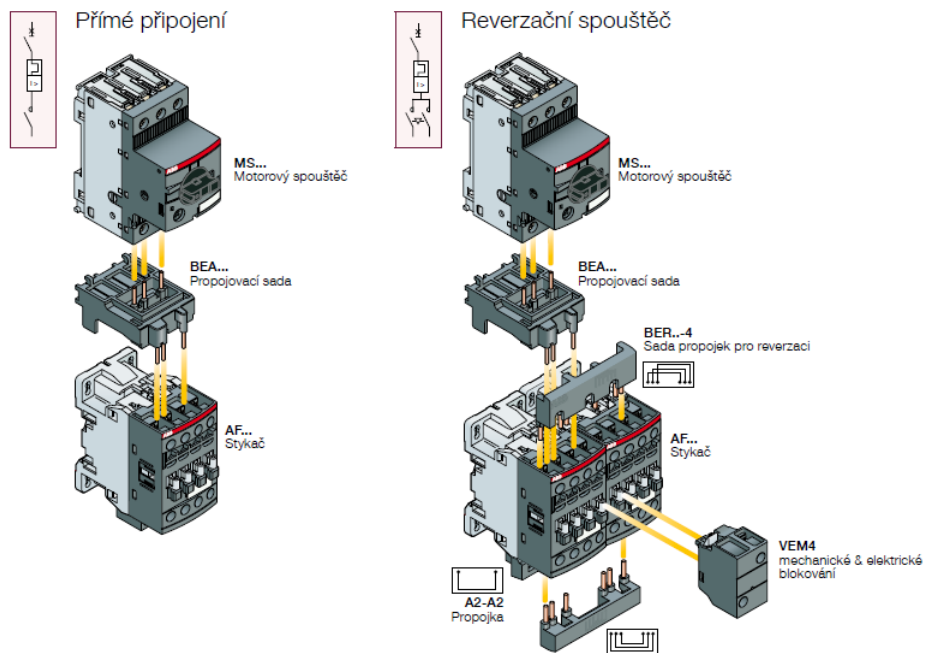
- výhradně střídavý bez vyfukovací cívky
- Můstkové provedení kontaktů, dvoj násobné přerušení v každém pólu
- pro proudy do 200A,
- levný uzpůsobený pro velkosériovou výrobu



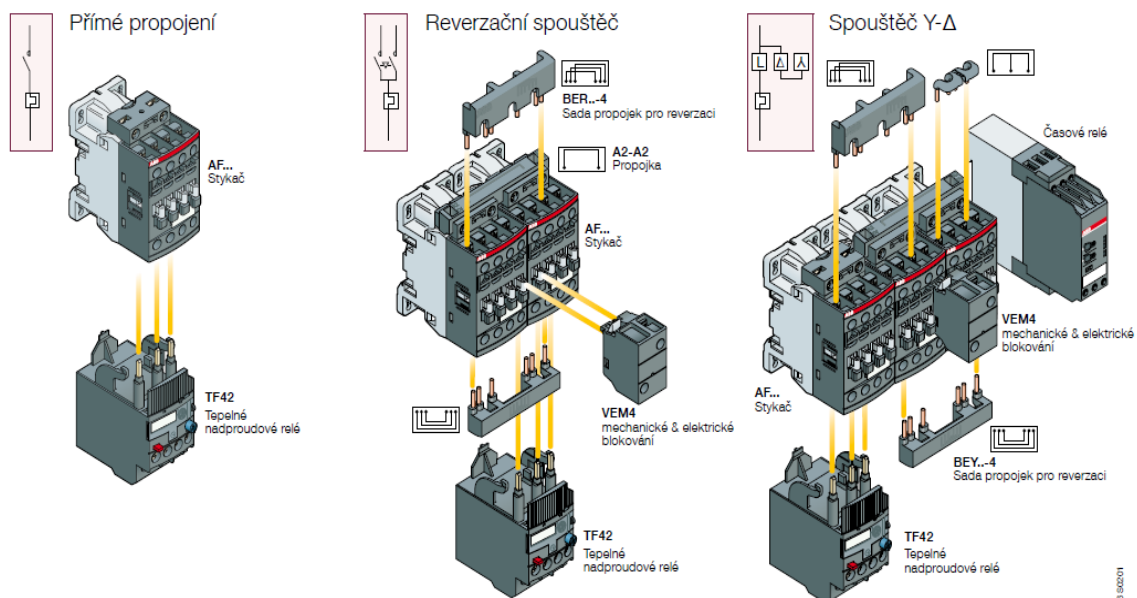
Hlavní příslušenství ke stykačům



Ochrana motoru motorovým spouštěčem



Ochrana motoru tepelným nadproudovým relé



31 106 82201

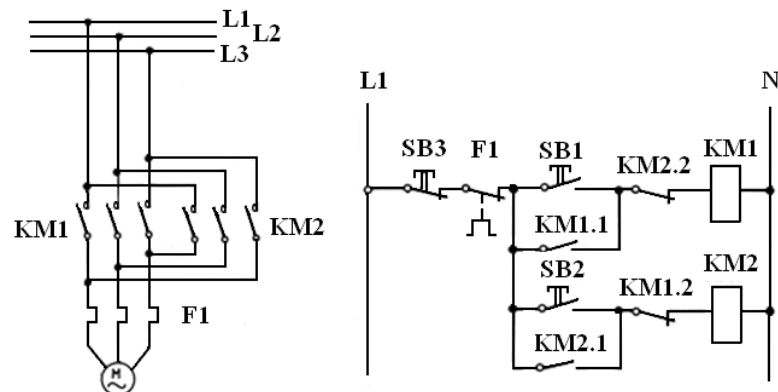
Značky a zapojení stykačů

na obrázku je příklad zapojení dvou stykačů pro reverzaci motoru
stykače KM1, KM2

pomocné kontakty – přídržné KM1.1, KM2.1, blokovací KM1.2, KM 2.2

tlačítka – zapínací SB1, SB2, rozpínací SB3

tepelné relé – popudové články F1 v silovém obvodu a rozpínací
kontakt v ovládacím obvodu



Nejčastější závady elektromag. stykačů

- Prasknutí závitů nakrátko – stykač se rozklepe a zničí
 - Tok ϕ_1 indukuje v závitě nakrátko EMS, která závitěm protlačí proud I_1 a ten zpětně vyvolá mag. tok ϕ_2 který je fázově posunut a vytvoří sílu F_2 , která se sečte s původní silou F_1 . Výsledná síla není nikdy nulová a její min hodnota musí být vyšší než síla pružiny.
- Znečištění dosedacích ploch
 - Zvětší se vzduchová mezera a vzroste proud cívkou, která se časem spálí
- Poškození pružin

Spínací přístroje NN - Relé

Využití relé je ve všech oblastech elektrotechniky

- * domácnosti – proudové relé, impulsní relé, ...
- * průmysl – signalizace, spínání, ovládání
- * energetika – ochrany zařízení velkých výkonů



Relé

- Přístroj sloužící pro dálkové řízení el. zařízení a pro zabezpečení jejich spolehlivého provozu. Pracuje podobně jako elektromagnetický stykač nemá však hlavní silové kontakty.
- Cívka relé (elektromagnet) se napájí stejnosměrným nebo střídavým proudem. Pohyblivá kotva ovládá kontaktní systém. Podle druhu má vždy určitý počet zapínacích, vypínacích nebo přepínacích kontaktů.

- Rozlišujeme:

Rozdělení podle principu spínání:

- elektromagnetické relé
- elektronická relé (nemají mechanické kontakty, ale polovodičový spínací prvek)

- Rozdělení podle napětí:

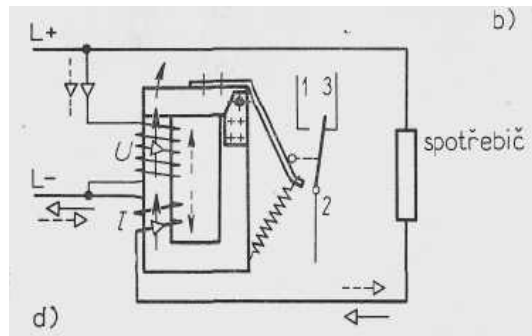
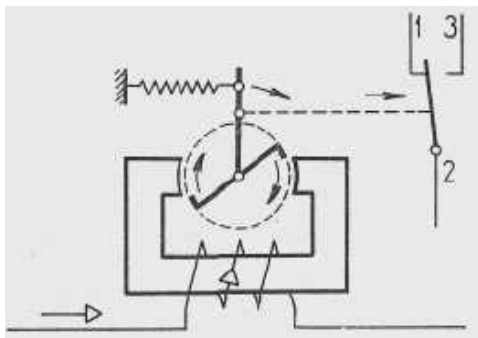
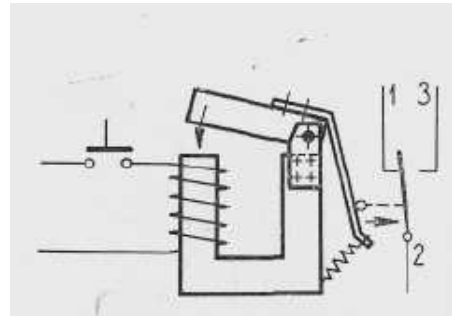
- střídavá relé
- stejnosměrná relé

Relé

- Návěstní relé – slouží k optické nebo také optické signalizaci stavu
- Spínací relé – zapínání a vypínání ovládacích nebo signalizačních obvodů
- Podpětňové relé - rozpojí obvod při poklesu napětí na danou hodnotu
- nadproudové relé – samočinně odpojí zařízení, když proud dosáhne určité hodnoty (obvykle se budí měřicími transformátory zapojenými v obvodech VN,VVN)
 - Závisle – větší nadproud vypne rychleji
 - Nezávisle – po dosažení dané hodnoty vypne za předem nastavený čas
- Podproudové relé – rozpojí obvod při poklesu proudu na danou hodnotu
- Tepelné jistící relé – jistí zařízení proti přetížení a zapojují se do obvodů stykačů. Využívají bimetal, který ovládá kontakty relé. Je teplotně kompenzované

Relé

- Zpětné relé – obvod se rozpojí při změně smyslu proudu
- Časové relé – přepnutí kontaktů nastane až za určitý čas po přijetí impulsu (čas se nastaví mechanicky nebo elektronicky) pracuje jak se zpožděným přitahem tak odpadem



Příklady elektronického relé

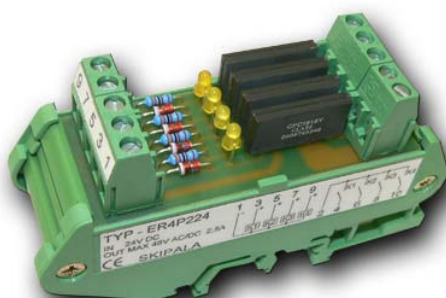


Elektronické časové relé

- * napětí 230V/50Hz
- * spínaný výkon 2kVA
- * časový rozsah podle typu

Elektronické průmyslové relé

- * ovládací napětí 15-30V DC
- * spínaný výkon 48V/2,5A
- * počet spínaný kanálů 4



Pojistky - úvod

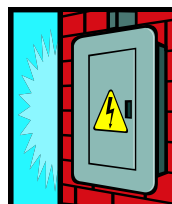
Jaké poruchové stavy

Nebezpečí poškození elektrického zařízení

- * zkrat - dynamické účinky
 - tepelné účinky
 - pokles napětí
- * přetížení
 - tepelné účinky
- * přepětí a podpětí
- * zemní spojení
- * ...

Nebezpečí úrazu elektrickým proudem

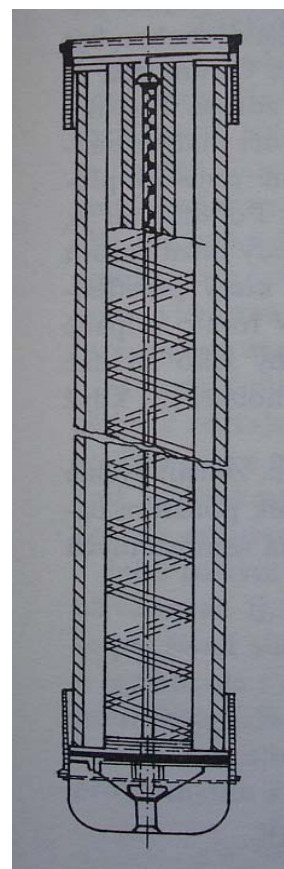
- * poškození izolace
- * průraz na kostru
- * uvolněný vodič





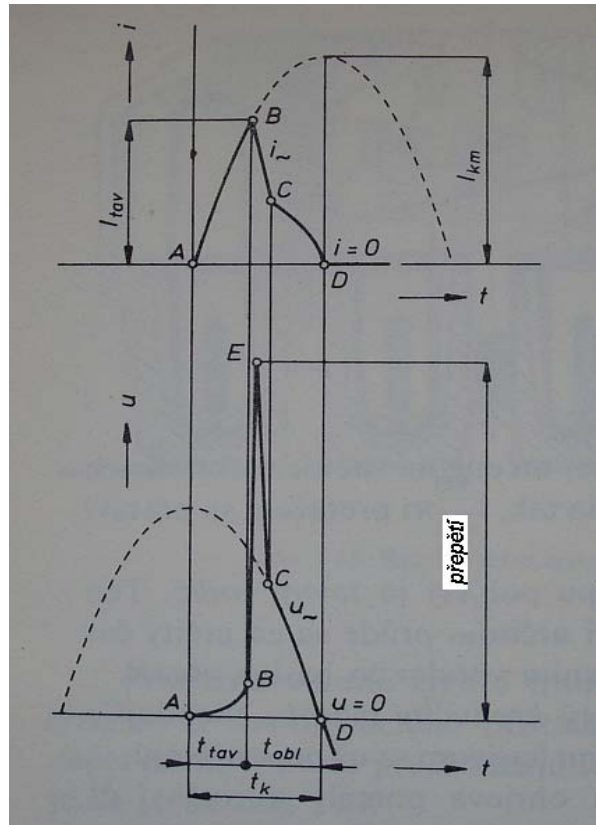
Pojistky

- Nejjednodušší ochrana el. obvodu
- V podstatě je místem nejslabšího průřezu
- Druhy pojistek
 - Přístrojová (trubičková)
 - Závitová (starší rozvody, přípojkové skříně)
 - Válcová (moderní rozvody – DIN lišta)
 - Výkonová (patronová, nožová) In až 630A
 - Pojistky pro polovodiče
 - automobilová
 - Trubková (VN)
- Vlastnosti pojistek
 - Působí rychle
 - Omezují zkratový proud
 - Jsou menší a levnější než ostatní přístroje
 - Nejistí v oblasti nadproudů
 - Po zapůsobení je nutné ji vyměnit



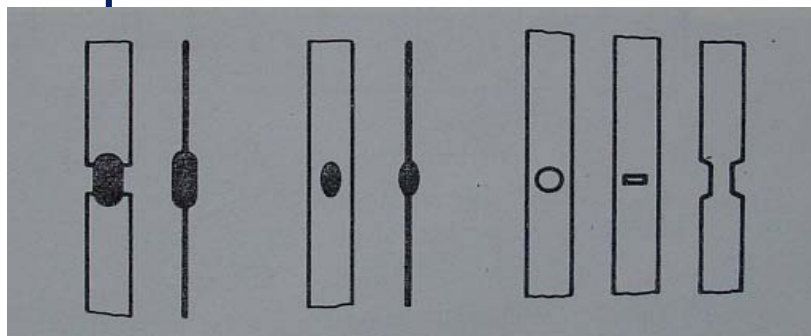
Průběhy U a I pojistky ve střídavém obvodu

- V bodě A nastal zkrat. Proud vzrůstá až do bodu B na hodnotu I_{tav} . Napětí roste z důvodu zvýšení odporu tavného vodiče (zahřívá se)
- Bod B přetavení tavného vodiče pojistky – vzrůst odporu a prudký pokles proudu do bodu C. Přitom dojde ke vzniku přepětí (velikost závisí na el. poměrech – L, C)
- Další pokles proudu a napětí v době hoření oblouku (U a I jsou ve fázi)
- Vypnutí nastane v bodě D



P1

Úprava tavného drátu



- Kruhový průřez pouze pro malé IN a malé zkratové proudy.
- Tavný vodič je ze stříbra nebo postrýbřené mědi.
- Páskový tavný vodič – místo vzniku oblouku se předurčí

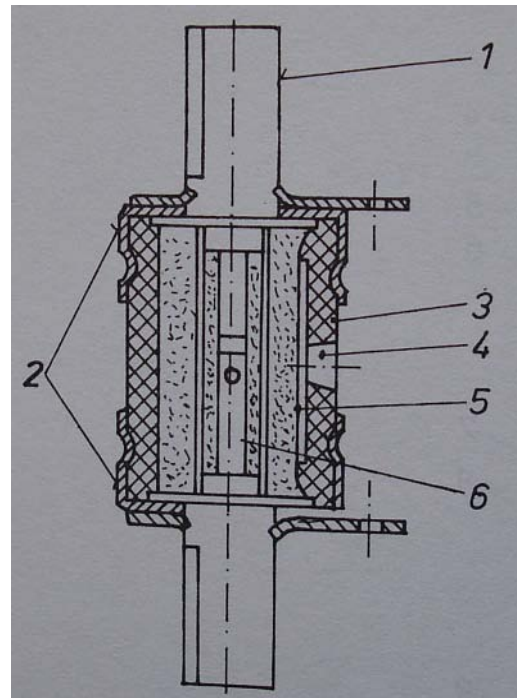
Zúžením

Nanesením pájky na nepřerušný vodič (při zahřátí se tavný vodič rozpouští v pájce a vzniklá slitina má nižší bod tání)

