

**STŘEDNÍ ŠKOLA ELEKTROTECHNICKÁ,  
OSTRAVA, NA JÍZDÁRNĚ 30, p. o.**

# **ELEKTRICKÉ STROJE A PŘÍSTROJE**

## OBSAH

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. SPÍNACÍ POCHODY U ELEKTRICKÝCH PŘÍSTROJŮ .....</b> | <b>1</b>  |
| 1.1. Rozdělení spínacích přístrojů .....                 | 1         |
| 1.2. Složení spínacích přístrojů.....                    | 2         |
| 1.3. Funkční stavy elektrických kontaktů .....           | 5         |
| 1.4. Vznik a vlastnosti el. oblouku a jeho zhášení.....  | 6         |
| 1.5. Konstrukční provedení elektrických kontaktů.....    | 8         |
| <b>2. ELEKTRICKÉ PŘÍSTROJE NA NÍZKÉ NAPĚTÍ.....</b>      | <b>9</b>  |
| 2.1. Spínací elektrické přístroje .....                  | 9         |
| 2.2. Stykače a relé.....                                 | 10        |
| 2.3. Jistící a chránící elektrické přístroje .....       | 12        |
| 2.4. Zvláštní spínače: .....                             | 16        |
| 2.5. Elektromagnety.....                                 | 17        |
| 2.6. Svodiče přepětí v rozvodech nn.....                 | 21        |
| <b>3. ELEKTRICKÉ PŘÍSTROJE VYSOKÉHO NAPĚTÍ.....</b>      | <b>23</b> |
| 3.1. Spínací přístroje bez zhášedel.....                 | 23        |
| 3.2. Výkonové vypínače .....                             | 24        |
| 3.2.1. Magnetické vypínače.....                          | 24        |
| 3.2.2. Kapalinové vypínače .....                         | 25        |
| 3.2.3. Tlakovzdušné vypínače .....                       | 28        |
| 3.2.4. Plynotlaké vypínače .....                         | 29        |
| 3.2.5. Vakuové vypínače .....                            | 32        |
| 3.3. Vysokonapěťové pojistky .....                       | 33        |
| 3.4. Svodiče přepětí .....                               | 34        |
| <b>4. OBECNÉ ZÁKLADY ELEKTRICKÝCH STROJŮ.....</b>        | <b>37</b> |
| 4.1. Rozdělení elektrických strojů .....                 | 37        |
| 4.2. Hlavní části elektrických strojů .....              | 37        |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>5. TRANSFORMÁTORY</b> .....  | <b>42</b> |
| 5.1. Konstrukční uspořádání: .....  | 42        |
| 5.2. Princip činnosti .....   | 43        |
| 5.3. Jednofázové transformátory.....  | 44        |
| 5.3.1. Indukované napětí a převod transformátoru.....                               | 44        |
| 5.3.2. Náhradní schéma a fázorový diagram transformátoru .....                      | 44        |
| 5.3.3. Transformátor naprázdno .....  | 45        |
| 5.3.4. Transformátor nakrátko.....  | 46        |
| 5.3.5. Transformátor při zatížení a zatěžovací charakteristika transformátoru ..... | 46        |
| 5.4. Trojfázové transformátory .....  | 47        |
| 5.4.1. Zapojení trojfázových transformátorů.....                                    | 47        |
| 5.4.2. Hodinový úhel .....  | 48        |
| 5.4.3. Paralelní spolupráce transformátorů.....                                     | 49        |
| 5.5. Speciální transformátory.....  | 49        |
| 5.5.1. Autotransformátor .....  | 49        |
| 5.5.2. Svařovací transformátory .....   | 50        |
| 5.5.3. Měřicí transformátory proudu a napětí.....                                   | 51        |
| <b>6. ASYNCHRONNÍ STROJE</b> .....  | <b>51</b> |
| 6.1. Rozdělení asynchronních strojů.....  | 52        |
| 6.2. Konstrukční uspořádání asynchronních motorů .....                              | 52        |
| 6.3. Princip činnosti asynchronních motorů .....                                    | 54        |
| 6.4. Momentová charakteristika asynchronního motoru .....                           | 54        |
| 6.5. Kružnicový diagram asynchronního stroje.....                                   | 56        |
| 6.6. Asynchronní motory s kotvou kroužkovou .....                                   | 58        |
| 6.7. Asynchronní motory s kotvou nakrátko .....                                     | 58        |
| 6.8. Spouštění asynchronních motorů.....  | 60        |
| 6.9. Regulace otáček asynchronních motorů .....                                     | 61        |
| 6.10. Brždění asynchronních motorů.....   | 63        |
| 6.11. Jednofázové asynchronní motory .....  | 65        |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>7. SYNCHRONNÍ STROJE</b> .....                                      | <b>69</b> |
| 7.1. Konstrukční uspořádání synchronních strojů .....                  | 69        |
| 7.2. Synchronní alternátor.....  | 70        |
| 7.3. Princip synchronního alternátoru.....                             | 71        |
| 7.4. Charakteristika naprázdno a náhradní schéma syn. alternátoru..... | 71        |
| 7.5. Zatěžovací a budící charakteristika syn. stroje .....             | 72        |
| 7.6. Fázování a paralelní chod synchronních alternátorů .....          | 73        |
| 7.7. Synchronní motor .....  | 75        |
| 7.8. Synchronní kompenzátor .....                                      | 75        |
| <b>8. STEJNOSMĚRNÉ STROJE</b> .....                                    | <b>76</b> |
| 8.1. Konstrukční uspořádání stejnosměrných strojů.....                 | 76        |
| 8.2. Vinutí stejnosměrných strojů.....                                 | 76        |
| 8.3. Reakce kotvy a její potlačení.....                                | 78        |
| 8.4. Komutace .....  | 79        |
| 8.5. Dynamo.....   | 79        |
| 8.5.1. Cize buzené dynamo .....  | 80        |
| 8.5.2. Derivační dynamo .....  | 80        |
| 8.5.3. Dynamo sériové.....   | 81        |
| 8.5.4. Dynamo se smíšeným buzením.....                                 | 82        |
| 8.6. Motory .....  | 83        |
| 8.6.1. Cize buzený motor .....   | 83        |
| 8.6.2. Derivační motor.....  | 84        |
| 8.6.3. Motor sériový .....   | 84        |
| 8.7. Regulace otáček stejnosměrných motorů .....                       | 85        |
| 8.7.1. Regulace otáček cize buzených a derivačních motorů.....         | 85        |
| 8.7.2. Regulace otáček motorů se sériovým buzením .....                | 86        |
| 8.8. Brzdění stejnosměrných motorů .....                               | 87        |
| 8.8.1. Brzdění motorů s cizím buzením a derivačních .....              | 87        |
| 8.8.2. Brzdění motorů sériových .....                                  | 89        |

# 1. SPÍNACÍ POCHODY U ELEKTRICKÝCH PŘÍSTROJŮ

Elektrické přístroje jsou zařízení určená ke spínání, jištění, ochraně, spouštění, ovládání a řízení elektrických strojů, zdrojů, vedení a spotřebičů elektrické energie. Zvláštní skupinu tvoří měřicí transformátory proudu, měřicí transformátory napětí a elektromagnety.

Elektrické přístroje musí mít dostatečnou elektrickou i mechanickou pevnost, dále musí odolávat vlhku, teplo, zkratům a otřesům. Vyrábějí se pro normalizovaná jmenovitá napětí, pro jmenovité proudy a taky pro různou hustotu spínání.

Každé elektrické zařízení, tedy i elektrické přístroje se navrhuje pro určitá prostředí daná normou:

- a) obyčejné - nemá vliv na funkci elektrického přístroje ( $-10 \div + 35^{\circ}\text{C}$ , 15 g vody/ $\text{m}^3$ , vlhkost vzduchu  $< 80\%$ ).

- b) aktivní - prostřední ohrožuje činnost elektrického přístroje (chlad, teplo, voda, prach, chemicky agresivní látky, biologičtí škůdci, otřesy).

- c) pasivní - elektrické přístroje ohrožují okolní prostředí (prostředí s nebezpečím výbuchu a požárů).

V praxi se však často setkáme nejenom s prostředími jednoduchými, ale převážně s prostředími složitými (kombinace jednoduchých prostředí, a to jak aktivních tak i pasivních).

## 1.1. Rozdělení spínacích přístrojů

Spínače dělíme podle několika způsobů:

- 1.) dle druhu proudu na:
  - a) přístroje na stejnosměrný proud
  - b) přístroje na střídavý proud
- 2.) dle velikosti napětí na:
  - a) spínače na malé napětí (mn) - do 50 V
  - b) spínače na nízké napětí (nn) - od 50 do 1000 V
  - c) spínače na vysoké napětí (vn) - od 1 do 100 kV
  - d) spínače na velmi vysoké napětí (vvn) - nad 100 kV
- 3.) dle počtu pólů na:
  - a) spínače jednopólové
  - b) spínače dvoupólové
  - c) spínače trojpólové
  - d) spínače mnohapólové
- 4.) dle montáže na:
  - a) spínače pro montáž uvnitř budov
  - b) spínače pro venkovní montáž

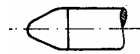
## 1.2. Složení spínacích přístrojů

Spínací přístroje se skládají z několika základních částí:

- 1.) kontakty
- 2.) proudovodná dráha
- 3.) izolátory
- 4.) mechanismus
- 5) zhášecí komora
- 6.) ověšení

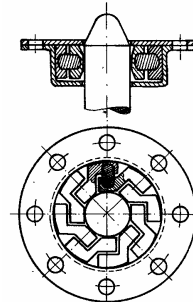
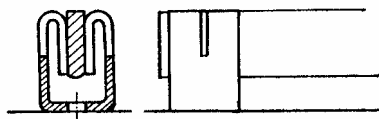
### **Kontakty**

Jsou nejdůležitější součástí přístrojů, slouží k vlastnímu spojení či rozpojení elektrických obvodů. Aby spolehlivě plnily svoji funkci musí být vyrobeny z velmi tvrdého, ale přitom dobře vodivého materiálu, musí být odolné proti chemickým vlivům a proti opalu obloukem pokud při spínání k oblouku dochází. Nejčastěji se tedy kontakty vyrábějí z mědi a jsou postříbřené (u mn mosazné). Pokud při spínání dochází k zapálení oblouku, potom se často oblouk přesouvá na tzv. opalovací kontakty, což je nějaká destička či růžek vyrobený práškovou metalurgií z wolframu a stříbra či wolframu a mědi a je též postříbřený.



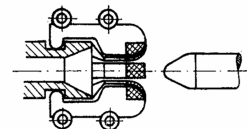
Pro co nejlepší funkci přístrojů je nutné zajistit co nejmenší stykový odpor mezi kontakty. Ten závisí na přítlačné síle kontaktů, na druhu kontaktního styku a na cizích vrstvách. Odpor kontaktů je pak dán vztahem  $R_k = k \cdot F^{-n}$ , kde  $k$  je druh použitého materiálu a vliv cizích vrstev,  $F$  je přítlačná síla a  $n$  je druh kontaktu.

- Přítlačnou sílu zajišťují pružiny, různé mechanismy nebo konstrukční uspořádání kontaktů (nožové kontakty, S-kontakt)



- Máme tři druhy kontaktního styku:

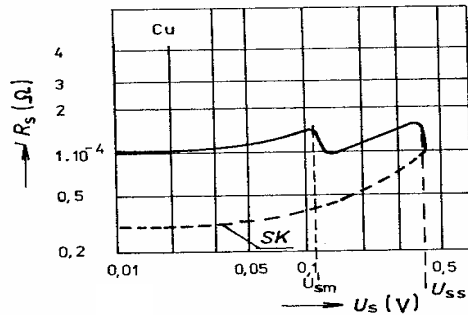
- 1.) bodový - dvě koule, koule - plocha (do 40 A,  $n = 0,5$ )
- 2.) přímkový - dva válce, válec - plocha, růžicový (pseudo přímkový) ( $n = 0,6$  - čelní až 0,7 - smykový)
- 3.) plošný - dvě roviny, šrouby, nýty, kartáče ( $n = 1$ )



- Na kontaktech se ukládají cizí vrstvy a tím zvětšují stykový odpor (rozrušují se např. smykovým najížděním kontaktů). Cizí vrstvy jsou v podstatě dvojího druhu:

- 1.) chemické - oxidy, sírníky
- 2.) mechanické - mastnoty, nečistoty.

Elektrické přístroje musí též elektrický obvod spolehlivě odpojit tzn., že se kontakty nesmí při průchodu proudu (ani zkratového) spojit či svařit. Tedy při průchodu jmenovitého proudu nesmí úbytek na kontaktech překročit tzv. napětí měknutí materiálu a při průchodu proudu zkratového nesmí překročit tzv. napětí svaření. Tyto hodnoty zjišťujeme pro jednotlivé materiály z tzv. R - U diagramu (např.  $U_{mAg} = 90 \text{ mV}$ ,  $U_{svAg} = 300 \text{ mV}$ ).



### ***Proudovodná dráha***

Jedná se o všechny části elektrických přístrojů, které při provozu vedou elektrický proud. K těmto částem počítáme svorky přístroje, spojovací části a kontakty. Tyto části jsou při své činnosti namáhány dvojím způsobem: tepelně a mechanicky.

Tepelné namáhání je jednak trvalé, způsobené procházejícím provozním proudem, a jednak zvětšené, způsobené krátkodobými zkratovými proudy. Zvláštním druhem tepelného namáhání je opalování kontaktů elektrickým obloukem.

Mechanické namáhání je způsobováno jednak provozním spínáním, tj. tahem pružin, rozběhem a brzděním setrvačných hmotností pohybujících se částí a nárazy kontaktů při zapínání, a jednak elektrodynamickými silami mezi proudovodnými částmi při zkratech.

Přístroje tedy musí být dimenzovány jak na provozní namáhání, tak i na namáhání při poruchách.

### ***Izolace přístroje***

Zajišťuje upevnění proudovodných částí s dostatečnou mechanickou pevností elektricky izolovaně od země a od vodičů jiných fází, ve stavu vypnutém pak navíc vzájemnou elektrickou izolaci obou kontaktů.