Přerušením vodiče a jeho spojením nízkotavitelnou pájkou

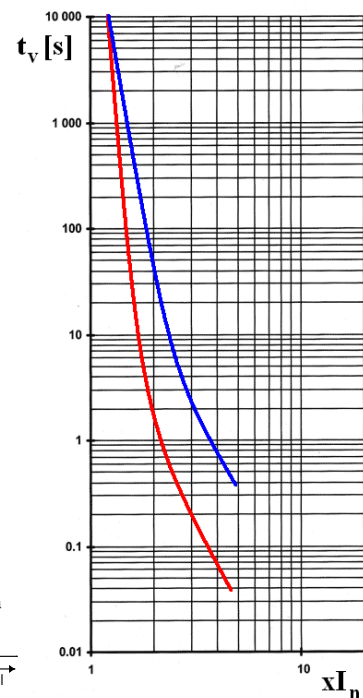
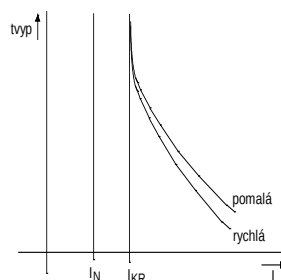
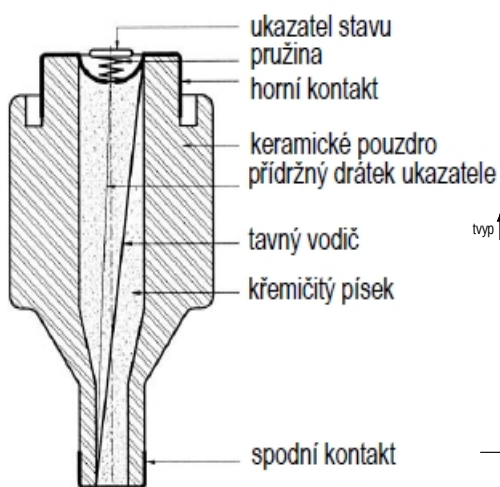
Nožová pojistka

- 1 - nožový kontakt
- 2 – víka
- 3 – patrona
- 4 – okénko
- 5 – ukazatel stavu
- 6 – páskový tavný vodič
- 7 – třmen pro uchycení vložky při výměně



Tavné charakteristiky pojistky

- I_N – jmenovitý proud
- I_{KR} – krajní proud (proud při němž se právě ještě neroztaví)
- I_N / I_{KR} (běžná pojistka 1,3 až 1,6 - pro polovodiče 1,1 – 1,25 I_N)



Vypínací charakteristiky - lze je velmi hrubě rozdělit na

- normální čili rychlé (červená)
- pomalé (modrá)

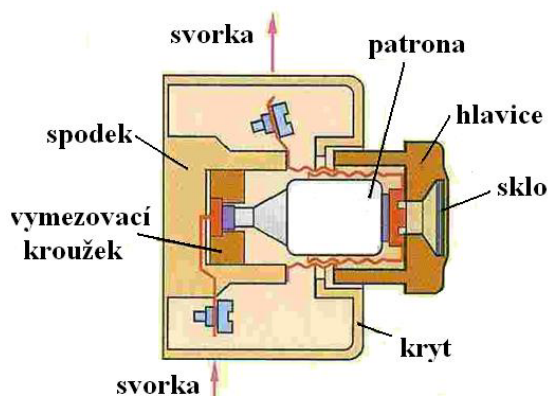
podrobnější členění

1. pojistkové vložky na nízké napětí

- funkční třída *g* – plný rozsah, *a* – pouze část nadproudů
- kategorie užití *G* – všeobecné užití, *M* – motory, *Tr* – transformátory, *R* – polovodiče
- nejběžnější jsou: gG, aM

2. přístrojové trubičkové pojistky

- *F* – rychlé, *T* – pomalé, *FF* – velmi rychlé



jmenovitá hodnota v [A]	barva
2	růžová
4	hnědá
6	zelená
10	červená
16	šedá
20	modrá
25	žlutá
35	černá
50	bílá
63	měděná
80	stříbrná
100	červená

Charakteristiky pojistek

příklad – válcová pojistka PV22 40 A



I_n [A]	Charakteristika gG				Charakteristika aM			
	Typ	U_n [V]	Kód výrobku	Ztráty [W]	Typ	U_n [V]	Kód výrobku	Ztráty [W]
16	PV22 16A gG	690	06740	3,07	PV22 16A aM	690	06741	0,92
20	PV22 20A gG	690	06742	3,30	PV22 20A aM	690	06743	1,06
25	PV22 25A gG	690	06744	3,70	PV22 25A aM	690	06745	1,43
32	PV22 32A gG	690	06746	4,29	PV22 32A aM	690	06747	2,03
40	PV22 40A gG	690	06748	5,92	PV22 40A aM	690	06749	2,50
50	PV22 50A gG	690	06750	6,35	PV22 50A aM	690	06751	2,55
63	PV22 63A gG	500	06752	8,41	PV22 63A aM	500	06753	4,05
80	PV22 80A gG	500	06754	8,88	PV22 80A aM	500	06755	4,85
100	PV22 100A gG	500	06756	7,56	PV22 100A aM	500	06757	5,59
125	PV22 125A gG	400	18271	12,00	PV22 125A aM	400	06758	6,31

22x58

Charakteristiky pojistek

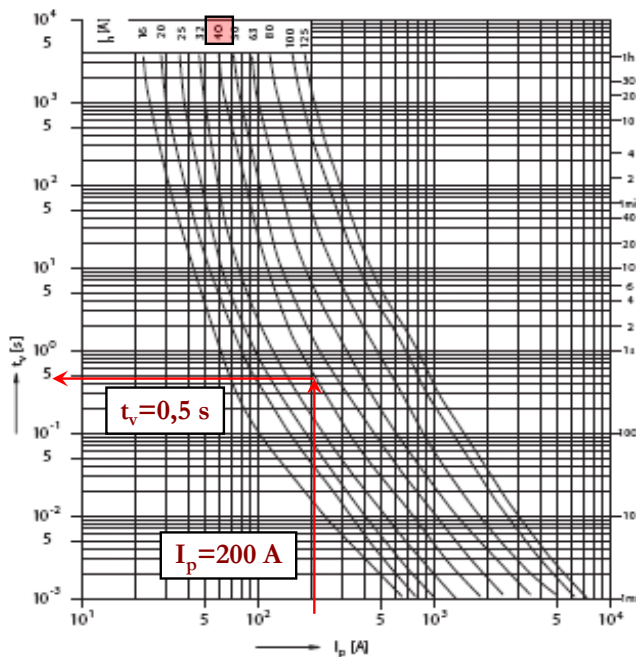
I_n [A]	Charakteristika gG					Charakteristika aM				
	Typ	U_n [V]	Kód výrobku	Ztráty [W]		Typ	U_n [V]	Kód výrobku	Ztráty [W]	
22 x 58	16 PV22 16A gG	690	06740	3,07		PV22 16A aM	690	06741	0,92	
	20 PV22 20A gG	690	06742	3,30		PV22 20A aM	690	06743	1,06	
	25 PV22 25A gG	690	06744	3,70		PV22 25A aM	690	06745	1,43	
	32 PV22 32A gG	690	06746	4,29		PV22 32A aM	690	06747	2,03	
	40 PV22 40A gG	690	06748	5,92		PV22 40A aM	690	06749	2,50	
	50 PV22 50A gG	690	06750	6,35		PV22 50A aM	690	06751	2,55	
	63 PV22 63A gG	500	06752	8,41		PV22 63A aM	500	06753	4,05	
	80 PV22 80A gG	500	06754	8,88		PV22 80A aM	500	06755	4,85	
	100 PV22 100A gG	500	06756	7,56		PV22 100A aM	500	06757	5,59	
	125 PV22 125A gG	400	18271	12,00		PV22 125A aM	400	06758	6,31	

gG - charakteristika pro normální použití

aM - charakteristika pro motory

gR - charakteristika pro polovodiče (zkrat a přetížení); **aR** - (pouze zkrat

Tavná charakteristika PV22 gG 40A - $t_v = f(I_p)$



t_v - doba tavení (s)

I_p - poruchový
(předvídaný)
proud (A)

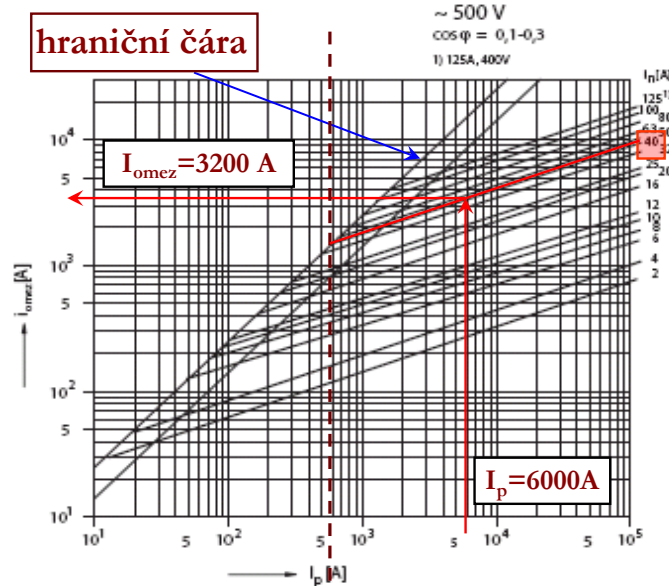
Jaká bude doba
působení pro $I_p = 200$ A

$I_p = 200$ A

$t_v = 0,5$ s

Omezující charakteristika PV22 gG 40A -

$$I_{\text{omax}} = f(I_p)$$



I_{omez} - mezní hodnota proudu- amplituda

I_p - poruchový proud efektivní hodnota

$I_m = 690 \text{ A}$

$I_p = 6000 \text{ A}$?

$I_{\text{omez}} = 3200 \text{ A}$

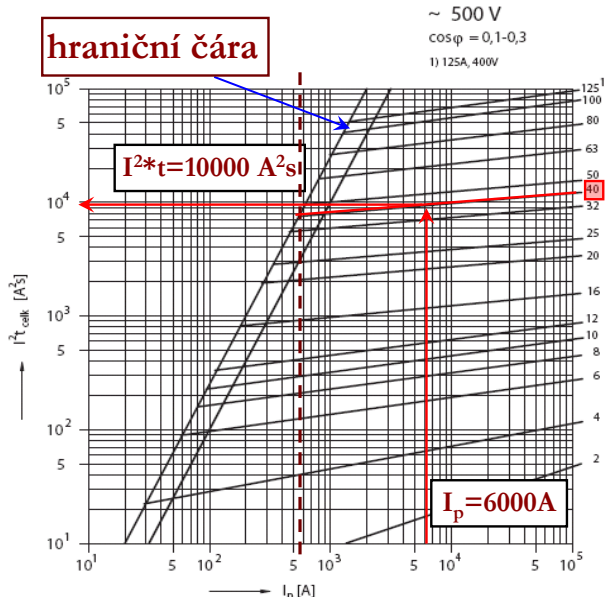
Bez omezení ?

$I_{\text{max}} = 8500 \text{ A}$

I_m – hodnota poruchového proudu, od které má daná pojistka omezující schopnost (z pohledu velikosti proudu)

Energetická charakteristika PV22 gG 40A -

$$I^2 \cdot t = f(I_p)$$



$I^2 \cdot t$ - celková energie, která projde po zkratu

I_p - poruchový proud efektivní hodnota

$I_m = 550 \text{ A}$

$I_p = 6000 \text{ A}$?

$I^2 \cdot t = 10000 \text{ A}^2 \text{s}$

$$W = R \cdot I^2 \cdot t$$

I_m – hodnota poruchového proudu, od které má daná pojistka omezující schopnost (z pohledu energie)

Pojistky - závěr

1. Pojistky mají velmi dobré vlastnosti při zkratu

rychlost

omezující schopnost – vypínají s odtržením

spolehlivost

2. Špatně chrání proti přetížení (malá citlivost)

3. Omezené využití v automatizovaných provozech

4. Tavná vložka se nesmí opravovat !!!

5. Jsou levné a spolehlivé



Jističe

- Jsou to samočinné spínací přístroje, které spínají při nedodržení velikosti spínané veličiny. Tou může být nadproud nebo podpětí.

■ Rozdělení

– Vzduchové - nejrozšířenější

– Olejové – oblouk se zhasí působením oleje

Podle počtu pólů

- Jedn pólové

- Troj pólové

Zapínání

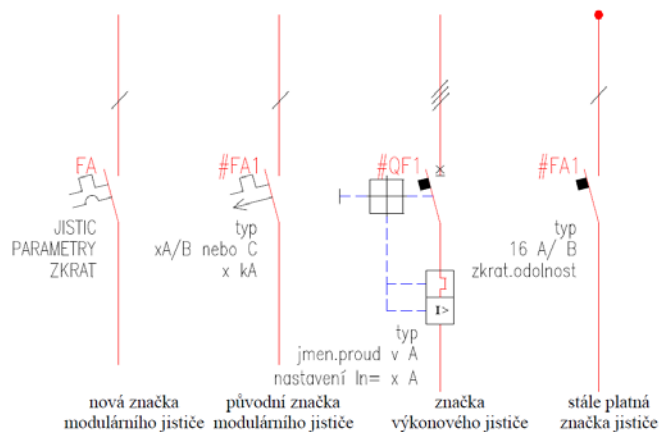
- Ruční

- Strojní – elektromagnetické, tlakovzdušné, pružinové (pružinový střadač napíná elektromotorek přes převodovku)

Jističe

- Aby spínač mohl fungovat jako jistič musí mít kromě **kontaktní soustavy** s ovládáním ještě **zámek** (zařízení, které drží kontaktní ústrojí v zapnuté poloze proti síle vypínacích pružin. Zámek složený se nazývá volnoběžka. Zámek se vybavuje buď ručně nebo dálkově **spouští**. Spoušť se uvádí v činnost elektromagnetickým nebo tepelným působením proudu a vybavuje zámek (volnoběžku)

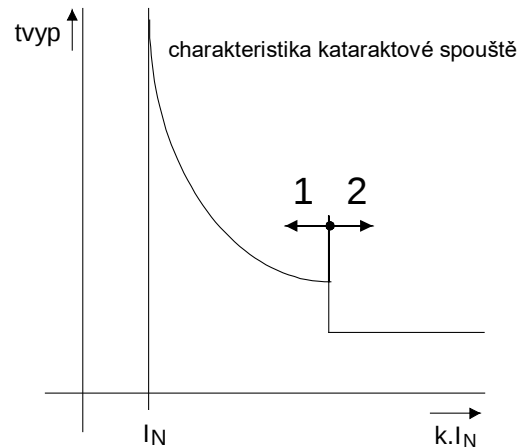
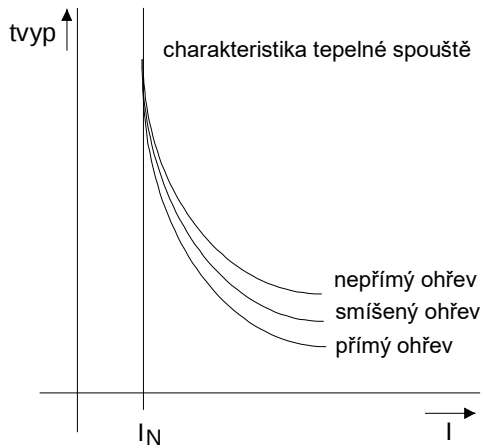
- Jističe nejsou vhodné pro časté spínání
- Jistič na stejnosměrný proud má vždy vyfukovací cívku



Jističe - spouště

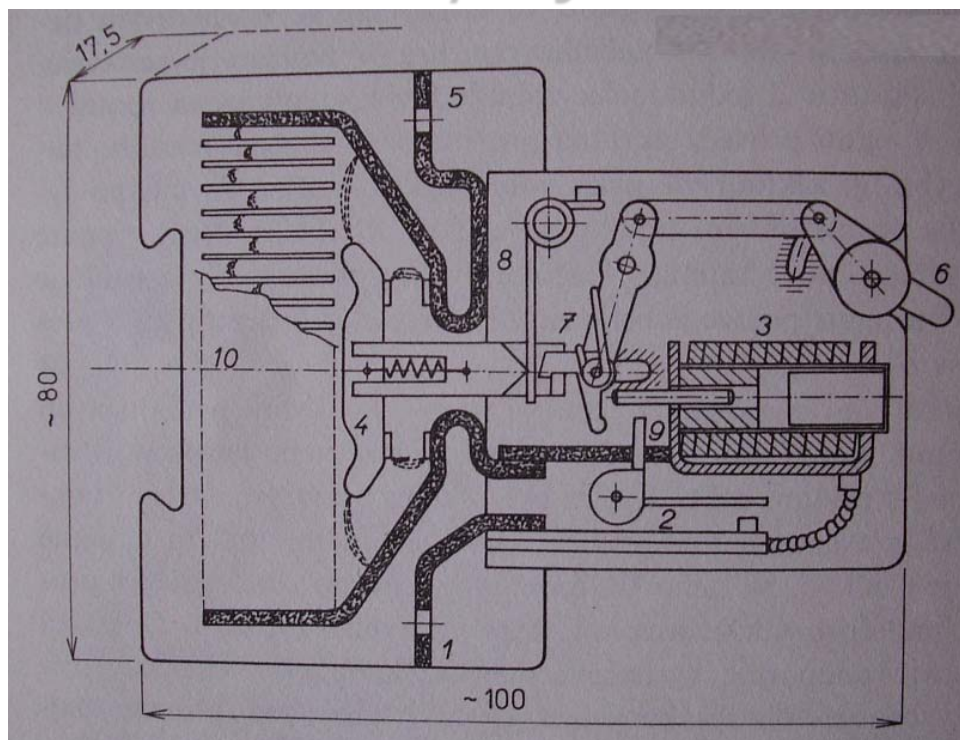
- Nadproudá spoušť – nadproudou spouští prochází trvale proud jištěného obvodu.
 - zkratová – vypíná za 0,1-0,2s při zkratovém proudu (5 až 16x I_n). (nezávislá vypínací char.)
 - Zpožděná
 - Tepelná – bimetal zhotoví se stejně jako u tepelného relé) – závislá vypínací charakteristika
 - Kataraktová – má zpožďovací zařízení , které působí v oblasti malých nadproudů, zkratové proudy vypne okamžitě. (polozávislá vyp. charakteristika)
 - Podpět'ová – zapůsobí při zmenšení proudu ve vinutí elektromagnetu – kotva odpadne- vypne (nesmí dovolit zap. obvod pokud U nedosáhne min 75% U_n)

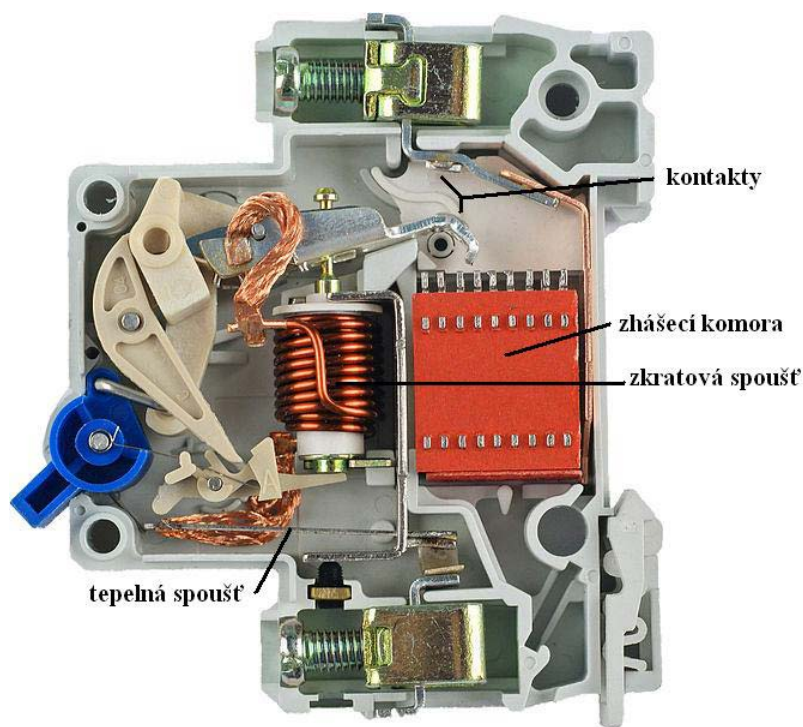
Vypínací charakteristiky



P1

Řez malým jističem nn





Charakteristiky jističe

- **charakteristika B** - jištění obvodů, které nezpůsobují proudové rázy, domovní rozvody
- **charakteristika C** - jištění obvodů, které způsobují běžné proudové rázy, všeobecné použití
- **charakteristika D** - jištění obvodů s velkými proudovými rázy, motory, transformátory
- **charakteristika Z** - elektronické obvody
- **charakteristika MA** - nemá ochranu proti přetížení, ochrana motorů a transformátorů

Podmínky pro působení jističe

Tepelná spoušť B, C, D

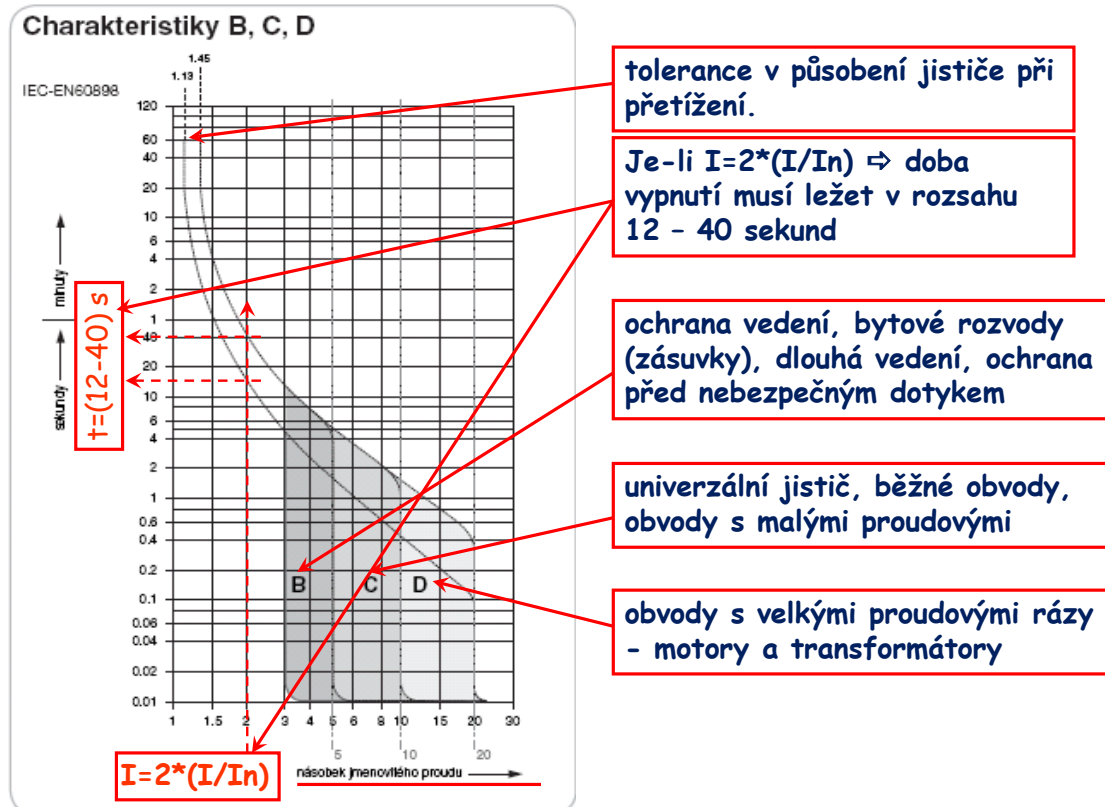
- ☺ pro $I < 1,13I_n$ - jistič nesmí vypnout ($t > 1$ hod.)
- ☺ pro $I > 1,45I_n$ - jistič musí vypnout ($t < 1$ hod.)

Tepelná spoušť Z

- ☺ pro $I < 1,05I_n$ - jistič nesmí vypnout ($t > 2$ hod.)
- ☺ pro $I > 1,2I_n$ - jistič musí vypnout ($t < 1$ hod.)

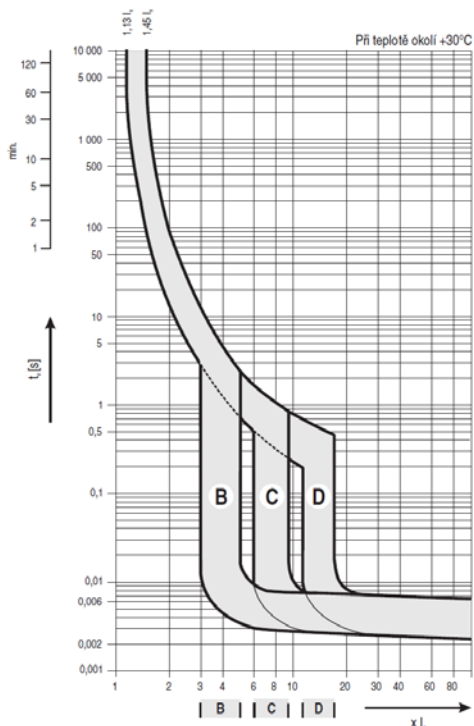
Zkratová spoušť (může se lišit podle výrobce)

- ☺ charakteristika B - (3 - 5) I_n
- ☺ charakteristika C - (5 - 10) I_n
- ☺ charakteristika D - (10 - 15) I_n
- ☺ charakteristika Z - (2 - 3) I_n

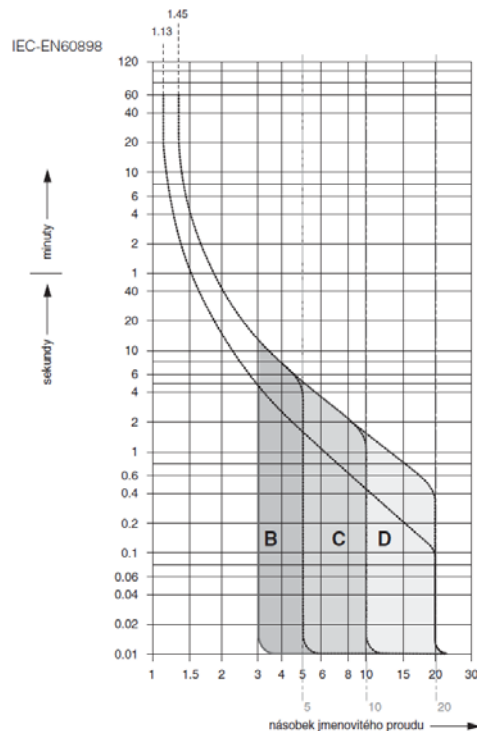


K1

Jistič LPN do 63 A, 6kA, výrobce OEZ Letohrad



Instalační jistič ABB



Ukázky jističů



OEZ Letohrad
LPE
 $I_{cu}=6 \text{ kA}$



Eaton (Moeller)
PL7
 $I_{cu}=10 \text{ kA}$



Schneider Electric
C60L
 $I_{cu}=25 \text{ kA}$

Příslušenství C60 (Schneider Electric)



Instalační jističe - závěr



Jak můžeme definovat funkci jističe ?

Jistič je přístroj, který je schopen zapnout a vypnout obvod bez ohledu na velikost proudu až do své mezní vypínací schopnosti I_{cu} .

Funkce jističe:

- * ochrana obvodů proti zkratu a přetížení
- * ovládání při normálních stavech
- * ochrana osob před nebezpečných dotykem



Výkonové jističe nízkého napětí

Využití výkonových jističů

- * hlavní jištění v průmyslových rozvodech
- * jištění spotřebičů velkých výkonů
- * jištění obvodů s velkými zkratovými proudy
- * jištění s požadavkem přesného nastavení vypínací charakteristiky (selektivita, ...)

Požadavky na výkonové jističe

- * vysoká vypínací schopnost
- * velké jmenovité proudy
- * spolehlivost
- * selektivita

Základní pojmy a parametry

U_e - jmenovité napětí (V)

I_n - jmenovitý proud (A)

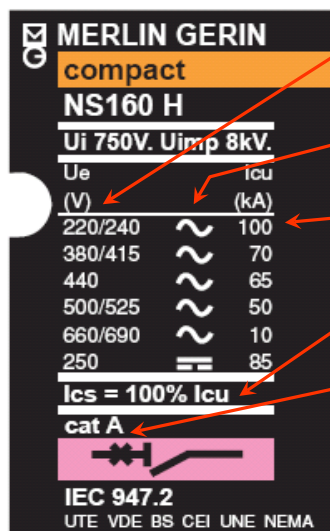
I_{cu} - jmenovitá mezní vypínací schopnost (kA)

⇒ je nejvyšší hodnota zkratového proudu, který je jistič schopen vypnout. Po vypnutí se mohou zhoršit některé parametry jističe.

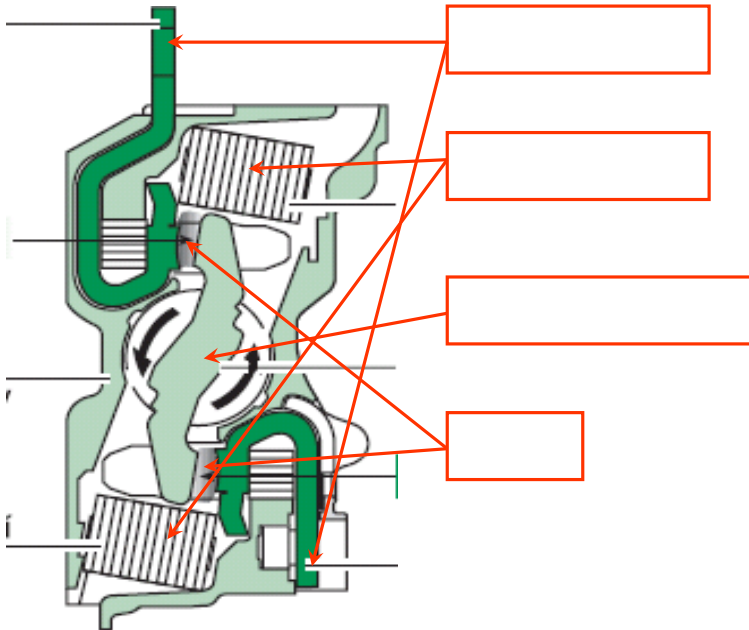
I_{cs} - jmenovitá provozní vypínací schopnost (%)

⇒ udává se v % I_{cu} . Jistič je schopen vypnout daný proud opakovaně.

Štítek výkonového jističe (příklad)

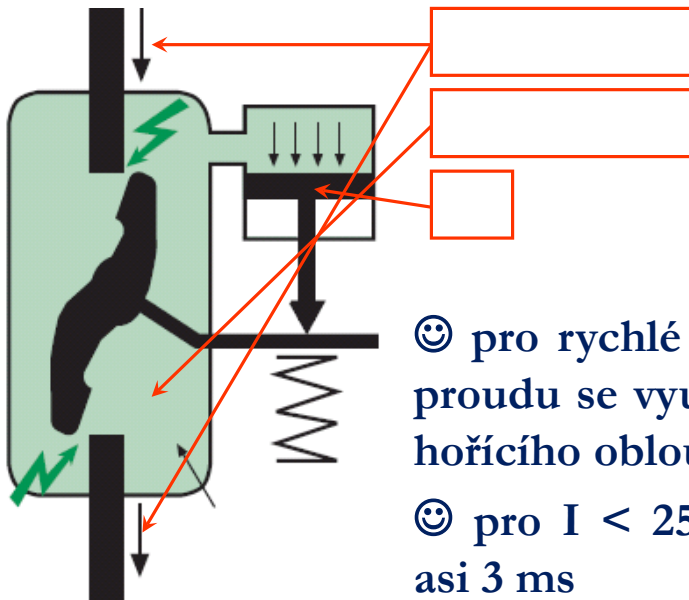


Vypínací komora (příklad)



K1

Princip zhášení



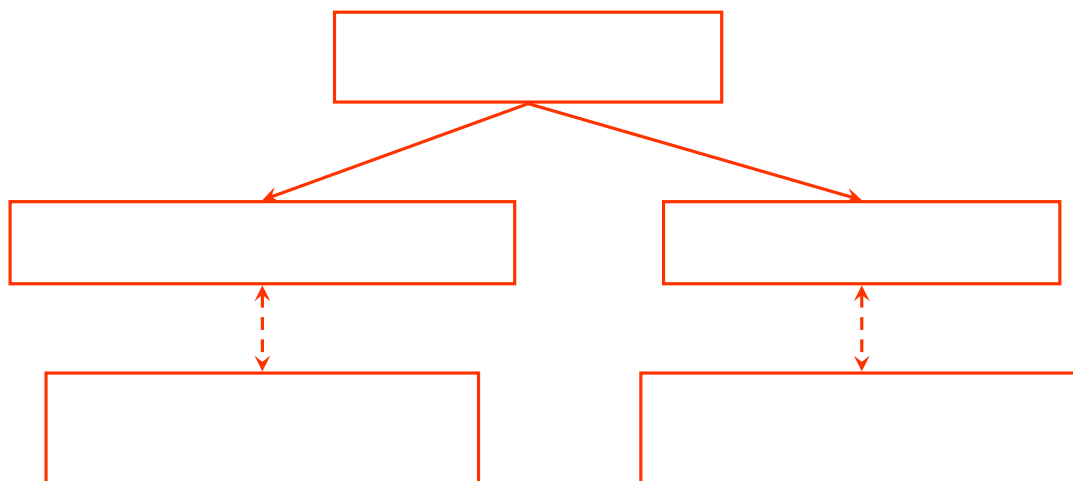
☺ pro rychlé vypnutí a omezení proudu se využívá energie plynů hořícího oblouku.

☺ pro $I < 25I_n$ je doba vypnutí asi 3 ms

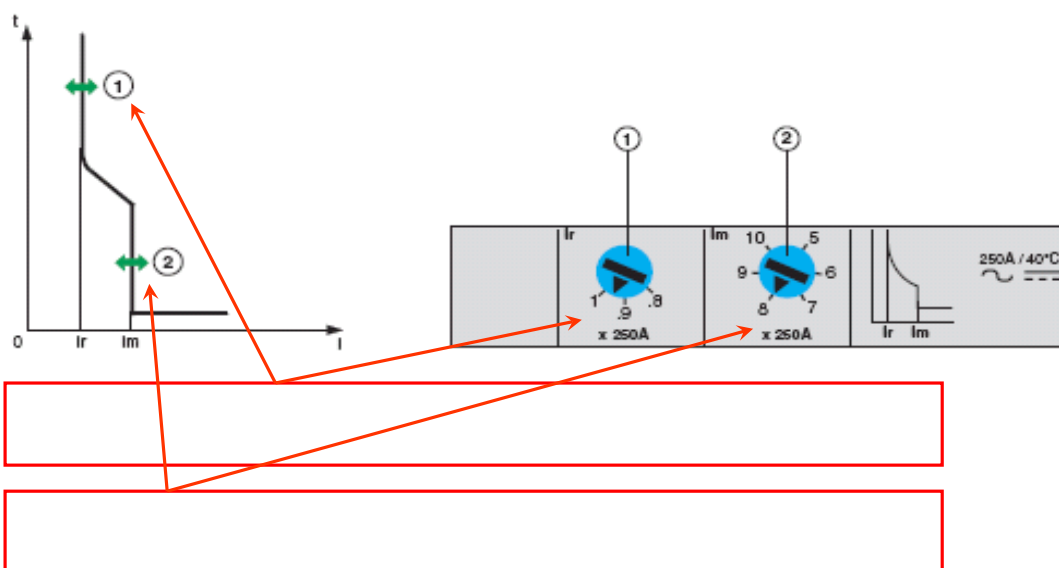
☺ pro větší proudy zhruba 1 ms.

Jednotka spouští

Jednotka spouští je zpravidla samostatný blok, který se připevní do tělesa jističe.