Používají se izolační materiály všech tří skupenství: plyny (vzduch, SF<sub>6</sub>), kapaliny (transformátorový olej), pevné látky (organické i anorganické).

Pevná látka mechanicky spojuje, ale i elektricky odděluje vodivé části, plynná či kapalná

látka slouží k izolaci mezi pohyblivými kontakty. Nejslabším místem izolace je rozhraní mezi povrchem pevného izolantu a plynnými či kapalnými izolanty, neboť se na něm hromadí nečistoty a sráží se vlhkost.

### ***Mechanismus***

Zařízení, které přemísťuje kontakty z jedné základní polohy do druhé. Nejjednodušší jsou např. izolační rukojeti nebo spínací tyče (nožové spínače, odpojovače...). U vn vypínačů jsou pak mechanismy složitější a to nejčastěji střadačový pohon napínaný elektromotorem, se zařízením pro tzv. zpětné zapínání, tj. s nastřádanou energií pro cyklus O-CO (O - vypnutí, C - zapnutí).

K mechanismům patří také nosné rámy na nichž jsou upevněny jednotlivé spínací póly - u drobných spínačů izolační, u větších pak výhradně kovový, u robustních vypínačů navíc pojezdový.

### ***Zhášecí komory***

Krajní proud, který ještě přístroj spolehlivě vypne, určuje jeho vypínací schopnost a nazýváme jej *jmenovitý vypínací proud* přístroje. Většího vypínacího proudu dosáhneme jen pomocí zhášedel. Zhášedlo je zařízení, ve kterém vhodným způsobem působíme na oblouk tak, aby uhasnul během nejlépe jedné, nejvýše však několika málo setin sekundy. Zhášedla pracují podle různých principů, ale konečným účelem každého z nich je deionizace dráhy oblouku.

### ***Ověšení***

O ověšení mluvíme tehdy, může-li vypínač vykonávat svoji základní funkci i bez tohoto zařízení.

Mezi ověšení patří například:

- a) pomocné signální kontakty
- b) dálkové spouště
- c) opalovací kruhy
- d) dálkové pohony
- e) pohony podvozků
- f) různé druhy krytů ....



### 1.3. Funkční stavy elektrických kontaktů

Základním úkolem spínacího přístroje je uzavírat a přerušovat elektrický obvod z čehož plyne, že vypínač má dva *statické stavy*:

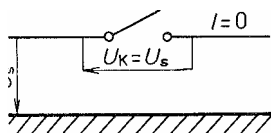
- a) polohu vypnutou ( $I = 0$ ,  $U_K = U_N$ ),
- b) polohu zapnutou ( $I = I_N$ ,  $U_K = 0$ ).

Vlastním úkolem spínače je tedy uskutečnění přechodu z jednoho stavu do stavu druhého.

Z čehož vyplývají další dva funkční *stavy* - tzv. *dynamické*:

- c) zapínání ( $I: 0 \rightarrow I_N$ ),
- d) vypínání ( $I: I_N \rightarrow 0$ ).

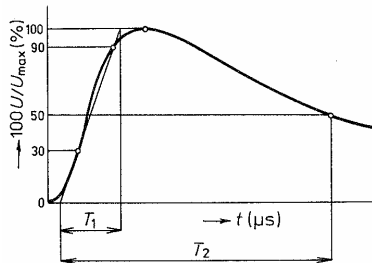
**Vypnutá poloha** představuje spolehlivé přerušení elektrického obvodu. Izolační vzdálenost



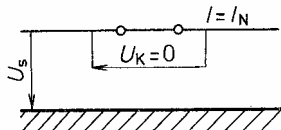
mezi kontakty musí být taková, aby nedošlo k průrazu prostředí mezi nimi. Izolační vzdálenosti se provádějí tak, aby

konstrukce vydržela normou předepsané zkoušky:

- a) střídavým napětím 50Hz po dobu 1 min,
- b) normalizovanou rázovou vlnou 1,2/50 viz obrázek.



**Zapnutá poloha** představuje dokonalé propojení obvodu přičemž proudovodná část musí být



dobře izolována od uzemněné kostry vypínače.

Při **zapínání** uvedeme v pohyb pohyblivý kontakt přístroje a přesuneme jej z polohy vypnuté do polohy zapnuté takže nastane mechanický styk obou kontaktů. Při tomto ději se stále zmenšuje vzdálenost obou kontaktů a tím stále vzrůstá intenzita elektrického pole ( $E = U / l$ ). Až v určité vzdálenosti kontaktů nastane elektrický průraz prostředí a mezi kontakty se před jejich stykem zapálí oblouk. Tím by mohlo dojít k jejich svaření a tedy selhání vypínače při jeho další funkci. Pohyb kontaktu musí tedy proběhnout dostatečně rychle, aby účinky zapínacího oblouku byly minimální. Mechanismus v konečné poloze musí trvale vyvinout dostatečnou kontaktní sílu a nesmí docházet k odskokům kontaktu.

Při **vypínání** nastává opačný pochod, tedy kontakty se musí oddálit na dostatečnou vzdálenost a přerušit proud. Přerušení proudu znamená násilnou změnu ustáleného energetického toku a výsledným jevem je elektrický oblouk. Oblouk způsobí, že se proud nepřeruší v okamžiku oddálení kontaktů. Po dobu hoření oblouku namáhá jeho vysoká teplota veškeré materiály v bezprostředním okolí, především kontakty. Dobu hoření oblouku se proto snažíme zkrátit co nejvíce a to tak, že kontakty vložíme do tzv. zhášedla.

## 1.4. Vznik a vlastnosti el. oblouku a jeho zhášení

Elektrický oblouk je výboj hořící v plynu, schopný samostatné existence libovolnou dobu, pokud jej vhodným zásahem nepřerušíme

Hlavní znaky oblouku jsou:

- vysoká teplota katodové skvrny (nebo katody vůbec),
- hustota proudu katodové skvrny se řádově rovná desítkám  $\text{MA}\cdot\text{m}^{-2}$ ,
- malé elektrodové úbytky,
- malé napětí mezi elektrodami (vzhledem k napětí zdroje),
- velký proud procházející obloukem,
- intenzita vyzařování světla z výbojového plazmatu a z elektrod.

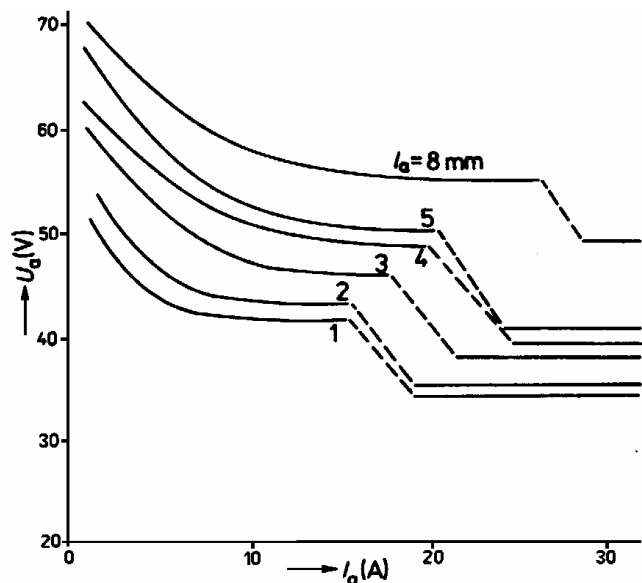
Podle druhu napětí v obvodu, ve kterém oblouk hoří, dělíme oblouky na stejnosměrný a střídavý.

**Stejnoseměrný oblouk** - statický - závislost napětí mezi elektrodami na obloukovém proudu

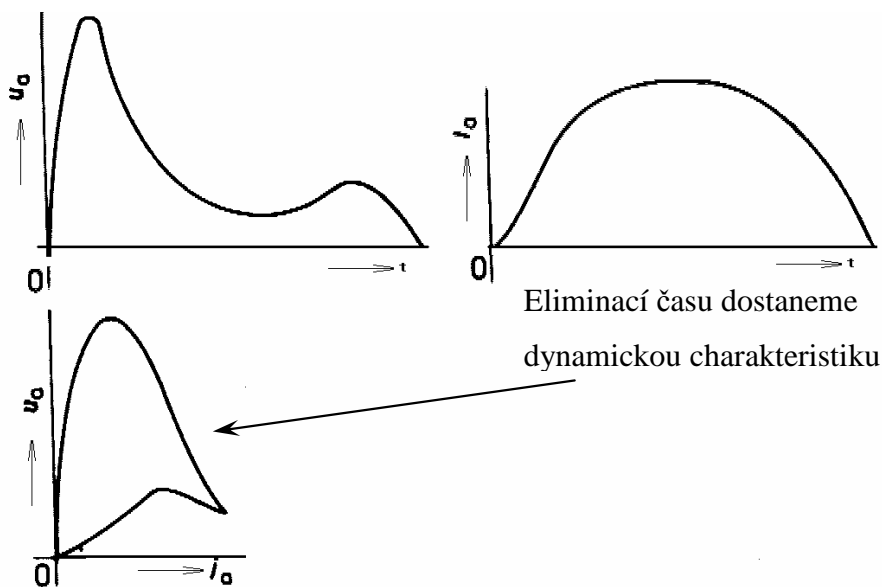
nazýváme *statická charakteristika*. Ta se skládá ze dvou částí z klesající, probíhající v oblasti malých proudů a stoupající, probíhající v oblasti velkých proudů. Klesající má tvar hyperboly, stoupající je přímková. Experimentálně se stanovením zabývala Ayrtonová a empiricky odvodila vztah:

$$U_a = \alpha + \beta \cdot I_a + \frac{\gamma + \delta \cdot I_a}{I_a}, \text{ kde } U_a \text{ je}$$

napětí mezi kontakty,  $I_a$  je proud procházející obloukem,  $l_a$  je délka oblouku a  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$  jsou konstanty závislé na druhu a tlaku plynu ve kterém oblouk hoří a na materiálu, tvaru a rozměrech kontaktů.



**Střídavý oblouk** je proměnný s časem, jeho charakteristika se nazývá *dynamická*. Na začátku půlperrody stoupá napětí na elektrodách souhlasně se síťovým napětím až do napětí potřebného pro zapálení oblouku; nazýváme je zapalovací napětí. Po zapálení oblouku napětí poklesne na hořící napětí oblouku a po určitou část periody se mění velmi málo. Po dobu, kdy oblouk hoří, se mění proud - znázorněním jeho časového průběhu je mírně deformovaná sinusovka.



Na konci půlperrody se napětí nepatrně zvýší, na tzv. zhášecí špičku, proud se v oblasti zhášecí špičky blíží k nule

Doba vytvoření oblouku je velmi krátká, řádově  $10^{-6}$  s, po vytvoření je plazma oblouku v termická rovnováze, to znamená, že elektrony, ionty, neutrální atomy a popř. molekuly mají stejné teploty. Oblouk je schopen samostatně existovat, probíhají-li v něm ionizační pochody, při zániku oblouku pak převládají rekombinační pochody nad ionizačními.

V elektrických přístrojích může oblouk vzniknout dvojím způsobem: při zapínání - zapínací oblouk - většinou zanikne bez znatelného vlivu na spínací pochod, při vypínání - vypínací oblouk - je nutné jej přivést k zániku vhodným zásahem do jeho mechanismu a protože vypínané proudy mohou dosáhnout velkých hodnot je zhášení oblouku poměrně obtížné.

### **Princip zhášedel stejnosměrného oblouku**

Podmínkou úspěšného vypnutí stejnosměrného obvodu je velké obloukové napětí vypínacího oblouku. Zvětšování obloukového napětí je způsobeno zvětšováním odporu oblouku, tedy zmenšováním průřezu oblouku, zvětšováním jeho délky a intenzivním chlazením oblouku. Následek toho je zmenšování proudu procházejícího vypínaným obvodem až dojde k přerušení oblouku.

### **Princip zhášedel střídavého oblouku**

Při zhášení oblouku v obvodu střídavého proudu využíváme skutečnosti, že při průchodu proudu nulou oblouk sám uhasíná. Je tedy potřeba jenom zajistit, aby nedošlo k jeho

opětovnému zapálení. Podmínkou úspěšného vypnutí je tedy rychlejší vzrůst elektrické pevnosti než rychlost růstu zotaveného napětí.

### 1.5. Konstrukční provedení elektrických kontaktů

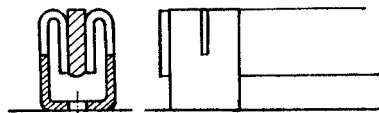
Rozmanitost elektrických přístrojů si vynutila různé druhy kontaktů a jejich uspořádání. Mezi nejdůležitější činitele ovlivňující tvar kontaktního ústrojí patří velikost spínaného elektrického proudu, provozní režim, životnost přístroje a způsob zhášení oblouku.

El. kontakty dělíme *podle vzájemného pohybu* na:

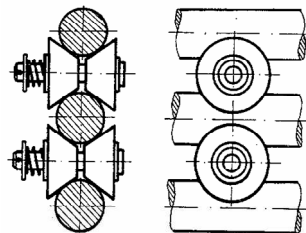
- a) Čelní - jedná se nejčastěji o můstkové kontaktní ústrojí, konstruuje se pro velký počet spínání, šetří kontakty, ale nerozrušuje cizí vrstvy. Používají se pro malé proudy např. v relé nebo v pomocných kontaktech stykačů.



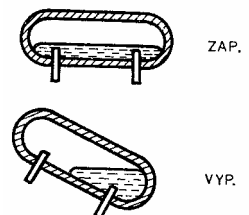
- b) Třecí - jedná se o nožové, palcové a růžicové kontakty, výhodou je intenzivní rozrušování cizích vrstev, ale mají podstatně menší životnost. Používají se pro jmenovité proudy řádově desítky ampér, např. v nožových pojistkách, odpojovačích, odpínačích apod.