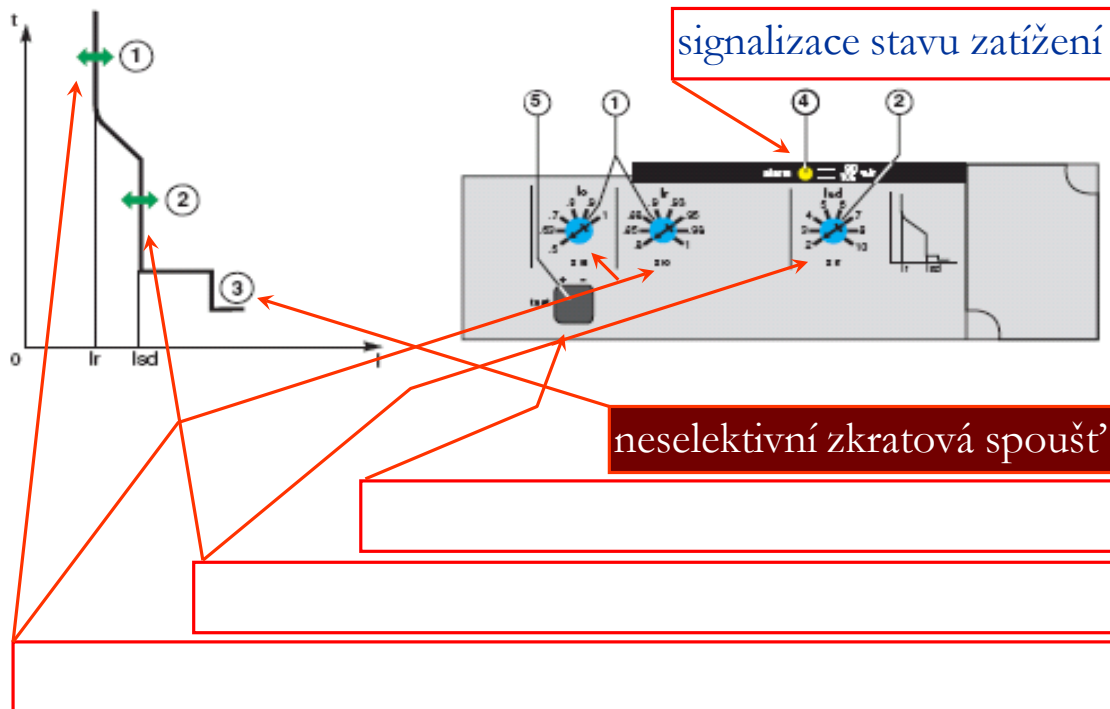


Elektromagnetická spoušť

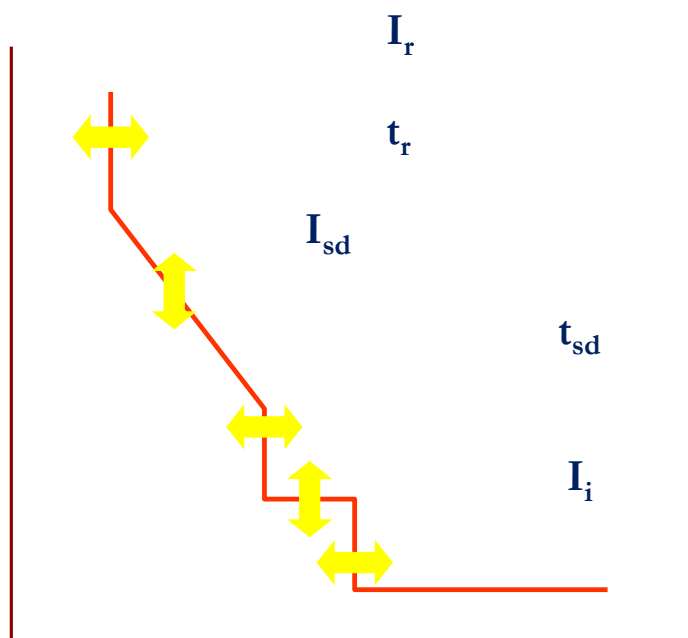


Použití – jednodušší a méně náročné aplikace

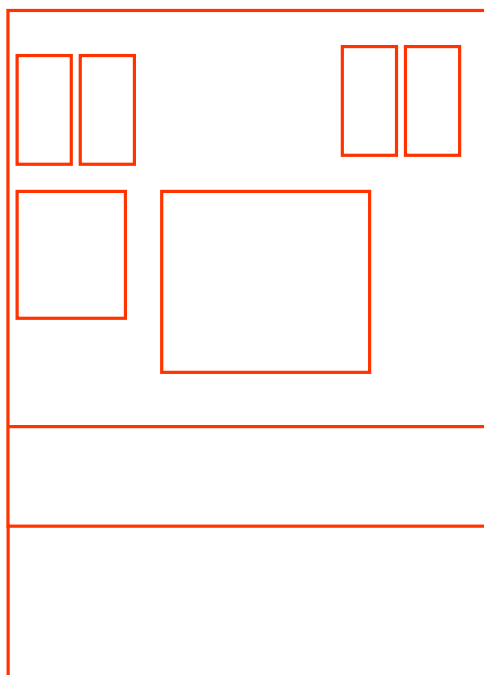
Elektronická spoušť



Plně nastavitelná spoušť



Příslušenství výkonových jističů



Pomocné kontakty

OF * indikuje polohu hlavních kontaktů

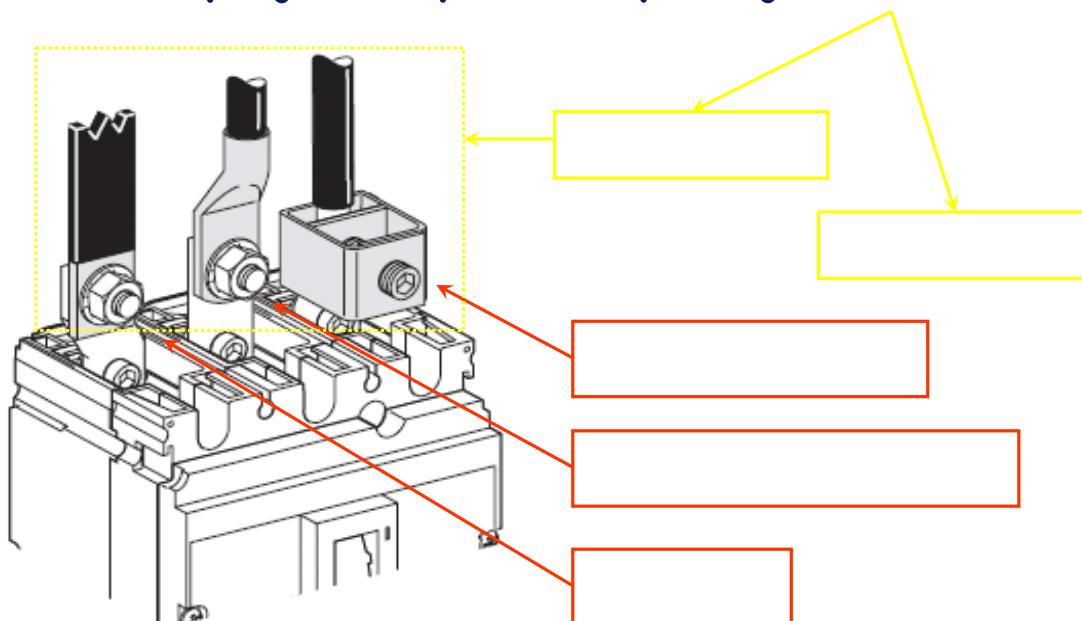
SD * indikuje vypnutí jističe poruchou
* dálkové vypnutí

SDE * indikuje vypnutí jističe poruchou

Dálkové ovládání

MN/MX - dálkové vypnutí jističe ovládacím obvodem podpětím (MN) nebo napětovým impulsem (MX)

Připojení výkonových jističů



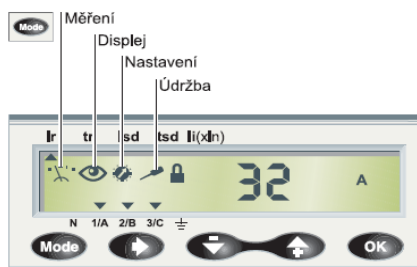
Příklad jističe - Compact NSX



Compact NSX100/160/250.



Compact NSX400/630.



Menu jednotky spouští.



Zobrazení přerušeného proudu při poruše.

Systém vypínání

- princip

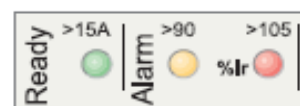
Jednotka

spouští -

přípevnění

Signalizace

Na čelním panelu



Příklad jističe - Compact NSX

Jističe			NSX100				NSX160				NSX250			
Výkonnost			F	H	S	L	F	H	S	L	F	H	S	L
Elektrické charakteristiky podle EN 60947-2 (ČSN EN 60947-2)														
Jmenovitý proud (A)			100				160				250			
Počet pólů			3, 4				3, 4				3, 4			
Maximální vypínací schopnost (kA ef.)														
Isu			AC 50/60 Hz				AC 50/60 Hz				AC 50/60 Hz			
220/240 V			85	100	120	150	85	100	120	150	85	100	120	150
380/415 V			36	70	100	160	36	70	100	160	36	70	100	160
440 V			35	65	90	130	35	65	90	130	35	65	90	130
500 V			25	50	65	70	30	50	65	70	30	50	65	70
525 V			22	35	40	50	22	35	40	50	22	35	40	50
660/690 V			8	10	15	20	8	10	15	20	8	10	15	20
Provozní vypínací schopnost (kA ef.)														
Isos			AC 50/60 Hz				AC 50/60 Hz				AC 50/60 Hz			
220/240 V			85	100	120	150	85	100	120	150	85	100	120	150
380/415 V			36	70	100	160	36	70	100	160	36	70	100	160
440 V			35	65	90	130	35	65	90	130	35	65	90	130
500 V			12,5	50	65	70	30	50	65	70	30	50	65	70
525 V			11	35	40	50	22	35	40	50	22	35	40	50
660/690 V			4	10	15	20	8	10	15	20	8	10	15	20
Trvanlivost (cyklů C-O)														
Mechanická			50000				40000				20000			
Elektrická			440 V				20000				20000			
			480 V				10000				10000			
			690 V				15000				10000			
			In				7500				5000			
Elektrické charakteristiky podle normy Nema AB1														
Vypínací schopnost (kA ef.)			AC 50/60 Hz				AC 50/60 Hz				AC 50/60 Hz			
240 V			85	100	120	150	85	100	120	150	85	100	120	150
480 V			35	65	90	130	35	65	90	130	35	65	90	130
690 V			8	35	40	50	20	35	40	50	20	35	40	50
Elektrické charakteristiky podle normy UL508														
Vypínací schopnost (kA ef.)			AC 50/60 Hz				AC 50/60 Hz				AC 50/60 Hz			
240 V			85	85	–	–	85	85	–	–	85	85	–	–
480 V			25	65	–	–	35	65	–	–	35	65	–	–
690 V			10	10	–	–	10	10	–	–	15	15	–	–
Ochrany a měření														
Zkratová ochrana			Pouze magnetická				Pouze magnetická				Pouze magnetická			
Spouštění na přetížení / zkratová			Termomagnetická				Termomagnetická				Termomagnetická			
Elektronická			Elektronická				Elektronická				Elektronická			
Ochrana v neutrálu (CIR-0,5-1-05N)			Ochrana v neutrálu (CIR-0,5-1-05N)				Ochrana v neutrálu (CIR-0,5-1-05N)				Ochrana v neutrálu (CIR-0,5-1-05N)			
Zemní ochrana			Zemní ochrana				Zemní ochrana				Zemní ochrana			
Selektivita zónovým blokováním (ZSB)			Selektivita zónovým blokováním (ZSB)				Selektivita zónovým blokováním (ZSB)				Selektivita zónovým blokováním (ZSB)			
Číslo / měření I, U, I, P, E, THD / měření plurifázového proudu			Číslo / měření I, U, I, P, E, THD / měření plurifázového proudu				Číslo / měření I, U, I, P, E, THD / měření plurifázového proudu				Číslo / měření I, U, I, P, E, THD / měření plurifázového proudu			
Číslo / měření I, U, I, P, E, THD / měření plurifázového proudu			Číslo / měření I, U, I, P, E, THD / měření plurifázového proudu				Číslo / měření I, U, I, P, E, THD / měření plurifázového proudu				Číslo / měření I, U, I, P, E, THD / měření plurifázového proudu			
Podpora provozních funkcí			Podpora provozních funkcí				Podpora provozních funkcí				Podpora provozních funkcí			
Počet fází			Počet fází				Počet fází				Počet fází			
Historie a alarmy			Historie a alarmy				Historie a alarmy				Historie a alarmy			
Dálkový přenos naměřených hodnot			Dálkový přenos naměřených hodnot				Dálkový přenos naměřených hodnot				Dálkový přenos naměřených hodnot			
Dálkový přenos stavu / dálkové ovládání přístroje			Dálkový přenos stavu / dálkové ovládání přístroje				Dálkový přenos stavu / dálkové ovládání přístroje				Dálkový přenos stavu / dálkové ovládání přístroje			
Pomocí Vigi modulu			Pomocí Vigi modulu				Pomocí Vigi modulu				Pomocí Vigi modulu			
Pomocí relé VigiMax			Pomocí relé VigiMax				Pomocí relé VigiMax				Pomocí relé VigiMax			
Zemní ochrana			Zemní ochrana				Zemní ochrana				Zemní ochrana			

Ukázky výkonových jističů

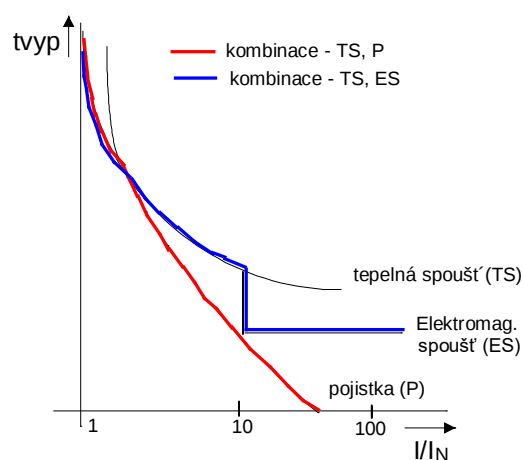


Přiřazování jistících přístrojů

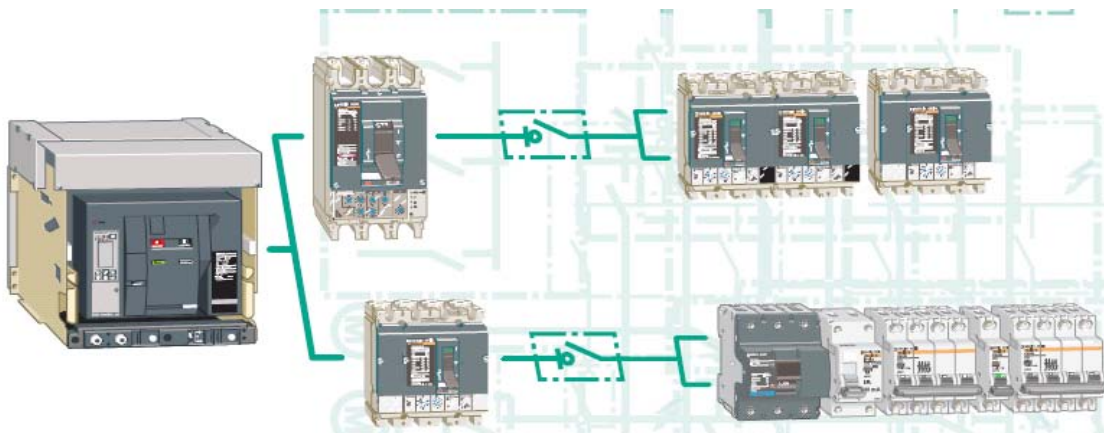
- Při kombinaci jistících prvků se v dané oblasti uplatní vždy ten, který vybavuje dříve než ostatní

Selektivita jištění

- velikost pojistek a spouští jističů se musí volit tak, aby se odpojila jen část zařízení s poruchou



Selektivita v obvodech nízkého napětí



Co je to selektivita ?

Selektivita je taková koordinace pracovních charakteristik jistících přístrojů v sérii, při které v případě poruchy vypne pouze nejbližše umístěný jistící přístroj nad místem poruchy.

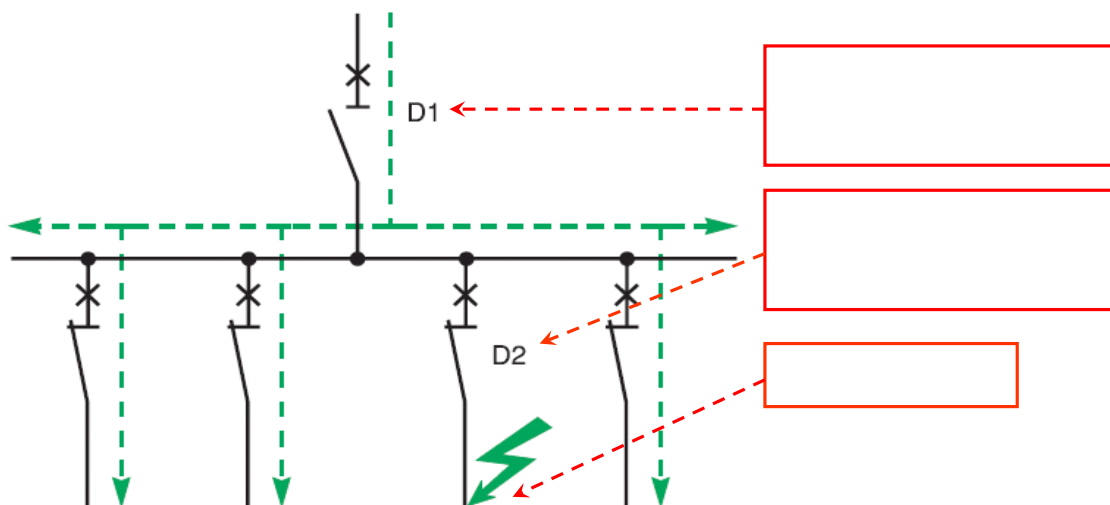
ÚPLNÁ

v plném rozsahu
zkratových proudů

ČÁSTEČNÁ

v omezeném rozsahu zkratových
proudů – mez selektivity

Příklad selektivity



Obvod je selektivní, jestliže přístroj D2 vypne a přístroj D1 zůstane sepnut.

selektivita

Selektivita jisticích přístrojů je klíčovou podmínkou pro zajištění plynulosti napájení.

Selektivita je:

☐ částečná

☐ úplná

v závislosti na charakteristikách spolupracujících jisticích přístrojů.