- c) Valivé - jedná se o kladičkové kontakty, používají se pro vodivé spojení kontaktního ústrojí s velkým zdvihem, např. ve vysokonapětových vypínačích



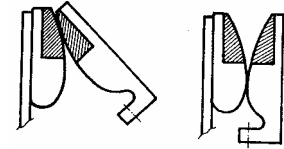
- d) Tekuté - jedná se o izolační tlakové nádoby naplněné vodivým materiálem v kapalném stavu (rtuť), jejich výhodou je, že páry po zániku oblouku opět kondenzují. Používají se v prostorech s nebezpečím výbuch nebo s nebezpečím vzniku požáru.



**Podle činnosti na:**

a) Hlavní kontakty - zajišťují spolehlivý styk v zapnutém stavu a rozpojují silový obvod (někdy mezi nimi hoří oblouk)

b) Opalovací kontakty - slouží jen k hoření oblouku při vypínání (zapínání), jako materiál jsou používány slinutiny



c) pomocné kontakty - slouží k signalizaci, ochraně, manipulaci apod. dimenzují se zpravidla na jmenovitý proud do 10 A.


## 2. ELEKTRICKÉ PŘÍSTROJE NA NÍZKÉ NAPĚTÍ


### 2.1. Spínací elektrické přístroje

Spínací přístroje slouží k přímému spínání obvodů. Mají vždy ruční pohon. Mezi tyto spínače patří např.:

**Instalační (drobné)** - používají se v domovních a průmyslových rozvodech elektrické energie ke spínání světelných obvodů

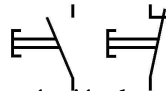
| Název           | Vypínač<br>jednopolový                  | Vypínač<br>dvojpolový            | Vypínač<br>trojpolový            | Seriový<br>přepínač                        | Střídavý<br>přepínač                 | Křížový<br>přepínač  |
|-----------------|---|----------------------------------|----------------------------------|--|--------------------------------------|--|
| Řazení          | 1                                       | 2                                | 3                                | 5  | 6                                    | 7  |
| Značka          |   |                                  |                                  |  |                                      |  |
| Schema zapojení |   |                                  |                                  |  |                                      |  |
| Použití         | zapíná a vypíná 1 obvod z jednoho místa | zapíná a vypíná obvod dvojpolově | zapíná a vypíná obvod trojpolově | zapíná a vypíná 2 obvody postupně za sebou | zapíná a vypíná 1 obvod ze dvou míst | zapíná a vypíná 1 obvod z více než dvou míst spolu s přepínači 6 |

5a - spínač skládající se ze spínačů č. 1 a č. 6 

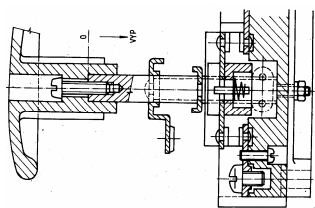
5b - spínač skládající se ze dvou spínačů č. 6 

**Ovládací a signalizační tlačítka** - slouží ke spínání strojů či zařízení a k signalizaci stavu.

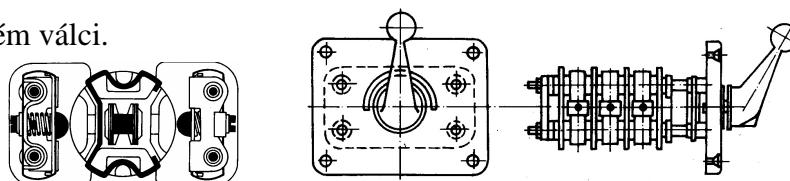
Jsou buď spínací nebo rozpínací. V pracovní poloze jsou jen po dobu stisku.



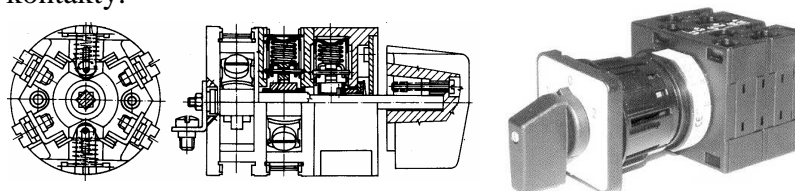
**Stiskací** - ty se tahem zapínají a stiskem vypínají, aby nedošlo k jejich náhodnému sepnutí.



**Válcové** - mají odpružené nepohyblivé palce a měděné válcové segmenty, které jsou izolovaně připevněny na otočném válci.



**Vačkové** - u nich se kontakty ovládají vhodně tvarovanými vačkami, které zajišťují jejich zapnutou i vypnutou polohu. Elektrický obvod je přerušen vždy ve dvou místech mezi pohyblivými a pevnými kontakty.

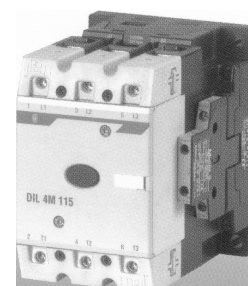


## 2.2. Stykače a relé

Jsou to přístroje sloužící k dálkovému spínání a mají téměř výhradně elektromagnetický pohon.

**Stykače** - spínače pro dálkové ovládání spotřebičů u kterých jsou kontakty drženy v pracovní poloze cizí silou. Jakmile tato síla přestane působit, kontakty se vrací do klidové polohy.

Stykače mají silové (hlavní) kontakty, které spínají velké proudy. Tyto kontakty jsou nejčastěji zapínací (v klidové poloze jsou rozepnuty a v pracovní poloze sepnuty), ale mohou být i rozpínací (naopak v klidu seplé a v pracovní poloze rozeplé). Kromě hlavních kontaktů mají stykače navíc ještě kontakty pomocné určené k ovládání, blokování, signalizaci ap. (opět mohou být zapínací i rozpínací).

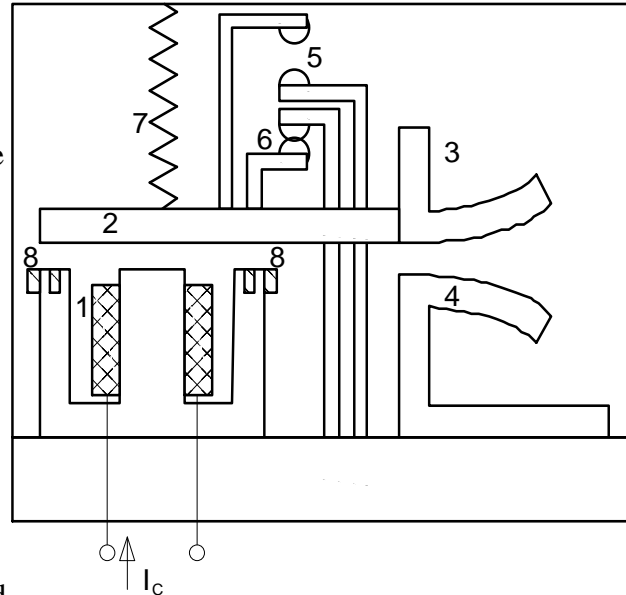


Stykače rozdělujeme:

- podle přídržné síly na elektromagnetické, hydraulické a pneumatické stykače
- podle proudu na stykače na stejnosměrný proud a stykače na střídavý proud
- podle chlazení na vzduchové stykače a olejové stykače

Nejčastěji se používají elektromagnetické vzduchové stykače - jejich princip je patrný z principiálního schéma.

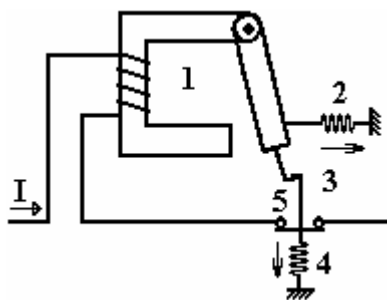
Po přivedení proudu  $I_c$  do cívky 1 se přitáhne kotvička elektromagnetu 2 a tím se spojí hlavní pohyblivé kontakty 3 s pevnými kontakty 4 zároveň se spojí zapínací pomocný kontakt 5 a rozpojí rozpínací kontakt 6. Přestane-li cívkou procházet proud, pak zpětná pružina 7 odtáhne kotvičku elektromagnetu a kontakty se vrátí do klidové polohy. Stykače na střídavý proud



jsou doplněny závitem nakrátko 8, ve kterém se indukuje největší napětí při průchodu proudu nulou a drží kotvičku přitaženou i v nule proudu  $I_c$ .

**Relé** - je to přístroj sloužící pro samočinné a dálkové řízení el. zařízení a pro zabezpečování jejich spolehlivého provozu. Pracuje na principu elektromagnetické indukce, kdy po příchodu proudu do cívky dojde k přitažení kotvičky a tím i kontaktů podobně jako u stykačů. Nemají však hlavní silové kontakty. Často bývají upraveny tak, aby pracovali samočinně. Dělíme je tedy na:

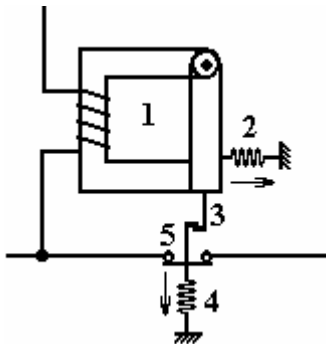
- Spínací relé - slouží k zapínání či rozpínání ovládacích nebo signalizačních obvodů.
- Nadproudové relé - dosáhne-li proud v obvodu určité velikosti, relé obvod samočinně rozpojí a to buď závisle na velikosti proudu - tedy při



větším nadproudu vypíná rychleji nebo nezávisle - tedy po překročení dané hranice vypíná za předem nastavený čas. Princip nadproudového relé vychází z nastavení síly elektromagnetu, tedy při průchodu proudu většího než na jaký je nastaven překoná síla elektromagnetu 1 sílu pružiny 2 a tím uvolní západku 3, která drží kontakty 5 v sepnutém stavu. Pružina 4 pak kontakty rozpojí a přeruší průchod proudu.

b) Podproudové relé - rozpojuje obvod při poklesu proudu pod určitou hladinu.

c) Podpět'ové relé - působí při poklesu napětí v obvodu. Princip podpět'ového relé je



opačný než u nadproudového, tedy při správném napětí je síla elektromagnetu 1 větší než síla pružiny 2 a po poklesu napětí se síla elektromagnetu zmenší, pružina přitáhne kotvičku, tím uvolní západku 3 a pružina 4 rozpojí kontakty relé 5.

d) Zpětné relé - obvod rozpojuje při změně směru proudu.

e) Časové relé - pracuje až po určitém čase a to jak se zpožděným spínáním, tak i rozpínáním, doba přitahu či odpadu kontaktů bývá často nastavitelná. Časování může být mechanické nebo častěji elektronické.

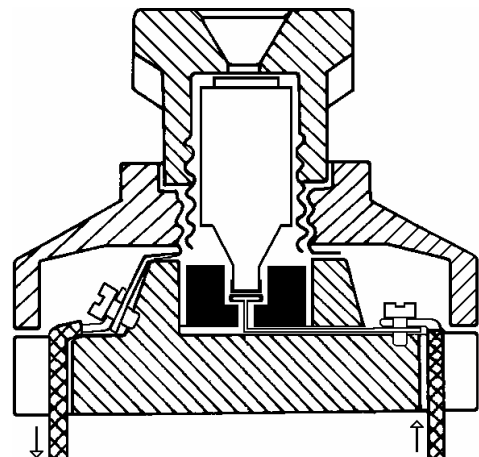
### 2.3. Jistící a chránící elektrické přístroje

Jistící přístroje slouží k jistění zařízení před účinky přetížení a zkratů, chrániče pak chrání živé bytosti před účinky elektrického proudu.

**Pojistky** - jsou přístroje sloužící k jistění elektrického obvodu tím, že tepelným účinkem nadproudu nebo zkratového proudu přetaví tavný drátek ve vložce a tak přeruší elektrický obvod (pojistky jistí elektrický obvod především proti zkratovému proudu). Pojistky rozdělujeme na závitové a zásuvné neboli nožové

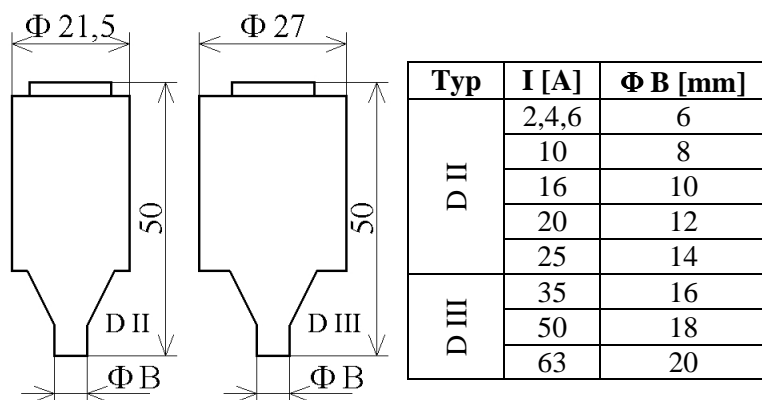
*Závitové pojistky* se skládají z pojistkového spodku, krytu, vložky a hlavice. V pojistkovém spodku je tzv. vymezovací kroužek, který nedovolí vložit vyměnitelnou pojistkovou vložku na větší proud, tyto kroužky jsou barevně odlišné podle jmenovitého proudu pojistkové vložky (2A - růžový, 4A - hnědý, 6A - zelený, 10A - červený, 16A - šedý, 20A - modrý, 25A - žlutý, 35A - černý, 50A - bílý a 63A - měděný).

Pojistkový spodek je též vybaven svorkami pro přivedení vodičů (přívod od zdroje vždy pod vymezovací kroužek a vývod k jistěnému zařízení ze závitů). Pojistková vložka je dutý porcelánový nebo plastový váleček na koncích s kontakty, které jsou spojeny tavným drátkem ze snadno tavitelného kovu. Zbytek dutiny vložky je vyplněn křemičitým pískem, který slouží k dobrému odvodu tepla a případnému





uhašení oblouku. Ve vložce je též pružinka, která při přetavení drátku uvolní barevný terčík a tím signalizuje přetavení pojistky (barvy jsou opět podle jmenovitého proudu). Pro jištění elektromotorů se používají tzv. pomalé ("šnekové") pojistky. Tyto pojistky totiž nereagují na velký záběrný proud motorů. Pojistková vložka je v pojistkovém spodku uzavřena hlavicí se skleněným okénkem.