Podle použitého technického řešení

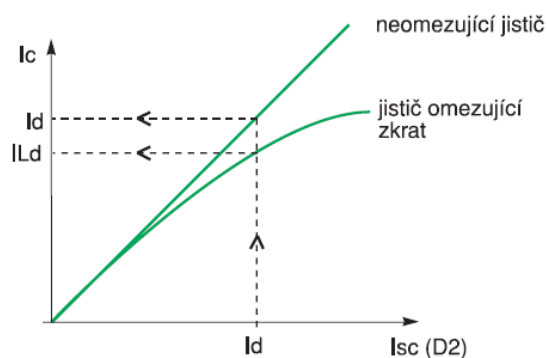
může být selektivita:

☐ proudová

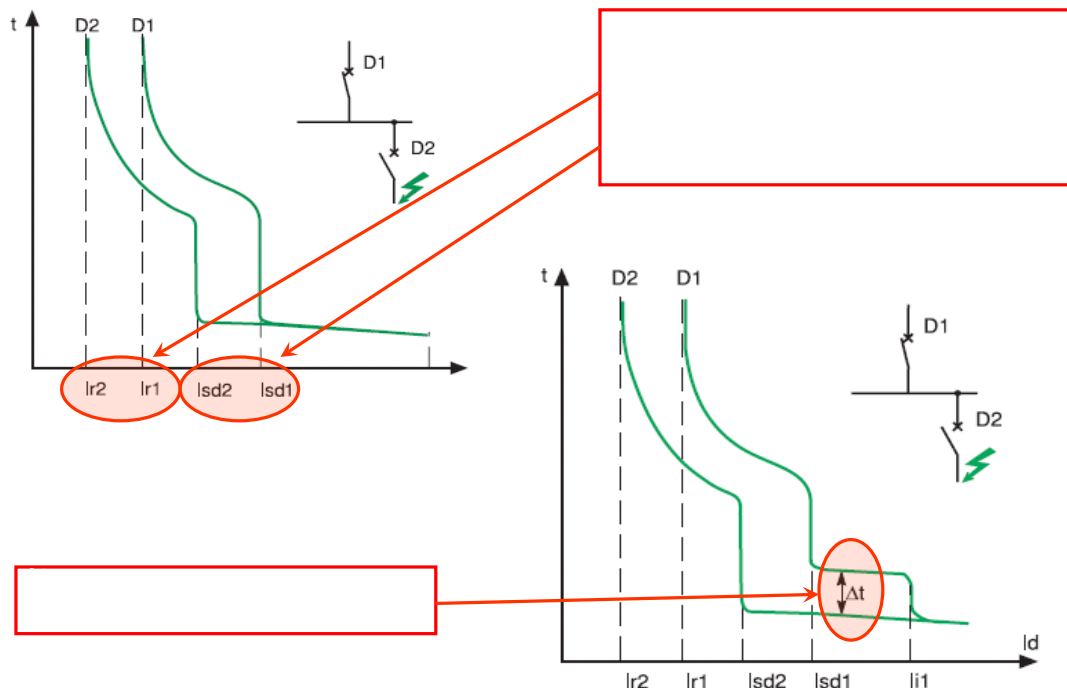
☐ časová

☐ logická

Selektivitu je možno zlepšit, má-li přiřazený jistič omezovací schopnost.



Jak dosáhnout selektivity ?



Jak dosáhnout selektivity ?

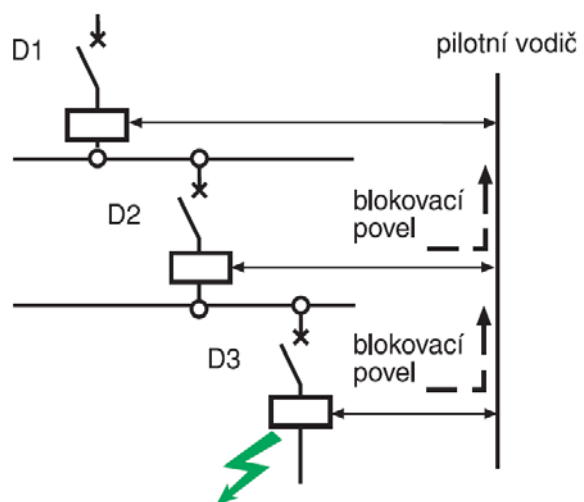
Logická selektivita - je vždy plně selektivní, ale drahá. Je výhodná při současném požadavku na zálohování jištění.

Logická selektivita

Tento druh selektivity je možno použít u jističů vybavených speciálně konstruovanými jednotkami spouští **Nastavení jističů v systému logické selektivity**

t časové zpoždění: pro nastavení nejsou žádná přesná pravidla, ale použité časové odstupňování, musí být: ($tD1 \geq tD2 \geq tD3$)

t nastavení proudu: pro nastavení nejsou žádná přesná pravidla, ale je nutno dodržet přirozené odstupňování dané velikostí jističů ($I_{rD1} \geq I_{rD2} \geq I_{rD3}$).



Jak dosáhnout selektivity ?

Energetická selektivita

- pro její určení nelze využít běžné vypínací charakteristiky
- přiřazený prvek nesmí propustit takovou energii, která by vybavila předřazený prvek
 - selektivita se určuje podle specifických charakteristik a ověřuje se pomocí zkoušek
- má význam pro velké zkratové proudy a v důležitých provozech (elektrárny ...)

K1

Kaskádování (neboli záložní ochrana)

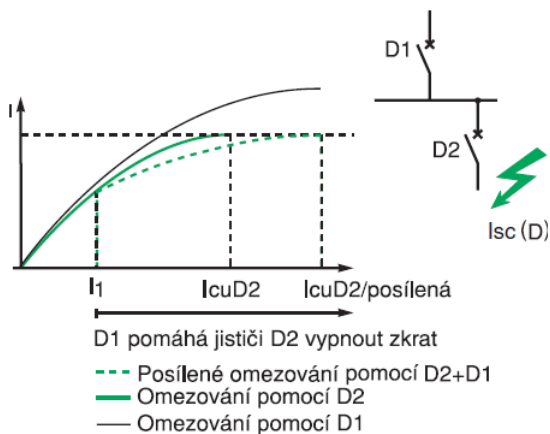
- „zvyšuje“ vypínací schopnost jističe, který je umístěn za omezujícím jističem. Předřazený omezující jistič omezuje vysoké zkratové proudy a tím pomáhá přiřazenému jističi vypínat zkraty. Při kaskádovém řazení je možno použít jističe s menší vypínací schopností, než by odpovídala vypočteným zkratovým proudům v místě instalace jističů.

Kaskádování

Spolupráce jističů D1 a D2 pomáhá zvýšit výkonnost jističe D2, jak je patrné z obrázku:

- omezovací charakteristika D2
- posílená omezovací charakteristika D2 spoluprací D1
- I_{cu} D2 zvýšená spoluprací D1.

Pro praktické užití a v souladu s doporučením IEC 60947-2 udávají výrobci zaručenou posílenou vypínací schopnost I_{cu} při spolupráci D1+D2.

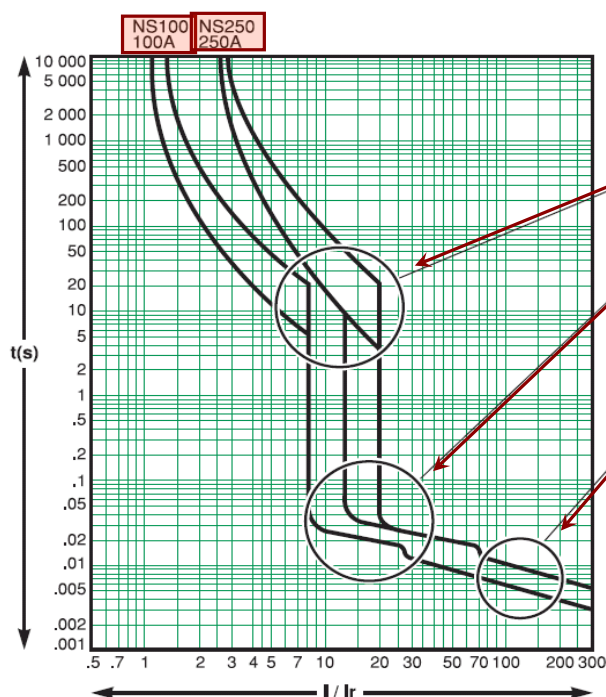


Kaskádování

Předřazený Vypínací schopnost (kA ef.)	NS100N 85	NS100H 100	NS100L 150	NS160N 85	NS160H 100	NS160L 150
Přiřazený	Vypínací schopnost (kA ef.)					
C60N	40	100	100	40	60	60
C60H	50	100	100	50	80	80
C60L ≤ 25 A	65	100	100	65	80	80
C60L ≤ 40 A	65	100	100	65	80	80
C60L ≤ 63 A	65	100	100	65	80	80
P25M ≥ 14 A	85	100	100	85	100	100
C120H	40	50	70	40	50	70
NG125N	60	70	85	60	70	85
NG125L/LMA			150			150
NS80HMA			150			150
NS100N		100	150		100	150
NS100H			150			150
NS160N					100	150
NS160H						150

K1

Zhodnocení - příklad: jističe Compact



PROUDOVÁ SELEKTIVITA

je zajištěna příslušným
odstupňováním proudové
ochrany proti přetížení $\geq 1,6$

ČASOVÁ SELEKTIVITA

je zajištěna zpožděním
předřazeného jističe $\geq 1,5$
(malé zkratové proudy).

ENERGETICKÁ SELEKTIVITA

je zajištěna omezovací
schopností přiřazeného jisticího
prvku – $(I1/I2) \geq 2$
(velké zkratové proudy).

K1

Tabulky selektivity

Přiřazený	Předřazený In (A) Nastavení Ir	NS100N/H/L Jednotka TM-D								NS160N/H/L Jednotka TM-D			
		16	25	32	40	50	63	80	100	80	100	125	160
C60N Charakteristiky B, C, D	≤ 10	0.19	0.3	0.4	0.5	0.5	0.5	0.63	0.8	T	T	T	T
	16		0.3	0.4	0.5	0.5	0.5	0.63	0.8	T	T	T	T
	20			0.4	0.5	0.5	0.5	0.63	0.8	T	T	T	T
	25			0.4	0.5	0.5	0.5	0.63	0.8	T	T	T	T
	32				0.5	0.5	0.5	0.63	0.8	T	T	T	T

Chrániče

- Užívají stejného mechanismu jako jističe, liší se spouští. Rozlišujeme:

Napětový chránič

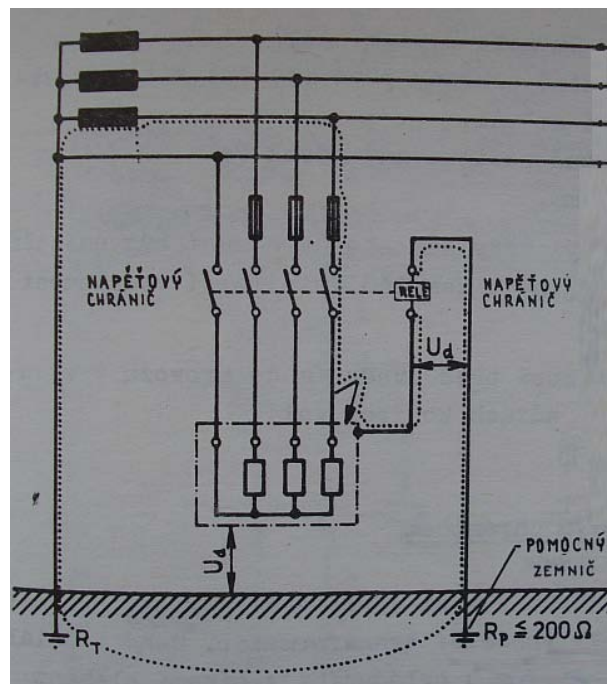
- Používá se v sítích s uzemněným uzlem. Při překročení dovoleného dotykového napětí chránič vypíná všechny vodiče (i nulový), které jsou přivedeny ke spotřebiči. Spotřebič musí být uložen izolovaně

Proudový chránič

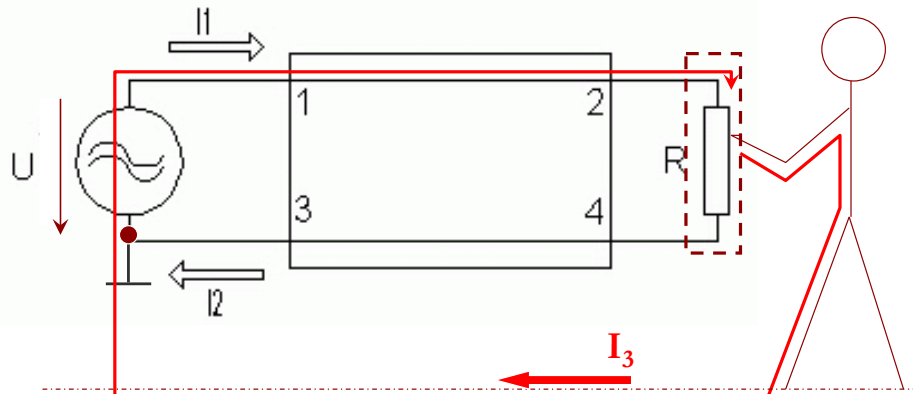
- Princip funkce spočívá v odpojení zařízení, přestoupí-li poruchový proud dovolenou mezní hodnotu

Napětový chránič

- Spoušť je v podstatě tvořena cívkou zapojenou mezi chráněnou neživou částí a kontrolním uzemnění.
- Je velmi citlivá, cívka elektromagnetu spouští vypínací mechanismus při napětí 24V.
- Pomocný zemnič max. 200Ω (musí být samostatný, min 15m od jiných zemniců)
- Chránič vypíná všechny vodiče jdoucí ke spotřebiči
- Musí být vybaven zařízením, kterým se pravidelně kontroluje činnost spouště
- Cívka se nesmí přemostit (svod chrániče, chráničový vodič a chráněné zařízení uloženo izolovaně)



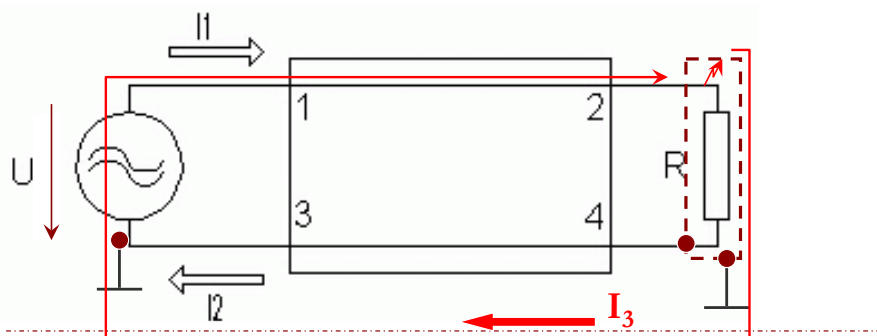
Princip chrániče - živé části



Za normálního stavu platí

V případě dotyku na živou část se uzavře přes zem rozdílový proud neplatí Proudový chránič tento rozdíl vyhodnotí a odpojí obvod v dostatečně rychlém čase.

Princip chrániče - neživé části

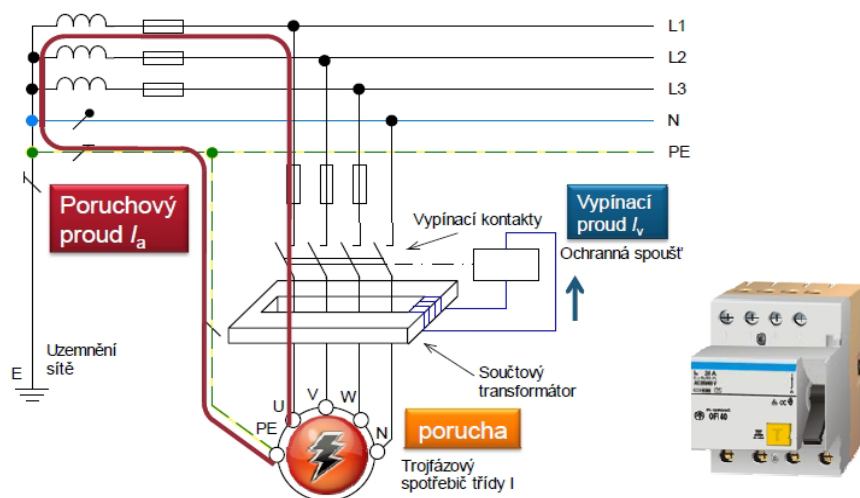


Za normálního stavu platí

V případě průrazu na neživou část se uzavře přes zem (ochranný vodič) rozdílový proud neplatí Proudový chránič tento rozdíl vyhodnotí a odpojí obvod v dostatečně rychlém čase.

Proudový chránič v síti TN-S

- Chráničem musí procházet všechny pracovní vodiče
- Citlivost (I_v) je jednotky až desítky mA
- Vypínací čas kolem 10ms
- Nejistí před nadproudy (přetížení, zkrat)



Pokud použijeme v síti TT (ochrana zemněním) musí mít spotřebič dobré uzemnění $R \leq U_d / I_v$ kde U_d - trvalé dovolené dotykové napětí, I_v – vybavovací proud.

Základní parametry chrániče

$I_{\Delta n}$ -

* chránič musí vypnout za stanovených podmínek

I_n -

* maximální proud, který může chráničem trvale procházet a který může chránič vypnout

I_{nc} -

* maximální proud, který může chráničem procházet

$I_{nc} = 10 \text{ kA}$

Typy proudového chrániče

AC -

* klasické střídavé sítě

– označení



A -

* spotřebiče s elektronickou regulací

- označ



G -

* zpoždění při vypnutí – 10 ms

- označení –



S -

* zpoždění při vypnutí – 40 ms

- označení -



Obvyklé vypínací časy

Pozn.