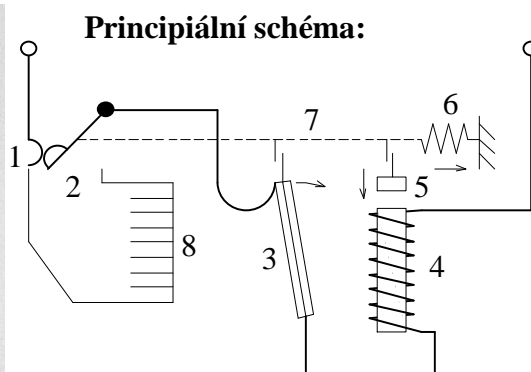
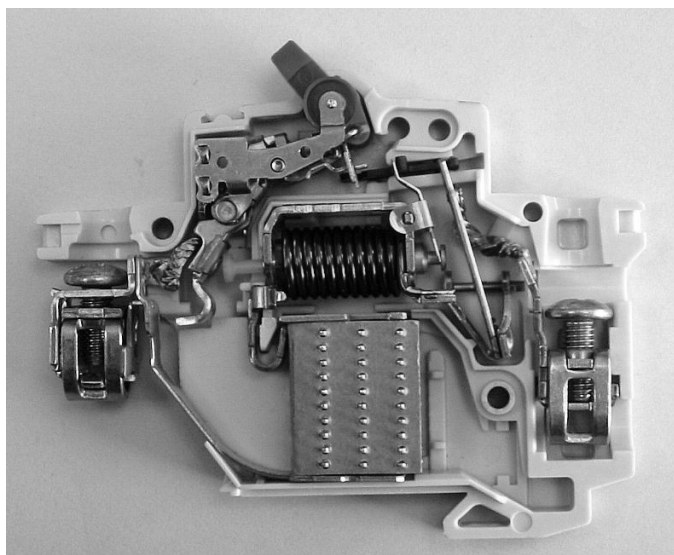
Zásuvné pojistky mají na izolačním spodku připevněny pérové kontakty s plochými praporky pro připojení vodičů. Vložka je krátký porcelánový hranolek (popř. váleček) zavřený kovovými víčky, které přecházejí v zásuvné nože. Víčka jsou propojena tavným páskem. Kolem tohoto pásku je opět křemičitý písek. Slouží k účinnému chlazení pásku a k bezpečnému uhašení oblouku, vzniklému po přetavení pásku. Na přední straně hranolku je malé okénko s lesklou značkou, která při přetavení pojistky zčerná nebo zmatní, popř. je zde terčík, který je vystřelen pružinkou. Zasouvání pojistek do pérových kontaktů a jejich výměna



se provádí speciálním držákem („žehličkou“) a odpojit se mohou pouze v nezátíženém stavu. Vyrábějí se jako výkonové pro jmenovité proudy od 16 do 630 A.

### Jističe

Jsou samočinné vypínače určené ke spínání a jištění elektrických obvodů. Jistí elektrická zařízení před přetížením a před účinky zkratových proudů. Při přetížení prochází elektrickým obvodem o něco větší proud než je proud jmenovitý a tím se zahřívá dvojkov tepelné spouště.



- 1 - pevný kontakt
- 2 - pohyblivý kontakt
- 3 - tepelná spoušť (bimetal)
- 4 - zkratová spoušť (elektromagnet)
- 5 - kotvička elektromagnetu
- 6 - zpětná pružina
- 7 - západka
- 8 - zhášecí komora

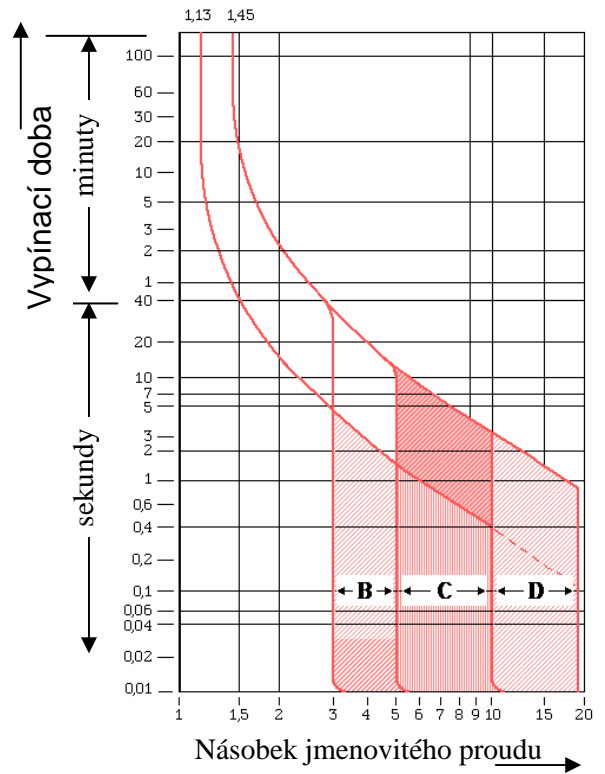
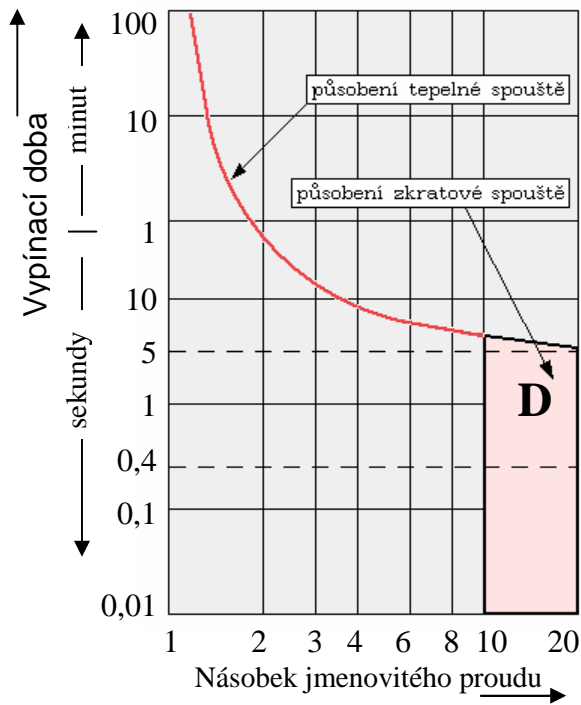
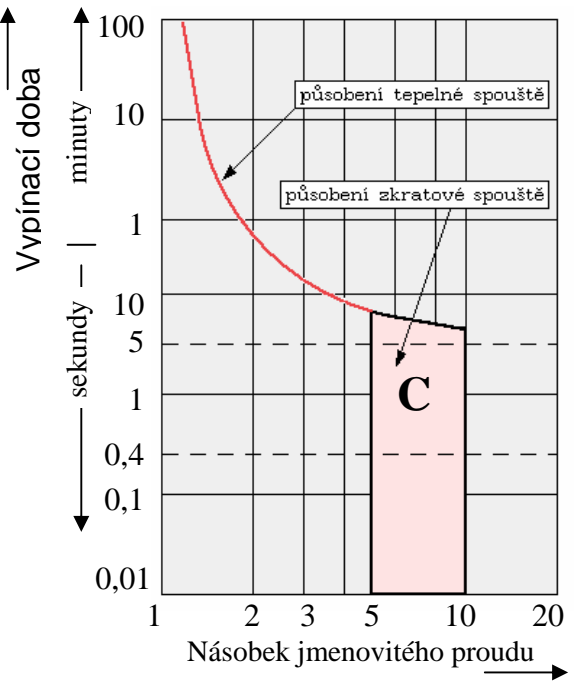
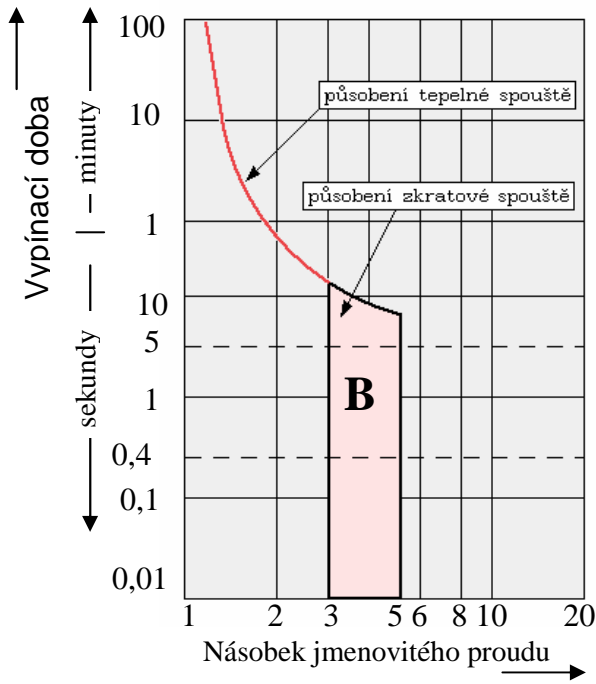
Ta se prohne, uvolní západku a pružina vypíná kontakty jističe (malá přetížení jističe vypínají po delším čase, velká přetížení vypínají v čase kratším). Při zkratu působí rychleji tzv. elektromagnetická spoušť, což je elektromagnet, který při průchodu zkratového proudu vtáhne jádro do cívky. Tím opět uvolní západku a kontakty jističe se rozpojí (zkratové proudy vypínají jističe téměř okamžitě).

Podle nastavení elektromagnetické (zkratové) spouště se rozdělují jističe do tří skupin:

- typ B - zkratová spoušť  $3 - 5 I_N$  (pro vedení)
- typ C - zkratová spoušť  $5 - 10 I_N$  (pro motory)
- typ D - zkratová spoušť  $10 - 20 I_N$  (pro obvody s velkými nárazovými proudy např. transformátory)

V praxi se často používají i jističe trojpólové, což jsou tři jednopólové jističe se společným vybavovačem.

## Vypínací charakteristiky jističů

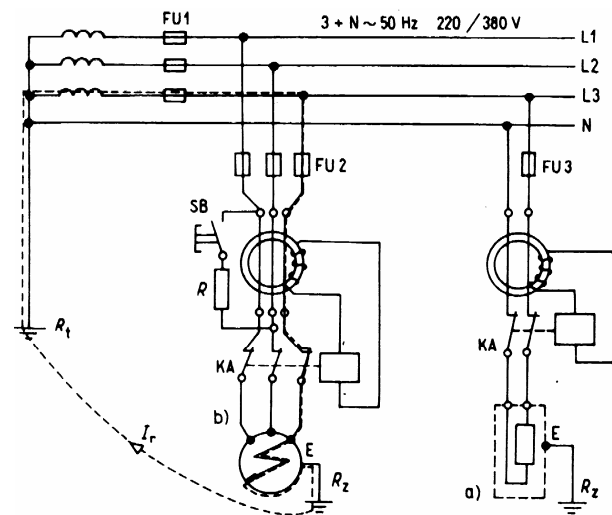


## **Proudové chrániče**

Přístroje určené k ochraně živých bytostí před nebezpečným dotykem. Tento chránič okamžitě odpojí chráněné zařízení od napětí, jde-li z některé fáze proud do země. Princip proudového chrániče vyplývá ze součtového měřicího transformátoru proudu, který reaguje na každou změnu průchodu proudu, protože pokud je proud ve všech fázích stejný rovná se součet jejich okamžitých hodnot nule a v magnetickém jádru transformátoru se nebudí žádný magnetický tok. Ve výstupním vinutí transformátoru se tedy neindukuje žádné napětí. Půjde-li však z některé fáze proud do země, vznikne v transformátoru proudová nesouměrnost a v jádru se vyvolá magnetický tok. Ten indukuje napětí ve výstupním vinutí a tím se uvede v činnost cívka vypínacího mechanismu proudového chrániče, která obvod rozpojí.

U jednofázového chrániče je magnetický obvod součtového měřicího transformátoru kolem obou vodičů (fázového i zpětného) a tím je též při správné funkci zařízení součet proudů roven nule. Při průchodu proudu do země se opět vybudí magnetický tok v magnetickém jádru transformátoru, ten indukuje napětí ve výstupním vinutí a tím cívka proudového chrániče rozpojí *oba* vodiče.

Proudový chránič se musí vždy předřadit jističem či pojistkou, neboť chránič nejistí spotřebič proti přetížení ani proti zkratu.



## **2.4. Zvláštní spínače:**

**Rtuťové** - jejich pevné kontakty se spojují a rozpojují přeléváním rtuti v evakuované skleněné nádobce, která se naklání ovládacím mechanismem. Používají se tam, kde agresivní prostředí ohrožuje kontakty běžných spínačů nebo kde by elektrický oblouk vzniklý mezi kontakty mohl způsobit výbuch či požár (v dolech, v chemickém průmyslu);

**Termostaty** - teplotní spínače pro regulaci teploty;

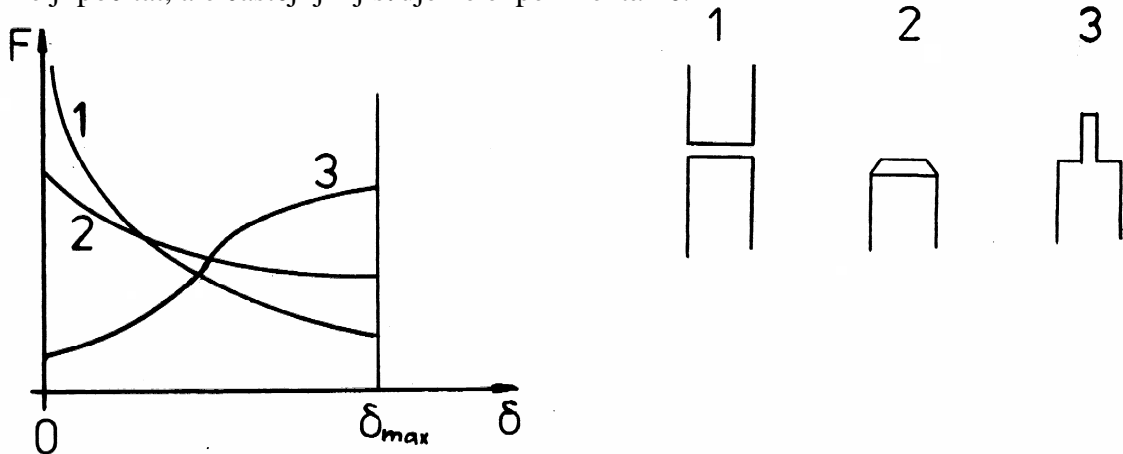
**Plovákové** - ovládají se plovákem v nádrži s kapalinou;

**Koncové** - spínače sloužící k sepnutí při dosažení koncových poloh pohybujících se částí pracovního stroje;

**Mikrospínače** - vyznačují se velmi rychlým, mžikovým přepínáním při nepatrném zdvihu.

## 2.5. Elektromagnety

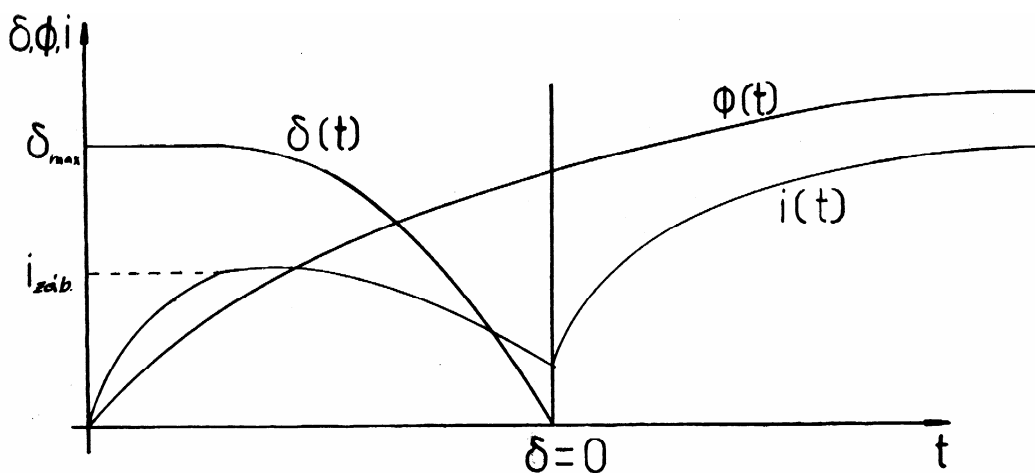
Elektromagnety jsou přístroje, které využívají silových účinků elektrického proudu. Proto nejdůležitější pro návrh elektromagnetu je znalost tahové charakteristiky. Ta se pak dělí na statickou a dynamickou. Statická tahová charakteristika je závislost vyvozené síly na zdvihu při konstantním proudu (u ss elektromagnetů) nebo napětí (u st elektromagnetů). Můžeme ji počítat, ale častěji ji zjišťujeme experimentálně.



Dynamická tahová charakteristika je pak závislost proudu, magnetického toku a změny vzduchové mezery na čase. pro výpočet u ss elektromagnetů používáme ustálených hodnot magnetických i elektrických, u st elektromagnetů pak efektivních hodnot elektrických a maximálních hodnot magnetických. Zjišťujeme ji snímáním při přitahu či odpadu kotvy nebo ji počítáme ze soustavy dvou rovnic elektrické  $R \cdot i + \frac{d\Phi}{dt} = U$ , kde  $\frac{d\Phi}{dt}$  představuje elementární změnu toku za elementární úsek času (Faradayův zákon) a mechanické

$$F + m \frac{d^2\delta}{dt^2} + \frac{dW}{d\delta} = 0, \text{ kde } F \text{ je vyvíjená síla, } m \text{ je hmotnost pohybující se kotvy, } \frac{d^2\delta}{dt^2} \text{ je}$$

zrychlení v každém okamžiku zdvihové dráhy a  $\frac{dW}{d\delta}$  je akumulovaná energie



Elektromagnety dělíme podle proudu a podle použití.

1. Podle proudu rozeznáváme: a) elektromagnety na stejnosměrný proud,
  - b) elektromagnety na střídavý jednofázový proud,
  - c) elektromagnety na střídavý trojfázový proud.
2. Podle použití rozeznáváme: a) pohybové elektromagnety, u nichž se pohybem kotvy koná mechanická práce (elektromagnety spínacích přístrojů, brzd, ventilů apod.)
  - b) přídržné elektromagnety, které přidržují feromagnetický materiál (břemenové elektromagnety, upínadla, třídící válcové elektromagnety apod.)
  - c) speciální elektromagnety (elektromagnetické spojky, laboratorní elektromagnety pro výzkumné účely aj.)

Elektromagnety na stejnosměrný proud mají jednoduchou konstrukci, tichý chod a jejich jádra jsou z plného materiálu. U elektromagnetů na střídavý proud je jádro složeno z elektrotechnických plechů, aby se zmenšily ztráty vířivými proudy. Elektromagnety na střídavý proud vlivem chvění plechů za chodu bručí a při přitažení kotvy vznikají rázy, neboť se pohybují rychleji než kotvy stejnosměrných elektromagnetů. Dnes se nejčastěji používají elektromagnety na stejnosměrný proud napájené ze střídavé sítě přes polovodičové měniče.

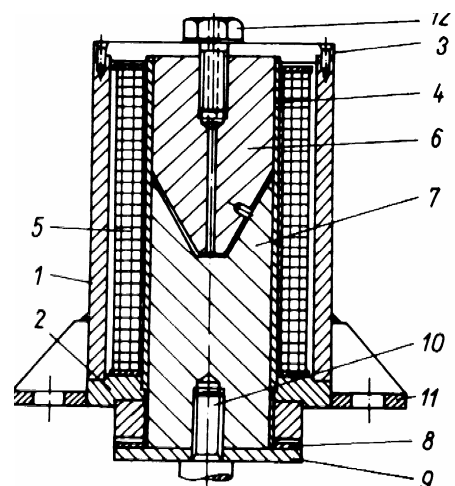
### ***Elektromagnety spínacích a ovládacích přístrojů***

Elektromagnety spínacích a ovládacích přístrojů (stykače, relé, jističe ap.) jsou buď na stejnosměrný proud, nebo na střídavý jednofázový proud. Magnetické obvody mají tvar CI nebo EI (popř. jen I). U elektromagnetů na stejnosměrný proud jsou magnetická jádra z plného materiálu. Elektromagnety na střídavý proud mají magnetické obvody složeno z elektrotechnických plechů a aby při průchodu proudu v cívce nulou neodpadávaly kontakty obepíná dosedací plochu elektromagnetu závit nakrátko.

Životnost kontaktů u přístrojů na stejnosměrný proud je větší než u přístrojů na střídavý proud, neboť jejich kotvy jsou přitahovány pomaleji než kotvy střídavých elektromagnetů.

### ***Brzdové elektromagnety***

Brzdový elektromagnet na stejnosměrný proud má cívku elektromagnetu na mosazné vodící trubce, magnetický

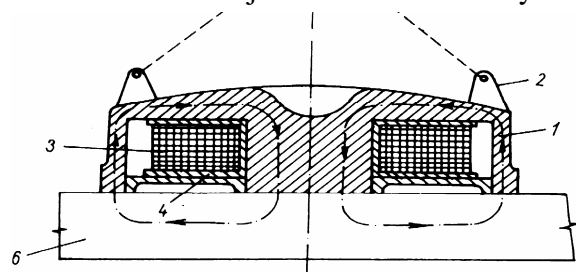


obvod tvoří pevná část jádra 6, horní víko 3, plášť 1, spodní víko 2, pohyblivá kotva 7 a kuželovitá vzduchová mezera. Při připojení proudu do cívky je pohyblivá část přitažena k pevné části jádra a táhlem 10 se uvolní čelisti brzdového ústrojí, neboť brzdové elektromagnety se většinou používají jen k odbrzdění (v zabrzděné poloze jsou čelisti brzd drženy silou pružiny nebo závaží). V konečné poloze kotva narazí na tři distanční šroubky, aby se „nepřilepila“. Vzduch z kuželové mezery uniká při zdvihu kotvy otvorem ve šroubu 12.

Střídavý brzdový elektromagnet má podobnou konstrukci, ale magnetický obvod je složen z elektrotechnických plechů, má závit nakrátko a píst, který při přitahu kotvy tlumí její náraz do pevné části magnetického jádra.

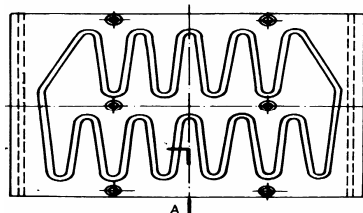
### ***Břemenové elektromagnety***

Slouží k přenášení předmětů z feromagnetických materiálů, se kterými nelze manipulovat jinak (žel. šrot) 6. Kostra 1 je z ocelolityny ve tvaru zvonu. Na kostře jsou tři závěsná oka 2, pomocí nichž je elektromagnet při práci zavěšen na háku jeřábu. Uvnitř kostry je uložena cívka 3, navinutá z eloxovaného hliníkového drátu se skleněnou izolací, impregnovanou proti vlhkosti. Cívka je v kostře uzavřena deskou 4 a magnet je zespodu zakryt mosazným plechem, aby se drobné předměty trvale nepřilepily k magnetu. Cívka je napájena stejnosměrným proudem kabelem, který se při zvedání břemene navíjí na bubnu. U některých elektromagnetů lze polaritu proudu na okamžik obrátit, a tak lze urychlit odpadnutí drobných přenášených předmětů. Průměry takovýchto elektromagnetů jsou od 30 cm až do několika metrů s nosností až 10 tun.



### ***Elektromagnetická upínadla***

Slouží k upínání obrobků složitých tvarů pro broušení, lapování, superfinišování ap. nebo



k upínání plechů pro přímé kreslení na ně. Skládají se z pouzdra z lité oceli, v němž je uložena cívka zakrytá snímatelnou deskou, drážky jsou zalité hliníkem aby se oddělil severní pól od jižního. Předmětem přiloženým k upínadlu se uzavírá největší magnetický

tok a tvoří tak kotvu elektromagnetu. Po opracování se předměty musí demagnetovat ve střídavém magnetickém poli.

### ***Třídící válcové elektromagnety (separátory)***

Slouží k separaci materiálů podle jejich magnetických vlastností. Dělí se na magnetické

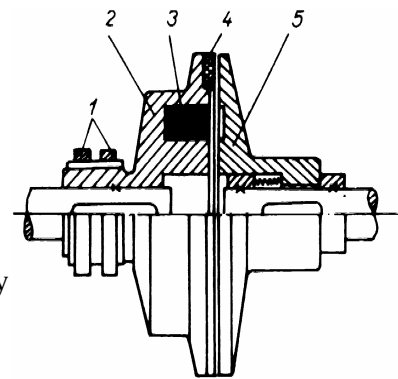
odlučovače - slouží k odstranění nežádoucích feromagnetických příměsí a magnetické  
 rozdužovače - k rozdužování základních materiálů na složky fero, para a dia magnetické.

Nejčastěji se používají rotační separátory, které mají magnetický obvod ve tvaru bubnu a na něj je přiváděn separovaný materiál. Požadovaný materiál se přichytí a odpadne až později do jiného zásobníku.

### **Elektromagnetické spojky**

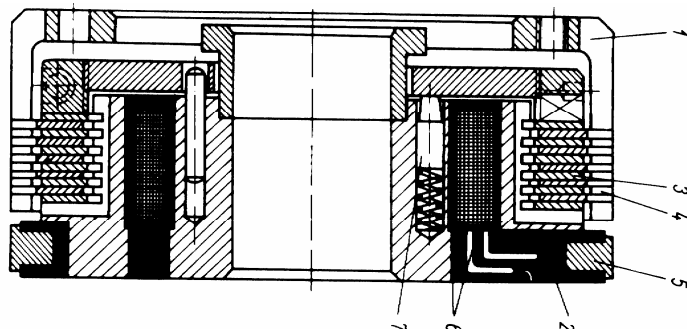
Elektromagnetické spojky jsou

- a) *třecí* - skládá se ze dvou částí část 2 je tvořena jako elektromagnet a je naklínována na hnacím hřídeli. Cívka 3 je spojena s přívodními kroužky 1 a je napájena stejnosměrným proudem. Druhá část spojky 5 je posuvně uložena na hnaném hřídeli. Po zapnutí proudu do cívky přitáhne první část spojky druhou část a ta dosedne na mezikruží s třecím obložení 4 a tím se obě části spojky spojí.



- b) *lamelové* - skládá se také ze dvou částí: hnané 1 a hnací 2. Hnací část je magnetové těleso s řadou vnitřních lamel 3. Hnanou část tvoří vnější lamely 4, které jsou unášeny výstupky na plášti 1. Vnitřní a vnější lamely se pravidelně střídají. Stejnosměrný proud s napětím 24 V se přivádí na sběrací kroužek 5 a vývod je ukostřen. Po zavedení proudu do budicí cívky 6 vznikne magnetický tok, který přitáhne kotvovou desku ta stlačí lamely k sobě a třením mezi lamelami se přenáší točivý moment z hnacího hřídele na hřídel hnaný. Aby se zvětšilo tření a trvanlivost lamel, jsou vnitřní lamely opatřeny vrstvou kovokeramického materiálu, vnější lamely jsou zhotoveny

z ušlechtilé oceli. Po vypnutí proudu je kotvová deska odtlačena od lamel odpruženými kolíky 7, a tím se spojka rozpojí.