- u nových typů chráničů jsou zpravidla vypínací doby kratší
- vypínací doby chráničů je třeba pravidelně kontrolovat

Provedení proudových chráničů

Charakteristické hodnoty

jmenovité napětí U_n (1)

jmenovitý proud I_n (2)

může chráničem protékat trvale

jmenovitý reziduální proud $I_{\Delta n}$

(3) při jeho dosažení chránič

vypíná bývá často 10 nebo 30

mA, kdy již může dobře ochránit

člověka

jmenovitý zkratový proud I_m (4)

- chránič ho musí snést v

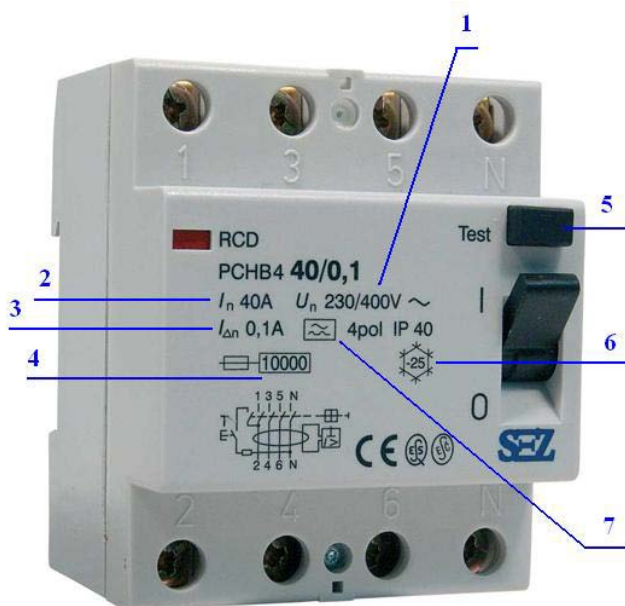
zapnutém stavu (vypíná však

jisticí prvek)

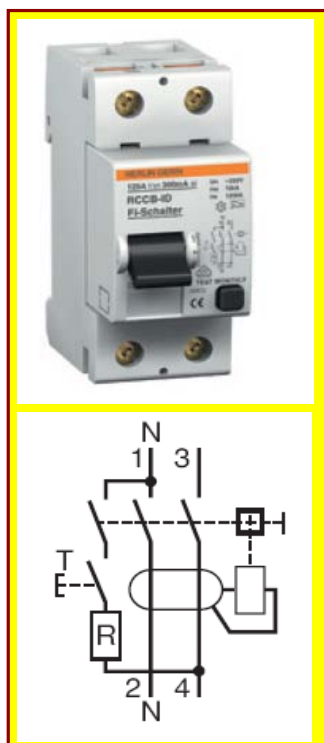
tlačítko pro kontrolu funkce (5)

minimální teplota okolí (6)

typ proudového chrániče (7) – A

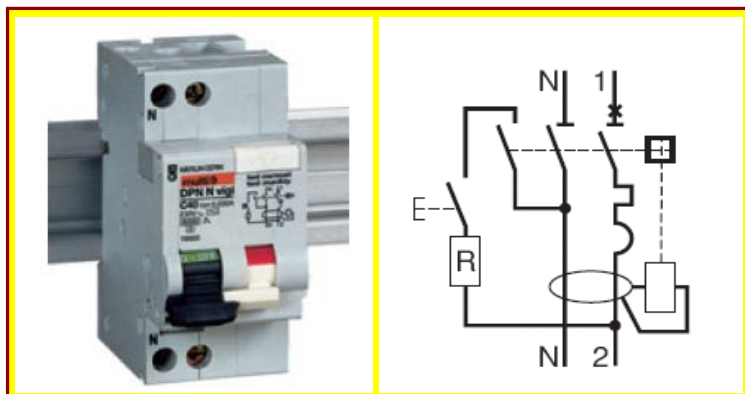


Provedení proudových chráničů

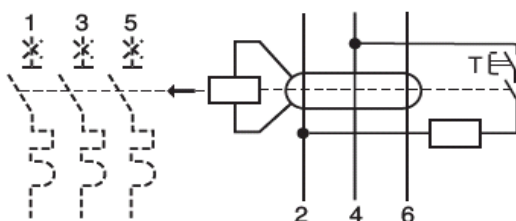


**Samostatný proudový chránič
pro pevnou montáž**

Kombinovaný proudový chránič

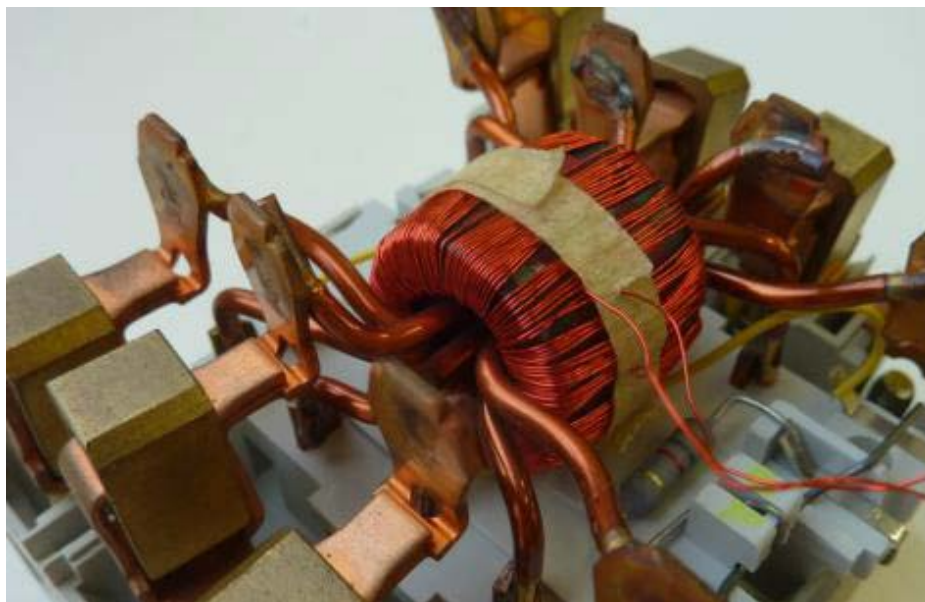


Provedení proudových chráničů

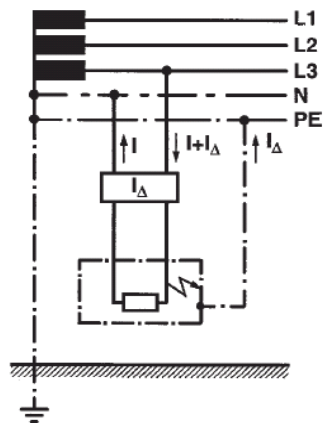


Chráničové spouště
(pro spojení s jističem)

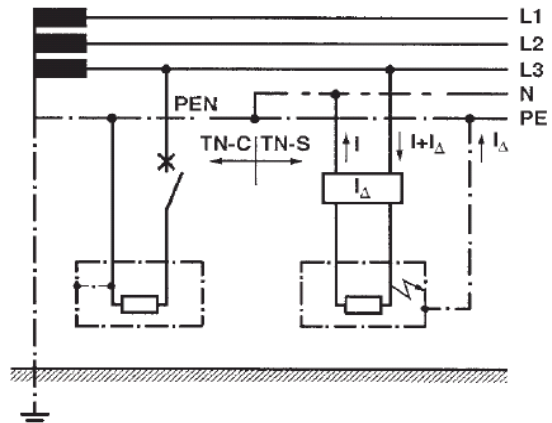
Diferenciální transformátor



Praktická zapojení

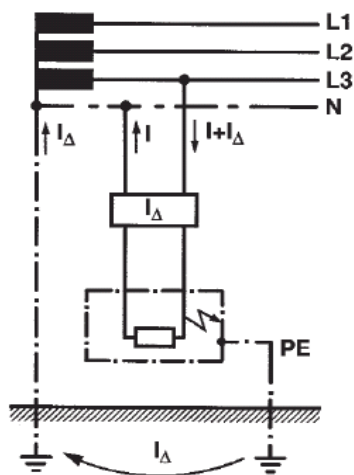


TN-S system

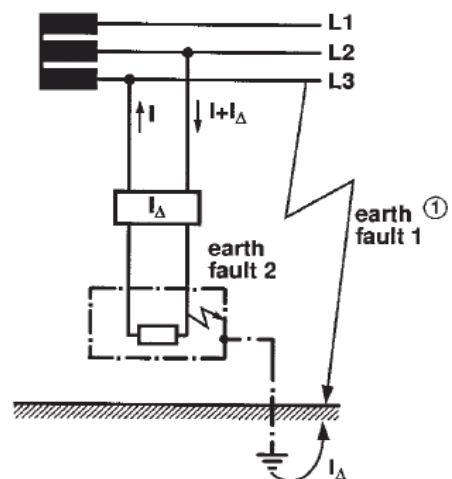


TN-C-S system

Praktická zapojení



TT system



① only indicated by line isolation monitor

IT system

Svodiče přepětí

- Přepětí je jakékoliv napětí vyšší než amplituda tzv. nejvyššího napětí soustavy U_{nej} , což je hodnota přiřazená ke jmenovitému napětí U_n (tabulka).

U_n [kV]	6	10	22	35	110	220	400
U_{nej} [kV]	7,2	12	25	38	123	245	420

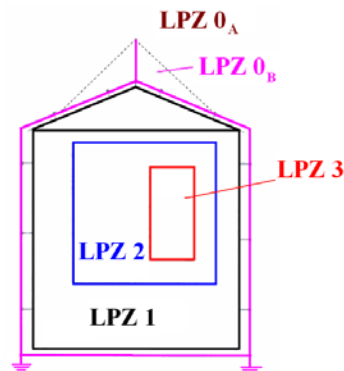
- Přepětí může být :
 - Atmosférické – (atmosférický výboj)
 - Provozní – (např. vypínání malých ind. proudů)
- Izolaci ohrožují zejména atm. výboje.
- Úlohou ochrany proti přepětí je
 - Omezit velikost přepětí (lze pouze u provozních např. vhodnou konstrukcí vypínače)
 - Přepětí, které izolace nezvládne na bezpečném místě svést do země. Nejnižší izolační hladinu musí mít svodič přepětí

Svodiče přepětí

- jejich úkolem je ochrana před přepětím, jsou zapojeny mezi pracovní vodiče a zem
- princip
 - v bezporuchovém stavu je impedance svodičů velmi vysoká
 - ochrana spočívá ve snížení napěťové hladiny na pracovních vodičích při přepětí na tzv. ochrannou hladinu to se provede ve svodiči krátkodobým spojením fázového (i středního) vodiče se zemí
 - přes minimální impedanci
 - výbojem (obloukem)
 - jde prakticky o zkrat, spojení se zemí musí vzniknout dostatečně rychle, aby se max. přepětí nedostalo za svodič
 - do země teče proud vyvolaný přepětím
 - po svedení přepětí do země svodičem teče tzv. následný proud vyvolaný síťovým napětím
 - následný proud a spojení se zemí musí svodič přerušit
 - přitom se obnoví původní izolační stav

Svodiče přepětí nn

- zóny ochrany před bleskem LPZ - *Lightning Protection Zone*
- LPZ 0 (venku), 1 (v budově), 2 (v místnosti), 3 (nejvyšší ochrana)
- koordinace svodičů přepětí
- při ochraně budov je nutno svodiče odstupňovat (koordinovat)
- tak se zaručí svedení větší části náboje do země a postupné snížení ochranné hladiny na potřebnou mez
- **Typy svodičů**
- **SPD typ 1 (svodič bleskových proudů)**
- o umísťuje se na rozhraní LPZ 0 a LPZ 1, tj. na vstup do budovy, kde je hlavní rozvaděč
- o svede velký impulsní proud (odvede do země nejvíc energie)
- o vykazuje však vysokou napěťovou ochrannou hladinu (např. 4 kV)



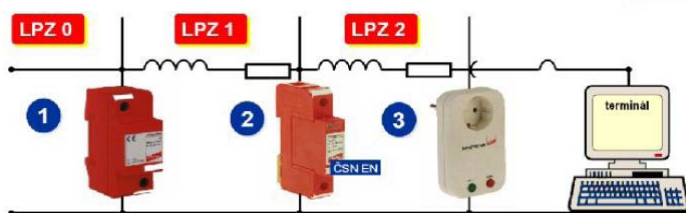
SPD typ 2

umísťuje se na rozhraní LPZ 1 a LPZ 2, např. v podružných rozvaděcích uvnitř budovy nemusí se dimenzovat na tak velký impulsní proud, mají nižší ochrannou napěťovou hladinu (2,5 kV)

pro správnou koordinaci ochran se předpokládá mezi SPD typu 1 a 2 vedení s jistou minimální indukčností (délkou), které lze nahradit přidavnou tlumivkou

SPD typ 3

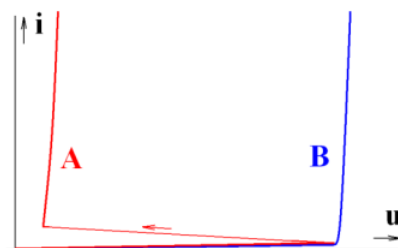
poskytuje jemnou ochranu koncových zařízení, např. zásuvkových obvodů nebo jednotlivých spotřebičů umožňuje další snížení ochranné napěťové hladiny (na 1,5 kV)



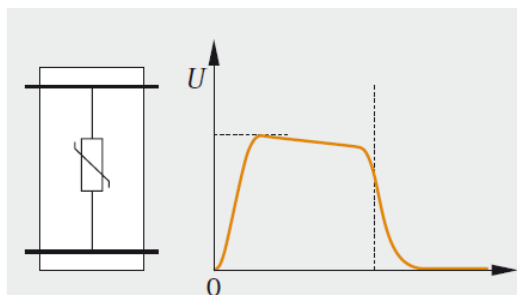
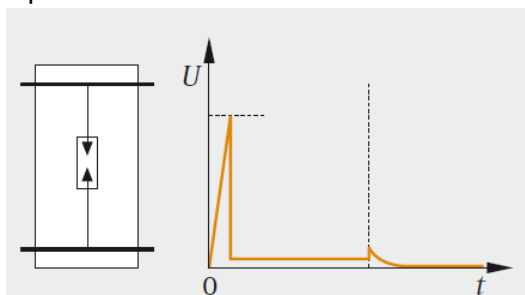
přepětěová ochrana obsahuje alespoň jeden nelineární, napěťově závislý prvek často se používá kombinace několika prvků dohromady, aby se zajistily optimální vlastnosti jsou dvě možnosti:

- o prvek spínající, např. jiskřiště, plynem plněná výbojka (bleskojistka)
- o prvek omezující napětí, například varistor nebo supresorová dioda

voltampérová charakteristika spínající prvek (A) omezující prvek (B)



časový průběh jiskřiště varistor



Jiskřiště

je tvořeno elektrodami, na kterých vzniká oblouk
ten se musí jako následný proud spolehlivě uhasit

otevřené jiskřiště - vyfukuje oblouk
zapouzdřené jiskřiště - nevyfukuje oblouk

- zhášení oblouku zplynující látkou (*vpravo*)
- jiskřiště s klouzavým výbojem
- řízené jiskřiště má pomocný zapalovací obvod, tím se zmenšuje zpoždění při zapálení

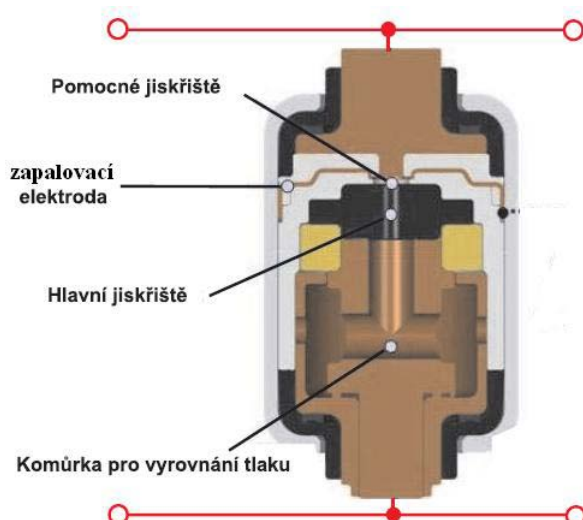
výhody:

- odolnost proti dočasným přepětím (nezapálí při nich)
- svádí velký impulsní proud

nevýhody:

- vysoká napěťová ochranná hladina
- následný proud

užití: SPD typ 1, svodič bleskových proudů. např. 50 kA, 4 kV; je vhodné předjištění pojistkou



Varistor

nelineární odpor

je tvořen hmotou - spékaným granulátem ZnO s příměsemi při častějším působení či stárnutím klesá odpor proto má tepelnou pojistku a *indikátor stavu*

moduly varistoru v přístroji mohou být výměnné

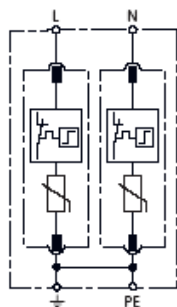
výhody:

- vysoká rychlost působení
- není problém s následnými proudy

nevýhody:

- trvalý, i když malý proud
- omezená schopnost odolat impulsním proudům
- žádná odolnost proti dočasným přepětím
- omezená životnost, kdy roste klidový proud a vzniká oteplení

užití: SPD typ 2, v kombinaci s jiskřištěm i typ 1



Plynová výbojka

uzavřené jiskřiště plněné inertním plynem se sníženým tlakem
tím se dosahuje nízkých ochranných hladin při nízkých
impulsních proudech

užití: SPD typ 3, ochrana datových sítí



Supresorová dioda

má podobné vlastnosti jako Zenerova dioda v obou směrech
je velmi rychlá

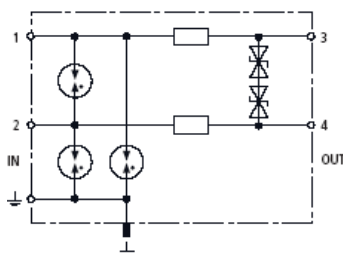
má nízkou ochrannou napěťovou hladinu, např. *desítky V*

užití: ochrana datových sítí



Kombinovaná přepětová ochrana

je tvořena několika prvky
například jiskřištěm a
varistorem nebo plynovou
výbojkou a supresorovou
diodou (*schéma*)



Svodiče přepětí vn a vvn

Koordinace izolace

Odstupňování izolačních hladin tak, aby ke
svedení přepětí došlo pokud možno na
svodičích