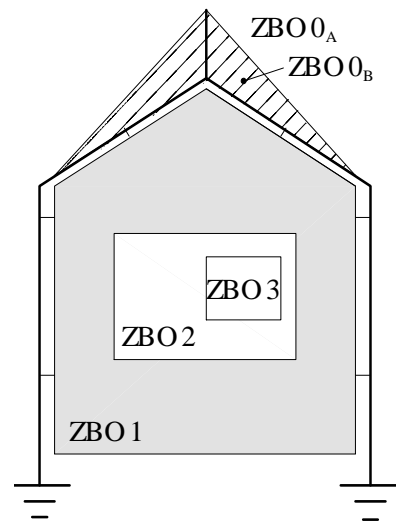




- c) *elektrodynamické* - přenáší točivý moment působením vířivých proudů. Skládá se ze dvou kotoučů pevně naklínovaných na hřídelích. V kotouči na hnacím hřídeli je cívka elektromagnetu, po zapnutí proudu do cívky a jejím otáčivém pohybu působí magnetické pole cívky na druhý kotouč, ve kterém se indukují vířivé proudy, působící proti svému vzniku, a proto se druhý kotouč otáčí ve stejném smyslu jako první kotouč. Tyto spojky pracují vždy s jistým skluzem. Používají se v pohonech, kde je potřeba měkký záběr, a tam, kde má být točivý moment řízen dálkově nebo samočinně.
- d) *práškové* - mají prostor mezi hnacím a hnaným kotoučem vyplněn olejem smíchaným se železnými pilinami. Bude-li budicí cívka bez proudu, je spojka rozpojena. Přivedeme-li však do cívky proud, olejová směs působením magnetického pole ztuhne a hnací kotouč se pevně spojí s hnaným.

## 2.6. Svodiče přepětí v rozvodech nn

Svodiče přepětí se rozdělují podle umístění do tříd A, B, C, D, přičemž třída A jsou svodiče přepětí ve vn rozvodech. Třída B (svodič bleskových proudů) se umísťuje na rozhraní vstupu do budovy (v hlavním rozvaděči), tedy na rozhraní zóny ZBO 0 a ZBO 1. Třída C (svodič přepětí) se umísťuje na rozhraní vstupu do místnosti (v podružných rozvaděčích) ve vzdáleností větší než 15m nebo větší než 5m je-li vodič PE veden zvlášť. Není-li tato vzdálenost dodržena je potřeba před svodič třídy C umístit omezovací tlumivku. Třída D se umísťuje buďto do rozvaděčů u chráněného zařízení nebo přímo před hlídaný spotřebič (v zásuvce nebo v krabici). Dnes se velice často u vstupu do domů používá kombinace svodiče typu B a C v jednom (výhodou je koordinace mezi svodiči bez potřeby tlumivek).



V současné době se využívají v podstatě dva principy ochrany proti přepětí v sítích nízkého napětí, a to buď pomocí napěťově závislého rezistoru tzv. varistoru nebo pomocí dvojitého jiskřiště.

Svodiče přepětí s varistorem využívají vlastnosti varistoru, který se chová jako ventil tzn., že při příchodu přepěťové vlny se jeho odpor výrazně sníží a tím umožní průchod proudu do země. Po svedení přepěťové vlny se opět zvýší odpor varistoru (vlivem poklesu napětí) a tím

průchod proudu do země je opět uzavřen. K varistoru se do série připojuje jiskřiště přes které prochází proud do země a po odchodu vlny slouží jako galvanické odpojení hlídaného vedení od země.

Druhý způsob využívá dvojitého jiskřiště tedy jiskřiště s jedním přívodem a dvěma odvody. Monitorovací jednotka (obsahuje varistor) trvale dohlíží na ochranu dále připojeného zařízení nebo systému. Dojde-li k překročení úrovně napětí nastavené předem při výrobě (v širokém rozmezí), generuje spouštěcí jednotka impuls pro zapálení jiskřiště FS1. Toto jiskřiště má

omezenou propustnost a chová se elektricky jako varistor. Obloukový výboj vzniklý v FS1 je energetickým předobrazem pronikající vlny přepětí a ionizuje hlavní jiskřiště FS2.

Energetický obsah přepětí určuje stupněm ionizace (intenzitou, dobou trvání), zda a ve kterém okamžiku dojde k zapálení hlavního

jiskřiště FS2. Jakmile je toto jiskřiště zaktivováno, převezme svod dalšího impulsního

(rázového) proudu a tím odlehčí FS1. Hlavní jiskřiště FS2 je velmi výkonné jiskřiště

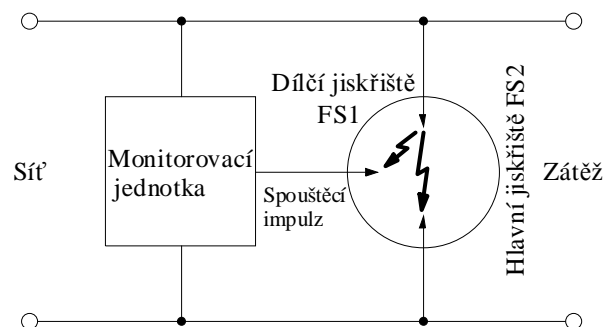
s vysokou propustností pro impulsní proud a velkou schopností omezovat následný síťový

proud. Výhody tohoto typu jsou, že varistor monitorovací jednotky není trvale připojen k síti

nýbrž pouze přes výbojkové jiskřiště FS1, zapálení FS2 je závislé jen na energii přepětíového

impulsu a ne na tvaru vlny (energeticky chudá přepětí odvádí přímo FS1) a volbou vhodného

principu zhášení oblouku nedochází vůbec k následným síťovým proudům.



### 3. ELEKTRICKÉ PŘÍSTROJE VYSOKÉHO NAPĚTÍ

#### 3.1. Spínací přístroje bez zhášedel

**Odpojovače** - používají se pro zapojování a odpojování elektrických obvodů bez zatížení (tj., bez proudu) a k viditelnému odpojení elektrického zařízení od napětí. Používají se k odpojování částí vedení, sítí, strojů a zařízení za účelem revize, opravy či změny řazení. Ve vn sítích nestačí jen odpojení proudu vypínačem, ale obvod musíme přerušit ještě viditelně ve druhém místě odpojovačem.

Podle konstrukčního provedení jsou odpojovače:

- a) Nožové - mají na základním rámu upevněno šest podpěrných izolátorů ve dvou řadách. Na třech jsou upevněna ložiska s pohyblivými noži a na protějších třech jsou pérové kontakty, do kterých se nože zasunují.
- b) Rotační - každý pól má dva otočné izolátory nesoucí táhla s kontakty, jež se otáčejí v rovině rovnoběžné se základním rámem.
- c) Sklápěcí - z hlediska pohonu a tvaru jsou velice podobné nožovým, ale tvar kontaktů je jiný.
- d) Nůžkové neboli pantografické - pohyblivý kontakt je zde ovládán nůžkovým sklápěcím mechanismem. Pevný kontakt je přímo na přívodním vodiči tj. mimo odpojovač.

**Uzemňovače** - jsou to nožové spínače, které uzemňují vypnuté části elektrického obvodu pro bezpečnost obsluhy. Často se kombinují s odpojovači - odpojovač odpojí danou část obvodu a zároveň ji uzemňovač uzemní.

**Odpínače** - jsou to spínače schopné zapínat a vypínat proudy v rozsahu až do hodnoty svého jmenovitého proudu. Nejsou tedy schopné vypínat zkratové proudy, ale v zapnutém stavu je musí přenášet bez poškození. K přerušení proudu dojde až se oddálí opalovací kontakty. Vznikne oblouk jenž je ofukován stlačeným vzduchem a tím je hašen. Opalovací kontakty vedou proud jen při vypínání, neboť v zapnutém stavu jsou překlenuty hlavním nožem.

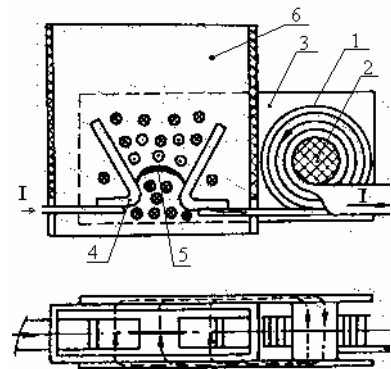
## 3.2. Výkonové vypínače

Jsou to spínače schopné vypínat nebo zapínat všechny provozní proudy vyskytující se v elektrických obvodech, tedy i proudy zkratové. Mají spoušť, která při zkratu samočinně obvod rozpojí. Je u nich důležitý tzv. jmenovitý vypínací výkon, což je součin jmenovitého proudu a zotaveného napětí (napětí, které vznikne mezi kontakty vypínače po přerušení proudu). Podle zhášení elektrického oblouku rozeznáváme výkonové vypínače: magnetické, kapalinové, tlakovzdušné, plynotlaké a vakuové

### 3.2.1. Magnetické vypínače

Magnetické vypínače používají magnetickou energii vlastního přerušovaného obvodu. Jsou to proto soustavy s vlastní zhášecí energií. Vykazují ze všech typů vypínačů nejvyšší obloukové napětí. Příčinou je značná délka oblouku a jeho současné intenzivní chlazení, takže odpor oblouku narůstá do velkých hodnot. Proto mohou zhášet střídavý, ale i stejnosměrný oblouk.

Průchodem proudu přes do cívky stočenou proudovodnou dráhu 1 vzniká v jejím jádru 2 magnetické pole. Toto pole je pomocí pólových nástavců 3 vedeno do prostoru mezi kontakty 4, kde působí na hořící oblouk 5 silou, která jej natahuje do zhášecí komory 6.

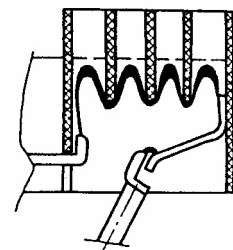


Magnetické pole tedy není žádný přímý zhášecí prostředek, ale vyvolává pouze rychlý pohyb oblouku napříč vzduchem, který jej obklopuje.

Zhášecí komory magnetických vypínačů jsou v principu dvojího druhu: zhášecí komory izolační a zhášecí komory kovové.

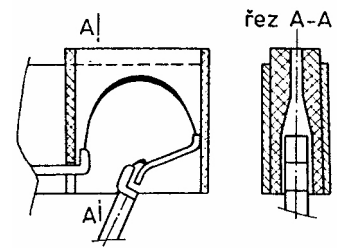
**Izolační zhášecí komory** - existuje velmi mnoho skutečných provedení izolačních komor, ale v podstatě můžeme rozlišit dvě principiální uspořádání:

**Zhášecí komory s izolačním roštem** - vyfukovaný oblouk se zadrží na čelních hranách a prodlouží se do několika vln mezi žebra vložené napříč k ose oblouku. Natahováním oblouku se zvětšuje jeho odpor a snižuje se procházející proud až dojde k uhasnutí oblouku.



**Izolační komora štěrbinová** - oblouk je natahován do izolační štěrbiny, která se nad kontakty zužuje až na šířku menší než je průměr válcově idealizovaného obloukového jádra. Tím se jednak kruhový průřez jádra deformuje a zvětšuje se jeho povrch a jednak se dostává do

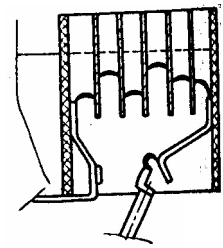
těsného styku s izolačními stěnami, které mu intenzivně odnímají teplo. Tím opět zvětšuje odpor oblouku a ten uhasíná. Má-li být tento vliv stěn trvale účinný, musí se oblouk ve štěrbině neustále pohybovat.



Vypínací schopnost těchto komor je podstatně větší než vypínací schopnost komor roštových.

**Kovové zhášecí komory** - všechny komory jsou provedeny jako *komory roštové*, a to tak, že do izolačního pouzdra jsou příčně vložena kovová žebra.

Oblouk, který se zapálí mezi oddalujícími se kontakty, se vyfoukne po růzcích do zhášecí komory, kde se na příčně umístěných kovových deskách rozdělí na několik dílčích obloučků, spojených do série. Tím se opět zvětší odpor oblouku a oblouk uhasíná v první nule proudu.



### 3.2.2. Kapalinové vypínače

Spínací přístroje se zhášením oblouku v kapalině pracují tak, že využívají zplodin vznikajících tepelným rozkladem kapaliny obloukem k urychlení deionizačních pochodů mezi oddalujícími se kontakty.

Kapalina, která se běžně používá ve vypínačích je transformátorový olej, ale občas se používá jako zhášecí médium destilovaná voda.

Podle konstrukce kapalinové vypínače rozdělujeme na:

- a) Kotlové vypínače s volným zhášením oblouku v oleji - oblouk uhasíná pouze přítomností oleje v okolí oblouku. Používal se v letech 1900-1930, ale dnes se již nepoužívá
- b) Kotlové vypínače se zhášedly - používají stejný princip zhášení oblouku jako ostatní kapalinové zhášedla (viz dále), ale dnes se již též nevyrábějí.
- c) Vypínače s malým množstvím oleje neboli vypínače maloolejové - dnes nejrozšířenější typ kapalinových vypínačů. Olej plní jen funkci zhášecího média a funkci izolantu mezikontaktní dráhy. Pól vypínače má tvar štíhlého, vždy svisle orientovaného válce. Typy zhášedel jsou opět stejné.
- d) Vypínače vodní (expanzní) - důvodem k záměně oleje za vodu je to, že voda neobsahuje uhlík. Tepelným rozkladem vody vzniká vodík a kyslík, tj. plyny, které se buď zpětně sloučí

ve vodu, nebo prostě uniknou do ovzduší. Širšímu rozšíření těchto vypínačů však zabraňuje cena výroby destilované vody.

e) Vypínače impulsní - jsou velmi podobné vypínačům maloolejovým jen při vypínání se žene do oblouku olej pod tlakem pomocí vnějšího kompresoru. Tato soustava však pro svoji složitost též nenašla širší uplatnění.

Zbáseidel kapalinových vypínačů je podle provedení až nepřehledné množství, lze je ale rozdělit do dvou skupin podle toho jakým směrem je orientován proud spalínového plynu vůči ose oblouku. Omývá-li jej souose pak jde o žhášedlo osové neboli axiální. Směřuje-li proud plynu kolmo k ose oblouku jde o žhášedlo příčné neboli radiální.

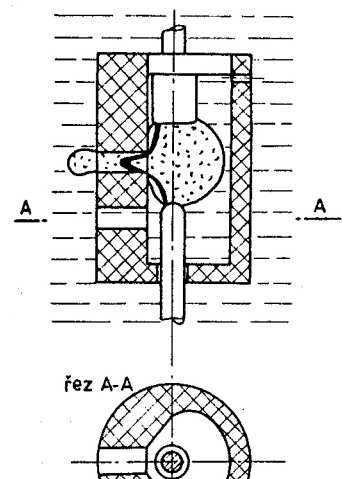
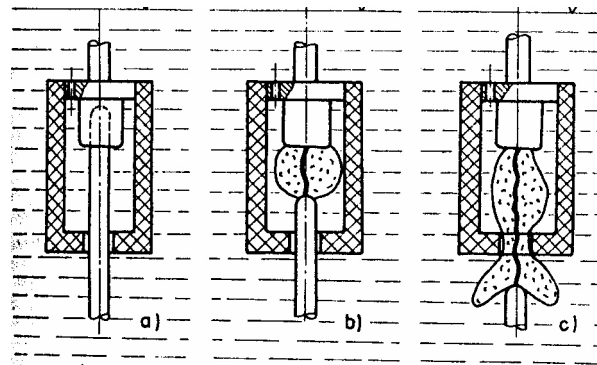
**Zhášedlo s osovým (axiálním) ofukováním oblouku** - je v podstatě válcová komora s izolačním materiálem obklopující pevný kontakt. Celý prostor komory je vyplněn olejem.

V nejvyšším místě komory musí být upraven odzdušňovací otvor malého průřezu sloužící k úniku plynu při plnění vypínače olejem. Funkce komory je patrná z obrázku. Jakmile se pohyblivý kontakt vysune z pevného kontaktu zapálí se oblouk. Při hoření oblouku dochází k rozkladu oleje na plyny, které vytvoří

bublínku o vysokém tlaku. V okamžiku, kdy roubík opustí komoru začne nahromaděný plyn unikat do vnějšího prostoru. Přitom ze všech stran omývá oblouk a odnímá mu teplo až dojde k přerušení oblouku v první nule proudu. Po rozrušení zbytkového ionizovaného sloupce zateče mezi kontakty

olej a pomáhá tím zajistit dostatečnou elektrickou pevnost prostředí mezi kontakty, aby nedošlo k opětovnému zapálení oblouku. Vypínací schopnost axiální komory je omezena mechanickou pevností konstrukce, neboť při vypínání proudů několika desítek kiloampérů (asi okolo 50 kA), vznikají v komoře tlaky dosahující velikosti 10 až 20 MPa.

**Zhášedlo s příčným (radiálním) ofukováním oblouku** - má ve stěně uspořádáno nad sebou několik otvorů (štěrbín) a tvar jeho vnitřního prostoru není kruhový. Ten se totiž zužuje směrem ke štěrbinám, jejichž vnitřní ústí se co nejvíce blíží k roubíku (viz



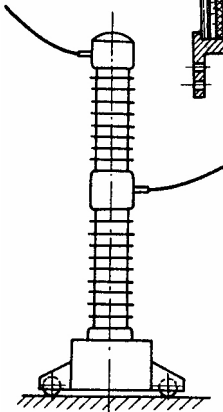
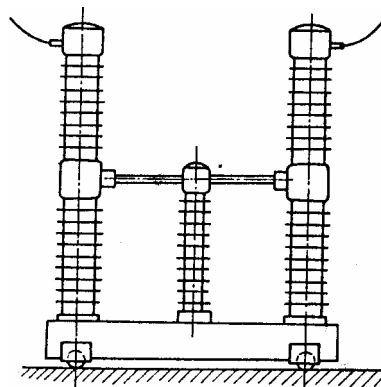
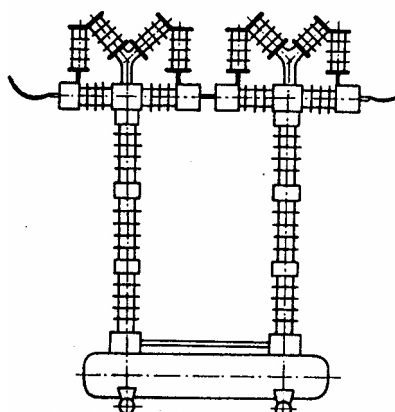
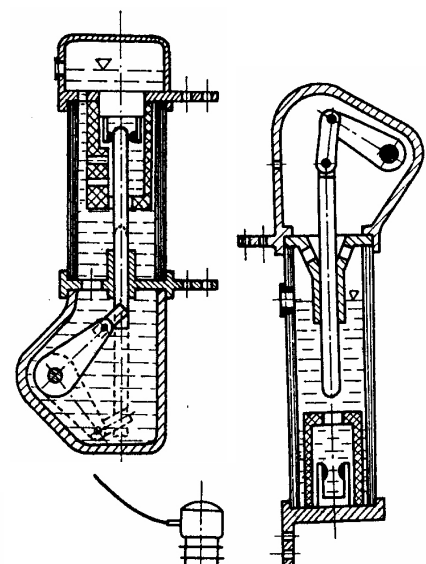
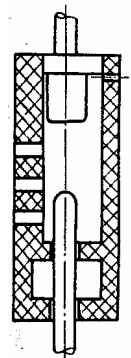
obrázek). Jinak řečeno je v místech štěrbin větší tloušťka stěny komory. Následkem osově nesouměrného vnitřního prostoru se soustřeďuje převážná část bubliny obloukových plynů a par na straně odvrácené od štěrbin. Když se roubík vysune z komory natolik, že uvolní pivní štěrbinu, plyn má ihned snahu touto štěrbinou unikat. Při úniku strhuje s sebou oblouk do kanálku. Roubík postupně otevírá další štěrbinu až se nakonec vysune ze spodního axiálního otvoru. Postupným otevíráním štěrbin dochází k natahování oblouku a především k intenzivnímu proudění plynu kolem oblouku. Tím je způsobeno uhasnutí oblouku opět v první nule proudu. Pokud oblouk neuhasne, než roubík opustí komoru spolupůsobí pak s příčnými štěrbinami ještě i axiální tryska.

Jelikož plyn uniká postupně jednotlivými štěrbinami, tlak uvnitř komory nedosahuje takových hodnot jako u axiálních komor. Mechanické namáhání komor je tím podstatně menší.

Vypínací schopnost radiálních komor vzrůstá s počtem štěrbin v komoře.

**Zhášedlo kombinované** - je to kombinace předchozích dvou uspořádání. Axiální zhášedlo zařazené za zhášedlo radiální vstupuje do činnosti jen při malých proudech. Při vypínání velkých proudů oblouk uhasíná dříve než opustí komoru. Tato kombinace zhášedel se používá pro vyšší hodnoty napětí.

Pól maloolejového vypínače vn má tvar štíhlého, vždy svisle orientovaného válce. Na obou koncích válcového pouzdra z laminovaného izolantu jsou kovové uzávěry a praporce pro připevnění přívodů. Pevná palcová soustava je uvnitř zhášecí komory (axiální nebo radiální), válcový vypínací roubík je ovládán klikovým mechanismem. Horní část pólu nad hladinou oleje tvoří expanzní prostor.



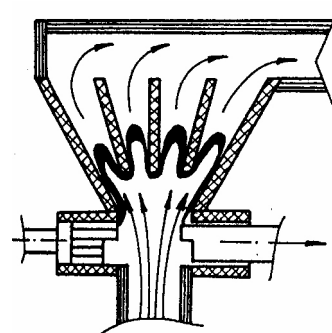
Maloolejové vypínače na vvn se stavějí jednoznačně v provedení sloupovém. Jelikož jde o vypínače venkovní je laminátové pouzdro kryto porcelánovým převlekem.

### 3.2.3. Tlakovzdušné vypínače

Zhášecím prostředím v těchto vypínačích je stlačený vzduch, zajištěný předem do zásoby pomocí kompresoru. Nedílnou součástí těchto vypínačů je proto zásobník tlakového vzduchu a jeho rozvod, řízený ventilovým mechanismem. Stlačený vzduch používáme také k výkonu spínacího pohybu roubíku.

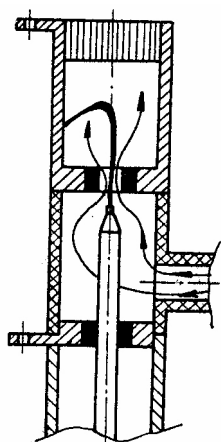
Ofukovat oblouk lze dvojím způsobem: podélně v trysce nebo příčně ve štěrbinách.

**Zhášedla s příčným ofukováním oblouku** - se používají jen zřídka, protože i když zvládnou velké proudy (až 100 kA) mají velmi velkou spotřebu vzduchu. Oblouk je zde natahován mezi izolační rošty proudem stlačeného vzduchu až dojde k jeho roztržení.



Dnes se již skoro výhradně používají **trysky s podélným**

**ofukováním oblouku** - mechanika zhášení je obdobná jako u axiální komory kapalinových vypínačů. Rozdíl je jen v tom, že nemusíme čekat, až si oblouk sám vytvoří zhášecí plyn, ale máme jej připravený v zásobníku. Jakmile se roubík vysune z trysky, uvolní se cesta proudu vzduchu do prostoru nad kontaktem. Proud vzduchu, který obaluje ze všech stran hrot roubíku, zanesou oblouk hořící mezi tímto hrotem a stěnou trysky ihned do osy trysky. Jedna jeho pata zůstává na opalovacím hrotu roubíku, druhá je přefouknuta na stěnu válce v



prostoru nad tryskou. Uvažujeme-li polohu hrotu roubíku blízko ústí trysky, vidíme, že se proud vzduchu nad hrotem sbíhá radiálně k ose soustavy a snaží se vniknout do oblouku. Tato radiální složka proudění pomáhá rozrušit ionizovaný sloupec v nule proudu. Konečná přerušování obvodu nastává zase vsunutím izolační vrstvy vzduchu mezi pahýly zbytkového ionizovaného sloupce.

U tlakovzdušných vypínačů je nutné vždy určit jejich vypínací schopnost z hlediska proudu. Velikost proudu, který tryska ještě zvládne, určuje její zahlcení trysky. Vzduch v trysce ohřátý obloukem na vysokou teplotu nabývá velkého tlaku a expanduje na obě strany trysky. Tento jev je velmi nepříjemný na vstupní straně trysky



neboť zde působí proti tlaku zhášecího vzduchu, přitékajícího ze vzduchojemu. Při malých proudech je tento protitlak bezvýznamný, ale při velmi velkých proudech (řádově desítky kiloampér) je protitlak takový, že do přívodního prostoru vnikne značné množství horkého a ionizovaného plynu. V nule proudu tlačí pak zpět do trysky vzduch proudící z přívodního vedení před sebou tento ionizovaný plyn, který nemá nutnou elektrickou pevnost. Oblouk neuhasíná, opětovně se zapaluje a zhášení selhává.

Proto vypínací schopnost tlakovzdušné trysky roste s tlakem vzduchu ve vzduchojemu nejen napětově, ale i proudově. Další možností jak lze zvýšit výkonnost trysky je zvětšení jejího průřezu, neboť při větším průřezu vrostou taky množství vzduchu, které je nutné ohřát, aby nastal zpětný tok vzduchu. Proto se dnes už nikdy nesetkáme s jednoduchou tryskou, ale jen s tryskami dvojími a to buď kovovými nebo izolačními.

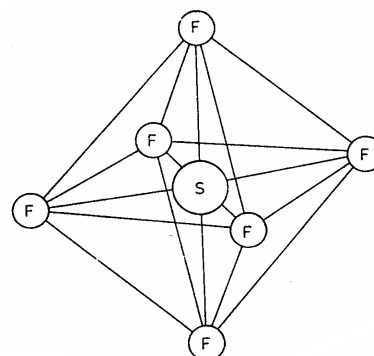
Zvláštní skupinu tlakovzdušných vypínačů tvoří vypínače autopneumatické (samotlaké). Ty se liší tím, že nemají zásobník vzduchu a že proud vzduchu potřebný pro zhášení oblouku si vyrábí vypínač sám až při vypínacím pochodu. Zdrojem je energie nastřádaná v napnuté pružině. Pružina je dimenzována tak, aby stačila nejen způsobit vypínací pohyb kontaktu, ale současně aby uvedla do pohybu píst. Píst stačuje ve válci vzduch, který pak proudí izolačním rozvodem do zhášecí trysky. Množství vzduchu je opět pokaždé stejné a proto tyto vypínače mají zcela charakter vypínačů s cizí zhášecí energií. Výhodou takových vypínačů je, že nepotřebují kompresorovou stanici ani rozvod vzduchu. Nevýhodou je pak velmi malá vypínací schopnost, proto se dnes už používají výhradně u vypínačů vn malých výkonů.

Tlakovzdušné vypínače vvn se vnějším vzhledem podobají maloolejovým, jen na spodní části mají tlakovou nádobu sloužící jako zásobník stlačeného vzduchu.

#### 3.2.4. Plynotlaké vypínače

Rostoucí požadavky na spínací přístroje a rozvodná zařízení vn a vvn vedly k hledání nových izolačních a zhášecích látek. Jednou z nich je elektronegativní plyn fluorid sírový ( $\text{SF}_6$ ). Což je plyn vyznačující se velkou elektrickou pevností, nehořlavostí, velkou chemickou stálostí, dobře odvádí teplo a má výborné zhášecí schopnosti.

Fyzikální vlastnosti - v plynném skupenství je bezbarvý bez zápachu, nehořlavý a nejedovatý. Patří k nejtěžším plynům, jeho hustota je asi pětikrát větší než hustota vzduchu.



Chemické vlastnosti - patří k nejstabilnějším chemickým sloučeninám, protože molekula SF<sub>6</sub> má souměrnou strukturu charakterizovanou šesti kovalentními vazbami. Kolem atomu síry, umístěného v těžišti molekuly, je seskupeno šest atomů fluoru a výsledkem této struktury je velká chemická stabilita i při vysokých teplotách.