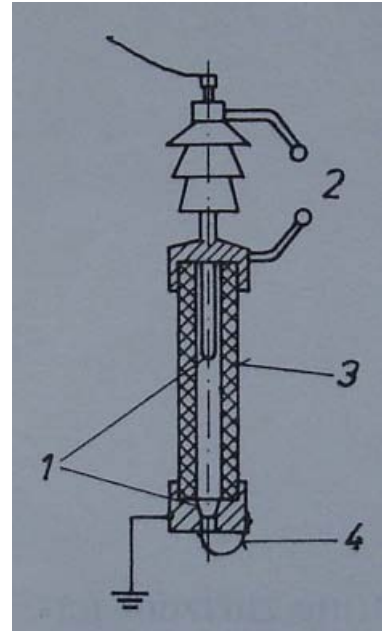
Stroje a přístroje nemají být ohroženy
nedovoleným přepětím

- 1 - svodiče přepětí – nejnižší izolační hladina
- 2 - koordinační jiskřiště - na izolátorech, průchodkách atd. ve tvaru růžků nebo kruhů; záměrně zeslabená izolační hladina sítě; při selhání svodičů na nich vzniká přeskok; zajišťují jen záložní velmi hrubou ochranu
- 3 – transformátory, spínací přístroje – nejvyšší izolační hladina



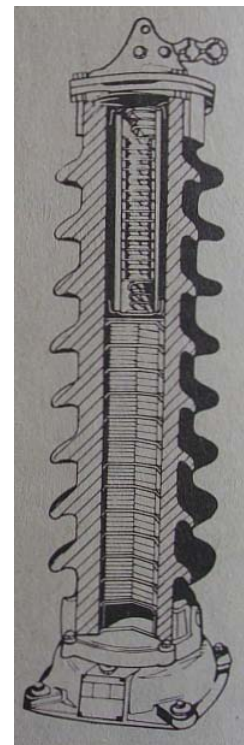
Torokova trubice – vyfukovací bleskojistka

- 1- vnitřní zhášecí jiskřiště
- 2- vnější (odpojovací) jiskřiště
- 3- plynotvorná trubice
- 4- ukazatel stavu
- Vlastní zhášecí energie. Rozkladem materiálu trubky vznikají plyny- ochlazují oblouk a při úniku dutou elektrodou v nule proudu po oslabení ionizačních procesů oblouk zhasíná. El. pevnost vnitřního prostoru trubky se zmenšuje- důvod pro vnější jiskřiště. Trubice je má na vnějším povrchu materiál s velkým odporem, které upravuje el. pole vnitřního jiskřiště



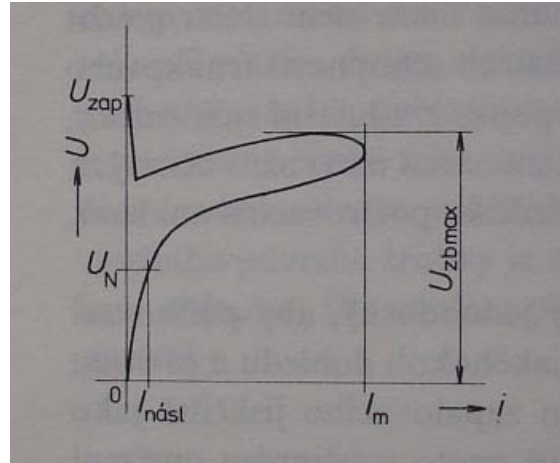
Ventilové bleskojistky

- Zastaralý typ svodiče
- Dvě aktivní části
 - Jiskřiště – (tvořeno soustavou dílčích jiskřišť zapojených v sérii)
 - Nelineární sériový odpor – varistor SiC hodnota závisí na velikosti napětí (čím vyšší U tím menší R), má tvar válečku. Jeden odporový blok vyhovuje asi na 3kV



Ventilové bleskojistky

- Po příchodu rázové vlny dovolí jiskřiště vzrůst napětí jen na hodnotu zapalovacího kdy dojde k jeho průrazu. Proud pak narůstá do hodnoty I_m , napětí se však z důvodu nelineární char. rezistoru mění jen pozvolna a narůstá na hodnotu U_{zbmax} . Při zmenšování proudu klesáme po jiné křivce (R je zahřátý). Jakmile se napětí sníží na hodnotu U_N má již odpor velkou hodnotu, takže následný proud je poměrně malý, kromě toho U a I jsou ve fázi, takže oblouk snadno zhasíná



Omezovače ZnO *surge arresters*

v současné době hlavní ochranné prvky, které vytlačily starší ventilové bleskojistky
hlavní aktivní hmota - zrna ZnO s obalem ze speciálních sloučenin označovaná jako metaloxid (MO)
jde o varistor - nelineární odpor
vyhovuje spolehlivě v oblastech spínacích i atmosférických přepětí
provedení: sloupec varistorů v pouzdře keramickém, polymerovém nebo kovovém izolovaném plynem
doplňky: pojistka proti přetlaku, počítadlo působení a indikace stavu
délka sloupce omezovače je úměrná napětí soustavy (na obr. 35 – 110 – 220 kV)
též kombinace s podpěrkou nebo závěsným izolátorem (obr.)



Elektromagnety

- Využívají silového účinku el. proudu
- Umožňují dálkové a automatické ovládání
- Rozlišujeme elektromagnety



Přidržené (přidržení feromag. materiálů)

- Břemenové (přenášení feromagnetických materiálů),
- upínací desky (upínání obrobků – po opracování demagnetizace ve střídavém mag. poli),
- elektromagnetické separátory (třídíče) (slouží k separaci materiálu podle mag. vlastností)

Ovládací (pohybem kotvy vykonávají mech. práci) např. stykače, el.mag. ventily, brzdové el.magnety

Speciální

- např. el.mag. spojka – elektrodynamická (vířivé proudy) prášková (mezi kotouči je směs oleje a Fe pilin), třecí (po přivedení proudu se obě části spojky přes třecí mezikruží spojí), lamelová

- Podle druhu proudu

stejnoseměrné $F = 4 \cdot B^2 \cdot S \cdot 10^5$

střídavé (jednofázový, trojfázový) $F = 4 \cdot B_{ef}^2 \cdot S \cdot 10^5$

Břemenový elektromagnet



Přídržný elektromagnet



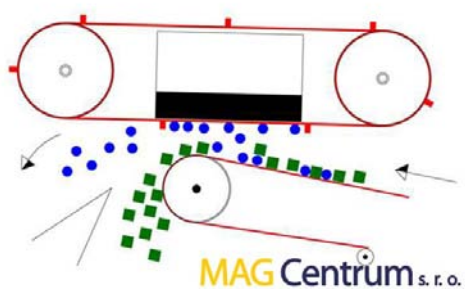
Elektromagnetická spojka



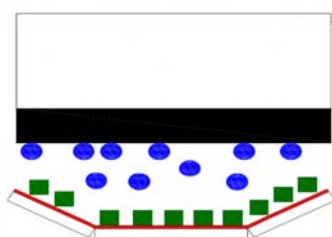
Ovládací elektromagnet

Elektromagnetické separátory

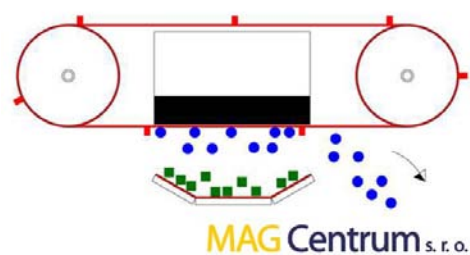
Uložení souběžně s pásem



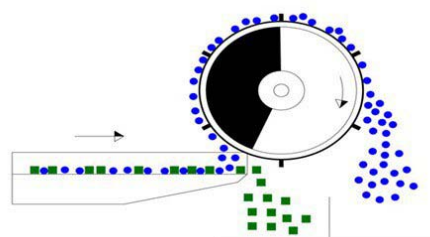
Separátor sběrací



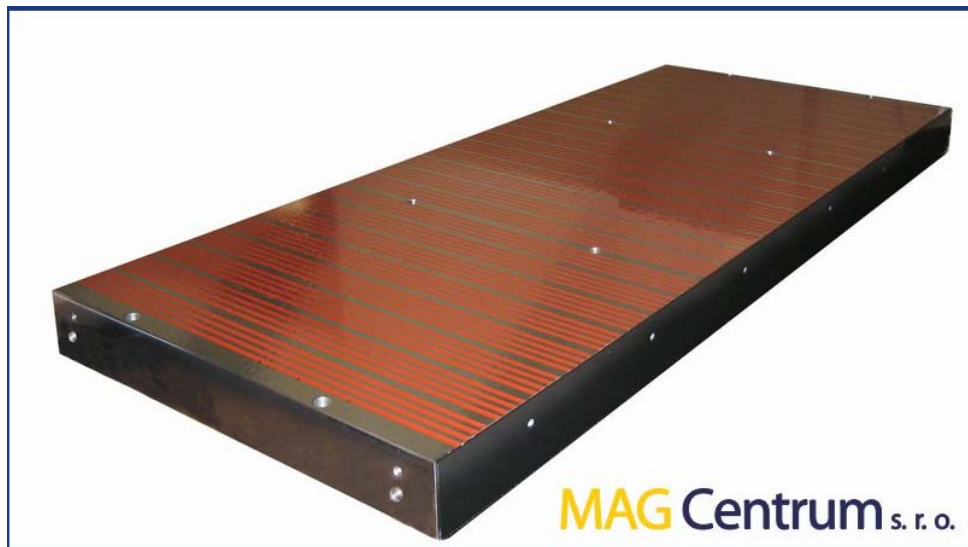
Uložení příčně s pásem



Separáčn1 buben

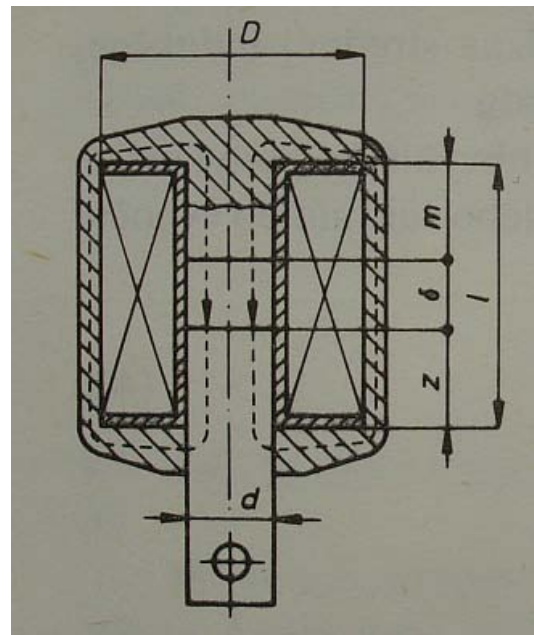


Upínací elektromagnet



Elektromagnety

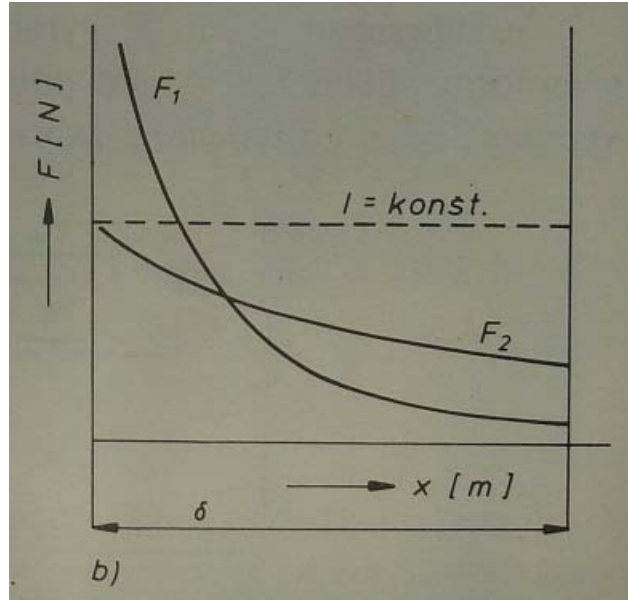
- Elektromagnet se skládá
 - Z pevného jádra
 - Pohyblivé kotvy
 - Budící cívky
- Zapojení elektromagnetů
 - Paralelní – nejobvyklejší, magnet je připojen k síti paralelně
 - Sériové – používá se jen u brzdových el.magnetů pro sériové = motory



Stejnoseměrný elektromagnet

- Proud je stálý závisí jen na činném odporu vinutí. S tím jak se kotva přitahuje klesá R_m a ϕ roste
 $\phi = (N \cdot I) / R_m$
- Ubereme-li závity tah se při stejném napětí nezmění (při snížení N klesne odpor vinutí a při stejném napětí vzroste proud $F_m = N \cdot I$ se nezmění)

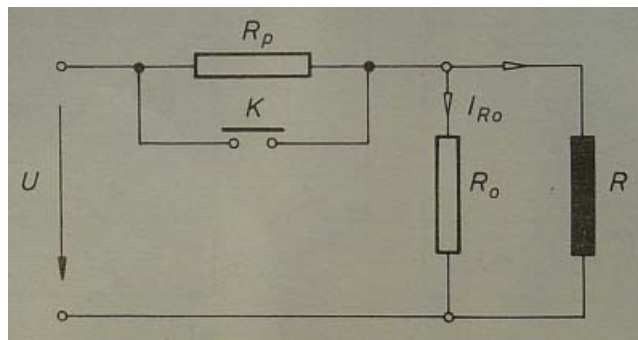
Průběh tažné síly a proudu na zdvihu



Stejnoseměrný elektromagnet

- Nadbytkem energie na konci zdvihu el.magnet trpí
- Do série s vinutím el.magnetu se zapojí předřadný odpor R_p . Připojení ovládá pomocný kontakt spojený s kotvou, který se rozpojí na konci zdvihu
- Odpor R_o slouží u větších el.magnetů k omezení přepětí při vypínání

Zapojení pro zrovnoměnění tahu el.magnetu

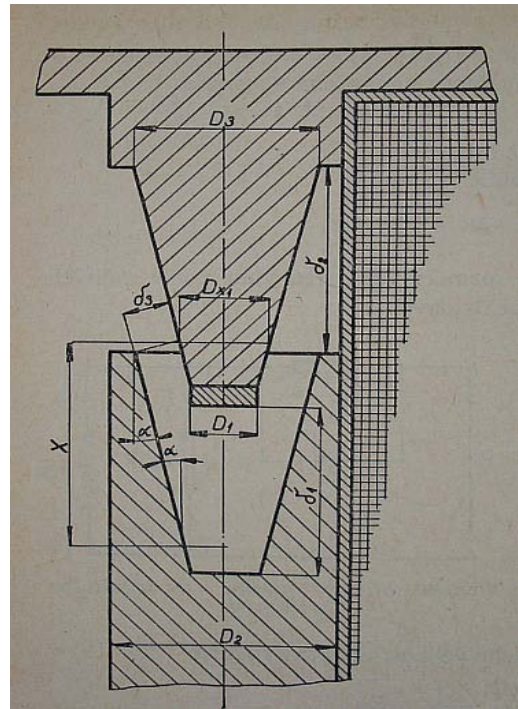


Výhodnější je dvoje vinutí

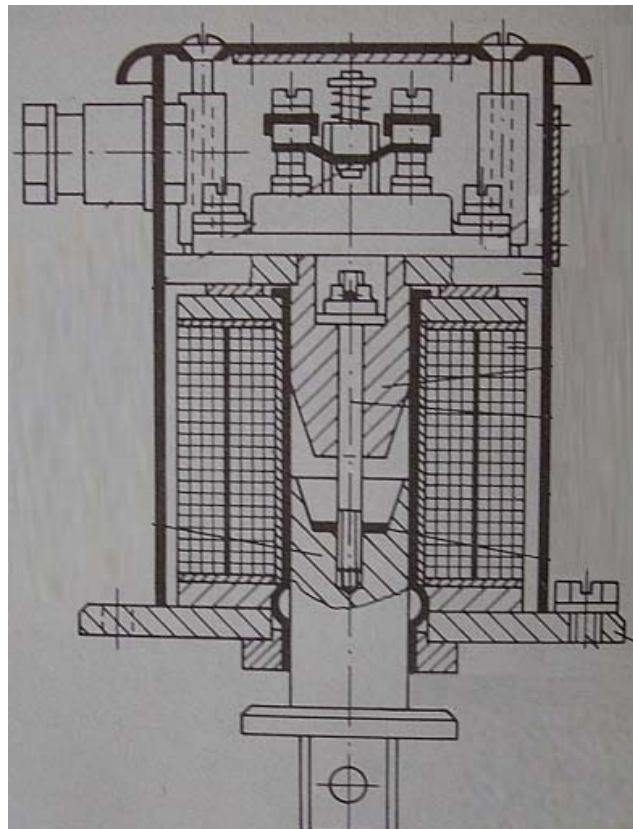
- jedno pracovní (vykoná práci-přitáhne)
- druhé vysokoohmové s malým proudem, drží přitažené, malé ztráty

Stejnoseměrný elektromagnet

- Rovnoměrnější tah a menší sílu na konci zdvihu lze také docílit vhodnou úpravou tvaru jádra (kuželovitý nástavec) a „kráteru“ na kotvě
- Princip je v tom, že změna vzduchové mezery je ve srovnání se zdvihem kotvy malá

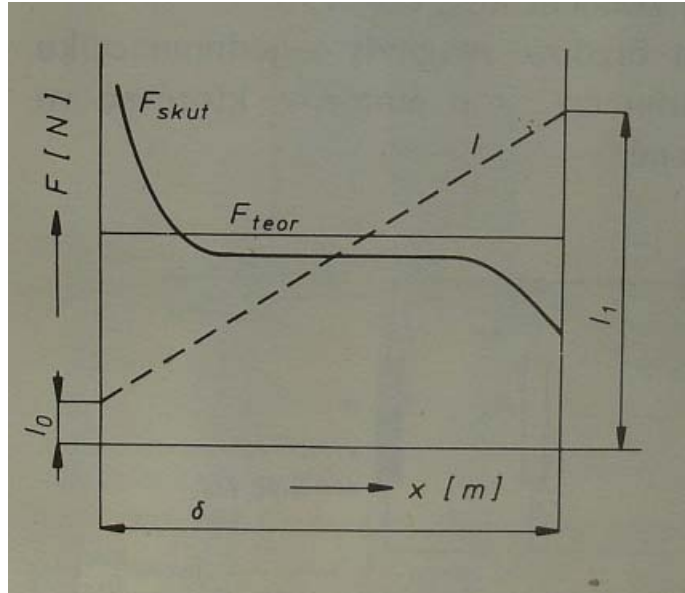


Stejnoseměrný elektromagnet



Střídavý elektromagnet

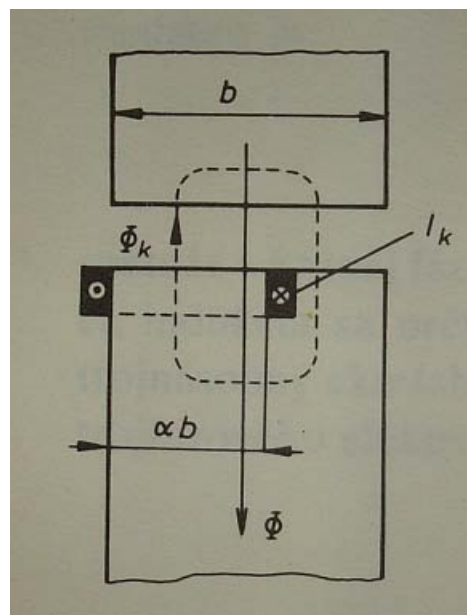
- Zanedbáme-li odpor a rozptyl pak $\phi = \text{konst.}$
 $\phi = (N \cdot I) / R_m$ R_m klesá a proud během přitahování klesá (klesá R_m a tedy roste L tedy i a I klesá)
- Ubereme-li závit vzroste proud (klesne L a tedy X a I roste) a mag. tok tedy i a B a tah vzroste ($F_m = N \cdot I$, ale proud vzroste s kvadrátem poklesu závitů N)



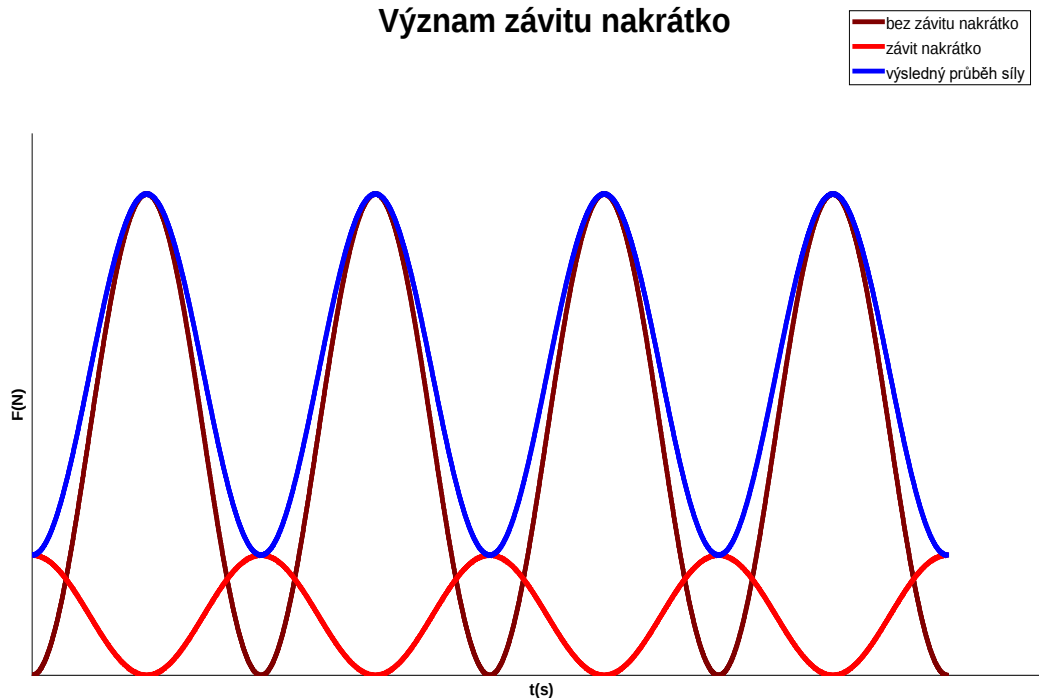
Střídavý elektromagnet

- Mag. obvod musí být složen z plechů (snížení ztrát v železe)
- Tok ϕ indukují v závitě nakrátko EMS, která závitěm protlačí proud I_k a ten zpětně vyvolá mag. tok ϕ_2 který je fázově posunut o 90° a vytvoří sílu F_2 , která se sečte s původní silou F_1 . Výsledná síla není nikdy nulová
- Trojfázový elektromagnet závit nakrátko nepotřebuje

Závit nakrátko



Význam závitů nakrátko



Spouštěče

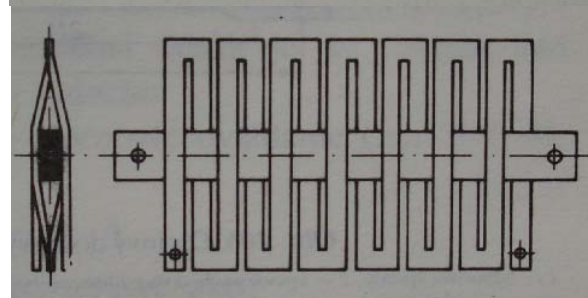
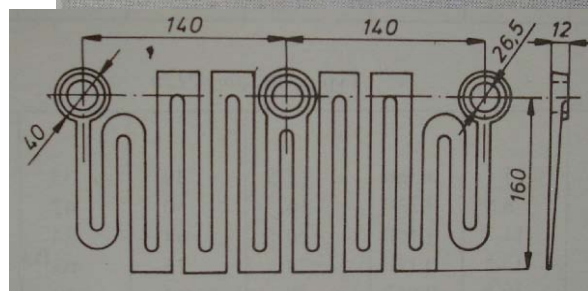
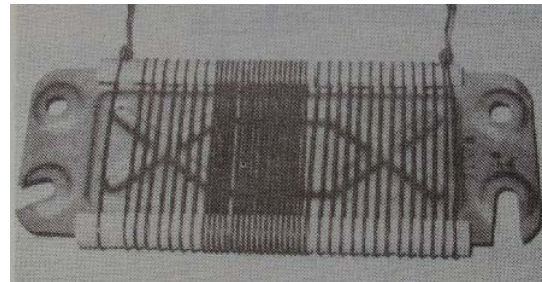
- Spouštěče jsou přístroje určené pro spouštění motorů v několika stupních tak, že svým kontaktním ústrojím postupně vyřazují jednotlivé odporové stupně.
 - Řídící spouštěče – kontakty a odpory dimenzované tak, že ho můžeme použít nejen pro spouštění, ale i k řízení otáček
- Podle použití
 - Stejnosměrné spouštěče – spouštění = motorů
 - 3. fázové statorové spouštěče – spouštění indukčních motorů s kotvou nakrátko
 - 3. fázové rotorové spouštěče - spouštění indukčních motorů s kotvou kroužkovou
- Podle prostředí
 - Vzduchové (pro lehké a častější spouštění)
 - Olejové (pro těžké a méně časté spouštění – větší tepelná kapacita)

Spouštěče

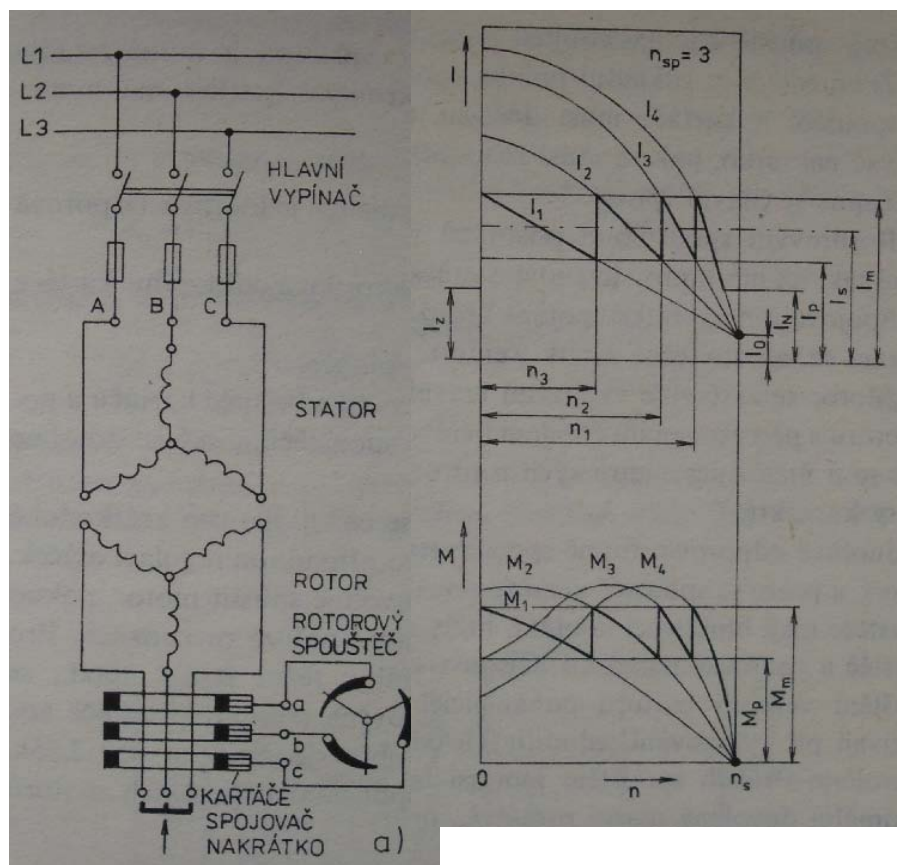
- Podle úpravy přepínacích kontaktů
 - Deskové – pohyblivý kontakt klouže po pevných kontaktech na desce
 - Válcové – mají pevné palcové kontakty a otočný válec s vodivými segmenty
 - Bubnové – kontaktní ústrojí je uvnitř válce
 - Kapalinové – (pro největší výkony)
 - Změny spouštěcího odporu se dosahuje zasouváním tří kovových elektrod do nádoby s vodou se sodou. Elektrody ovládá servomotor
 - Změny spouštěcího odporu se dosahuje odpařováním elektrolytu při průchodu spouštěcího proudu a jeho opětovným kondenzováním

Budící reostaty

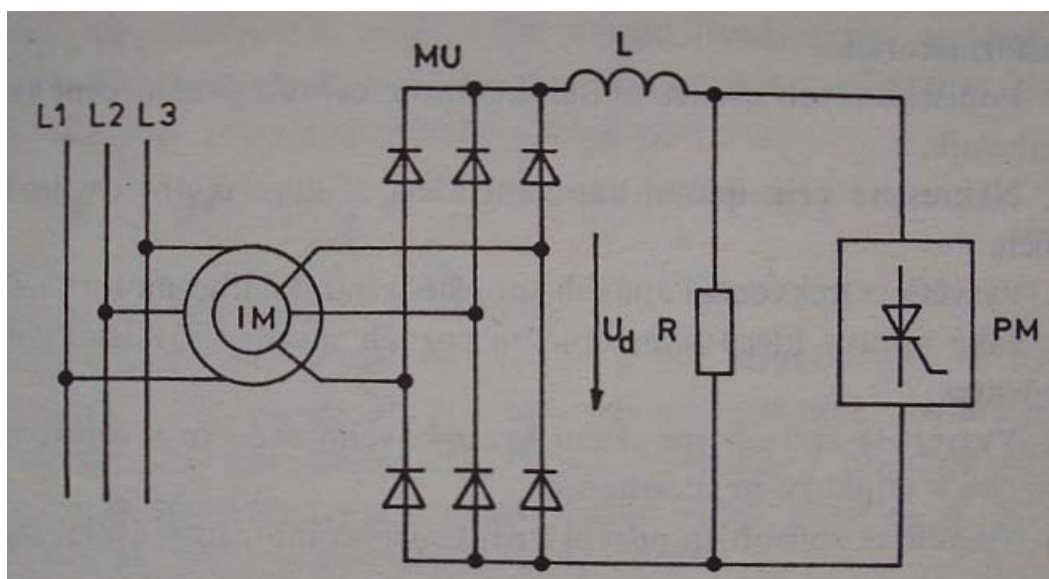
- zapojují se do budícího vinutí = strojů (umožňují měnit budící proud). U dynam se jimi řídí svorkové napětí u motorů otáčky. Jsou konstruovány na trvalé zatížení.
- Odporové články
 - Drátové – pro menší proudy (navinuté na keramickém válečku nebo rámu, případně volná šroubovice)
 - Litinové
 - Z prostřihávaného plechu



Rotorový spouštěč asynchronního motoru s kroužkovou kotvou



Rotorový spouštěč s pulsním měničem (efektivní a hospodárné)



P1

- Stupeň nerovnoměrnosti $g = I_m / I_p \leq 1,9$
- Pro dimenzování je rozhodující střední proud

$$I_s = \sqrt{I_m \cdot I_p}$$

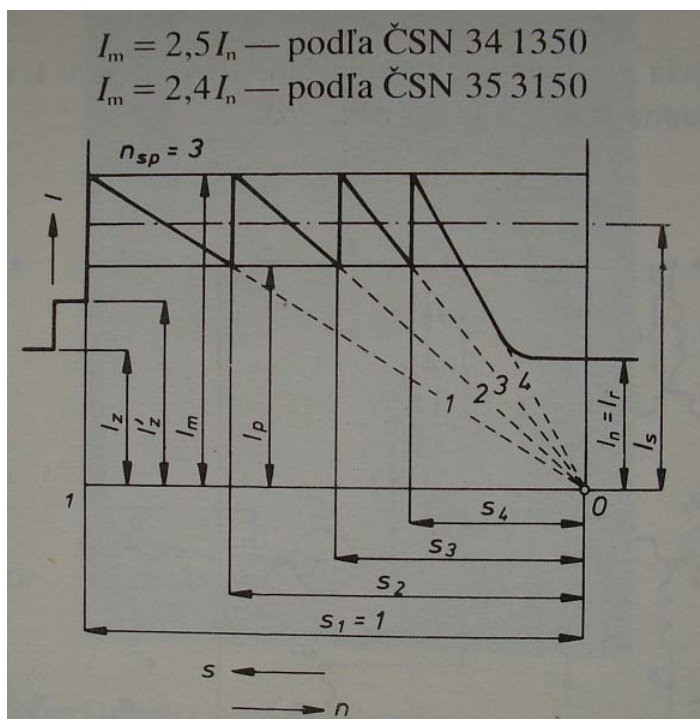
- Tedy $I_m = I_s \cdot \sqrt{g}$
- Obtížnost rozběhu $m = I_s / I_n$
- Pro požadovaný proudový náraz I_m vychází impedance motoru se spouštěčem $Z_{celk} = U_1 / I_m$
- Ze známých hodnot R_k a X_k motoru (z měření nakrátko) určíme celkový odpor spouštěče přepočítaný na stator

$$R_{s1} = \sqrt{Z_{celk}^2 - X_k^2} - R_k$$

Skutečná hodnota pro $m_1 = m_2$

$$R_s = R_{s1} \cdot (U_1 / U_i)^2$$

Návrh odporů spouštěče



Rozdělení spouštěcího odporu na jednotlivé stupně

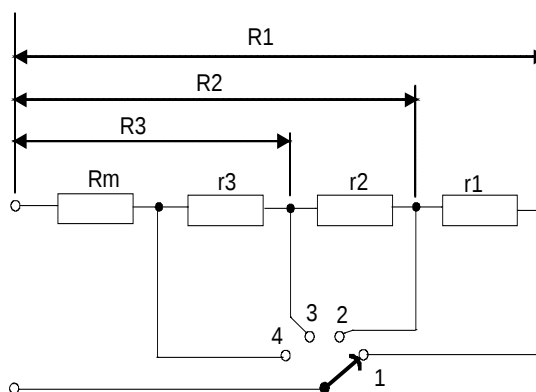
- Chceme aby $g = \text{konst.}$ Čili

$$g = \frac{R_1}{R_2} = \frac{R_2}{R_3} = \frac{R_3}{R_m}$$

kde R_m je odpor jedné fáze rotoru a $R_1 = R_m + R_s$

- Počet potřebných stupňů n_{sp} určíme ze vztahu

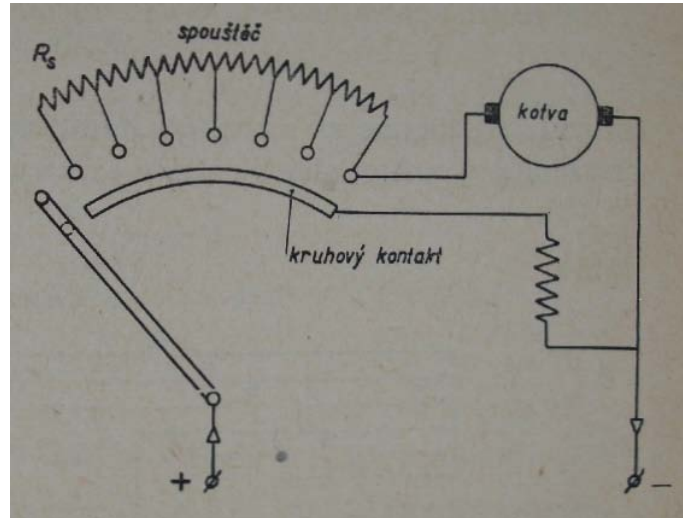
$$R_1 = R_m \cdot g^{n_{sp}}$$



Celkový návrh je složitější, musí se zohlednit druh rozběhu, doba spouštění, počet spuštění za sebou (do max. oteplení), hustota spouštění, provedení (vzduchové, olejové)

Spouštěč stejnosměrných motorů

- Postup je podobný jako u rotorového spouštěče indukčního motoru
- V současné době se používají výkonové polovodiče (řízené usměrňovače), kterými se hospodárně motor spouští a řídí otáčky. Zároveň se zjednodušila obsluha a údržba a umožnila automatizace procesu.



Materiály

Kocman
Kocman
Mravec
Měřička
Bartoš
Pavelka

Stejnosměrné stroje
Elektrické stroje a přístroje I
Elektrické stroje a přístroje I
Elektrické stroje
Elektrické stroje
Elektrické pohony

Materiály ze stránek SPŠ Liberec (<https://www.pslib.cz/>)