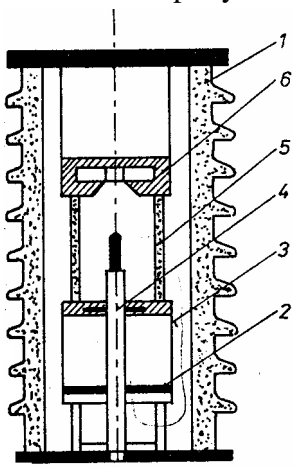
Elektrické vlastnosti - je nutné udržovat vlhkost na nízké úrovni, aby nedocházelo k vnitřnímu rosení na izolačních částech a tím ke snižování izolačních vlastností. Na izolační stav SF<sub>6</sub> mají kromě vlhkosti vliv ještě další faktory: tlak plynu, tvar elektrod, nečistoty elektrod, drsnost elektrod, nečistoty plynu, vliv vloženého izolantu, doba a tvar přiloženého napětí a taky homogenita pole. Hlavním důvodem proč se SF<sub>6</sub> používá ke zhasení oblouku je jeho velká afinita k volným elektronům, protože má velkou hmotnost je proti volným elektronům téměř nepohyblivý a nemůže proto tvořit nosiče nábojů. Zhášecí schopnost SF<sub>6</sub> je při tlaku 0,2 MPa asi 160 A, kdežto u vzduchu je to asi 6 A.

Fyziologické vlastnosti - je považován za fyziologicky neškodný. Ačkoliv je velmi stabilní, je teplem oblouku rozkládán na složky, z nichž některé jsou jedovaté, dusivé, dráždivé a agresivní. K absorpci těchto rozkládaných produktů se používá aktivovaný oxid hlinitý. Kromě toho se před otevřením spínače odsaje SF<sub>6</sub> do zvláštní nádrže a spínač se zavzdušní.

Dnes jedním z nejrozšířenějších typů zhášedel plynotlakých vypínačů jsou autopneumatická zhášedla a dvojtlačené soustavy

**Autopneumatické zhášedlo** - oblouk je zde zhasen proudem SF<sub>6</sub> vyvolaným při vypínání pístem, jenž se pohybuje ve válci a je poháněn vypínacím mechanismem (pružinou). Různé konstrukce autopneumatických zhášecích komor s SF<sub>6</sub> využívají v podstatě dvou principů provedení:

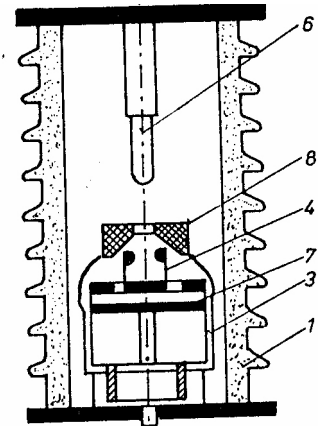
*Vypínač s pevnou kovovou tryskou* - při vypínání je plyn pod pístem 2 stlačován ve válci 3 a vnitřní dutinou pohyblivého kontaktu 4 proudí do vnitřní dutiny izolátoru 1. Přitom oblouk



hořící mezi pevným kontaktem 6 a kontaktem pohyblivým je intenzivně ofukován a dochází k jeho uhašení. Nedostatkem je existence izolační trubky 5, která přidružuje kontakt. Protože ve vypnutém stavu se tato trubka nachází neustále pod napětím. Tomu potom musí odpovídat délka i materiál, z něhož je vyrobena. Proto se přístroje tohoto principu používají na nižší napětí.

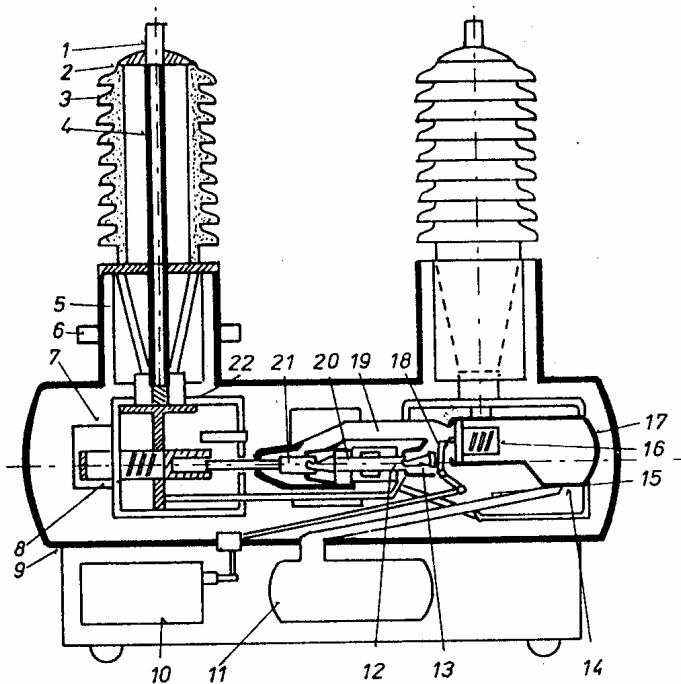
*Zhášecí zařízení s pohyblivou izolační tryskou* - při vypínání se současně pohybují válec 3, pohyblivý kontakt 4 i tryska 8.

Dochází ke stlačování plynu uzavřeného mezi pevným pístem 7 a tryskou. Až pevný kontakt 6 opustí trysku, stlačený plyn začne proudit tryskou a intenzívně deionizuje oblouk.



**Dvojtlaková soustava** - ke zhášení je zde využito ofukování proudem SF<sub>6</sub> který vzniká při přepouštění z nádoby s vysokým tlakem (asi 1,5 až 2 MPa) do nádoby s nízkým tlakem (0,2 až 0,4 MPa). Po proběhnutí pracovního cyklu se automaticky zapne kompresor, který přečerpá přes čistící uhry SF<sub>6</sub> zpět z nádoby nízkého tlaku do nádoby s vysokým tlakem.

U dvojtlakových vypínačů vzniká zvláštní problém, protože při tlacích vyskytujících se ve vysokotlakém okruhu kapalní SF<sub>6</sub> již při kladných Celsiových teplotách. Aby vypínače mohly pracovat i při nízkých teplotách, tepelně se izoluje vysokotlaký zásobník a hlavní zásobník je navíc vybaven elektrickým vyhříváním.



### 3.2.5. Vakuové vypínače

Vakuová zhašedla se dnes stále více používají pro své velké výhody: jsou nehořlavá, při funkci tichá, nevyfukují ionizované plyny nebo plameny, mají o jeden až dva řády nižší obloukové napětí, a tím i zhašecí energii, mají minimální opotřebení a malý potřebný zdvih.

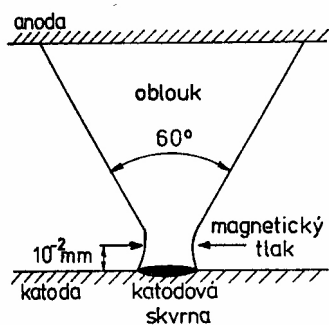
#### Izolační vlastnosti vakua

Při snížení tlaku plynu pod úroveň odpovídající minimu Paschenova zákona a dané vzdálenosti mezi kontakty napětí při kterém dojde k průrazu prudce vzrůstá.

Obvykle při tlaku nižším než  $10^{-3}$  Pa je střední volná dráha elektronů ve zbytkovém plynu značně delší než

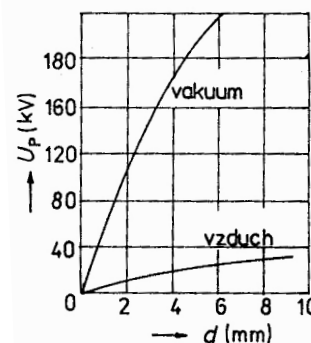
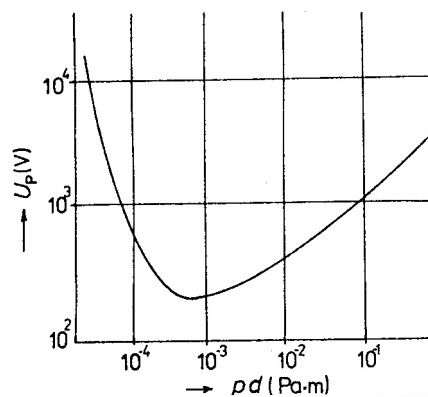
vzdálenost kontaktů a proto po přiložení napětí ke kontaktům nemůže dojít k nárazové ionizaci volnými elektrony a samovolný elektrický výboj nenastane. Elektrická pevnost mezikontaktního prostoru ve vakuu je mnohokrát větší než pevnost tohoto prostoru při atmosférickém tlaku.

#### Oblouk ve vakuu



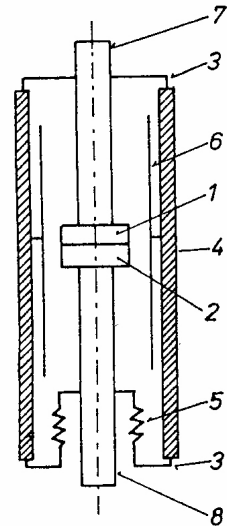
Při vypínacím pochodu nejprve zaniká kontaktní síla, tím se zmenšuje počet stykových bodů a proud se přesouvá do posledního místa dotyku kontaktů. Toto místo se Jouleovým teplem značně zahřívá, až dojde k vypaření části kontaktního kovu. Mezi kontakty se tak tedy objeví mrak kovových par a dochází k jejich ionizaci a k přenosu proudu vzniklým

plazmatem. Tvar vakuového oblouku je patrný z obrázku. Je to vlastně kužel s vrcholem na katodě. Styková plocha oblouku s anodou je velká, což zaručuje, že na anodě se neobjeví přehřáté místo. Při hoření oblouku unikají z jeho trupu do okolního prostoru jednotlivé ionizované částice. Při nedostatečném přísunu kovových par proto oblouk ztrácí stabilitu a vypínač odsekává proud již před jeho průchodem nulou. Tento stav je nežádoucí, protože v obvodu vznikají velká přepětí. Abychom zabránili předčasnému utržení oblouku přidáme do základního materiálu materiál s vyšší tenzí par, který zajistí dostatečné množství kovových par i při nižší teplotě katodové skvrny. Kontakty proto vyrábíme nejčastěji z dokonale odplyněného a dezoxidovaného porézního wolframu nasyceného mědí.



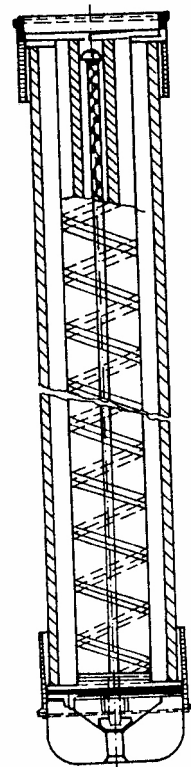
### **Zhášení oblouku ve vakuu**

Největším problémem vakuového vypínání spočívá v konstrukci mechanicky pevné a přitom vakuově těsné nádoby a ve volbě a technologickém zpracování kontaktních materiálů. Jak je patrné z obrázku jsou vakuová zhášedla celkem jednoduchá. Jedná se vždy o dva masivní kontakty 1 a 2 umístěné čelně proti sobě ve vakuové nádobě 4. Nádoba je ze skla nebo vakuové keramiky s kovovými víky 3. Jeden z kontaktů je pevně připojen k víku a druhý má možnost osového pohybu několika milimetrů při zachování dokonalé těsnosti pružného členu - vlnovce 5. Vlnovec se většinou vyrábí z titanové oceli a určuje mechanickou životnost zhášedla (ta je asi  $10^6$  cyklů). Aby nedocházelo k napařování kovových par na vnitřní straně vakuové nádoby, je kolem kontaktů kovové stínění 6. Po oddálení kontaktů tedy dojde za pomoci kovových par k zapálení oblouku. Ten hoří buď po skoro celé ploše oblouku nebo mají-li kontakty vyhloubené drážky ve tvaru z jedné strany zužujícího se půlměsíce se vlivem dynamických sil roztočí. Množství par musí být takové, aby došlo k uhasnutí oblouku přesně v nule proudu a v obvodu zhášedla se nevytvářela přepětí.



### **Výhody vakuových zhášedel**

Mají malé obloukové napětí, a tím i malý ztrátový výkon. Malý zdvih kontaktů umožňuje použít jednoduchý mechanismus. Zhášedlo je zcela uzavřené a proto může pracovat v jakémkoliv prostředí. Vyžaduje minimální údržbu a má dlouhý bezrevizní chod. Pracuje nehlukně a je zcela bezpečné z hlediska ohrožení obsluhy.



### **3.3. Vysokonapět'ové pojistky**

U vysokonapět'ových pojistek je nutné požadovanou vypínací schopnost zajistit zmenšením průřezu vodičů asi o řád, nebo podstatným zvětšením počtu míst zúženého průřezu v porovnání s pojistkami nn. Tavné vodiče tedy vycházejí velmi dlouhé a je nutné je navíjet šroubovitě na keramickou kostru s podélnými žebry. V řezu má kostra tvar hvězdice s válcovou dutinou v podélné ose. Tavné vodiče se dotýkají kostry jen na hranách žebber, takže mohou být podél celého povrchu obklopeny zrnitým hasivem.

Pájením jsou připojeny k závěrným víčkům patrony, které přecházejí ve vnější válcové objímky. Prostřednictvím objímek je patrona uchycena v kontaktních pérech upevněných v pojistkovém spodku.

Válcová dutina hvězdicové kostry je využita k umístění odporového tavného vodiče, sloužícího k signalizaci stavu. I tento vodič bývá pro svoji délku šroubovitě navinut na tenké keramické tyčince. Podobně jako u pojistek nn drží vlastní indikační kolík v zasunuté poloze proti tlaku pružiny.

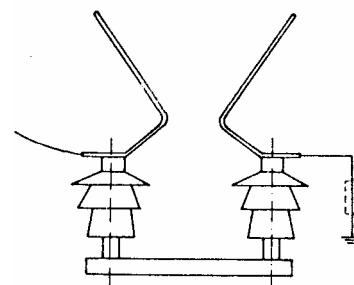
Pojistky vn se vyrábějí na jmenovité proudy do 100 A, takže k jištění v obvodech s většími proudy se používá paralelní řazení několika patron.

### 3.4. Svodiče přepětí

Přepětí vzniká v elektrických sítích vn v podstatě dvojím způsobem a to nejčastěji vzniká na fázových vodičích úderem blesku do stožárů, zemního lana nebo předmětů v těsné blízkosti vedení, tomuto přepětí se pak říká atmosférické nebo vzniká při vypínání malých indukčních a kapacitních proudů a při zapínání dlouhých vedení naprázdno, tomuto přepětí se pak říká přepětí spínací.

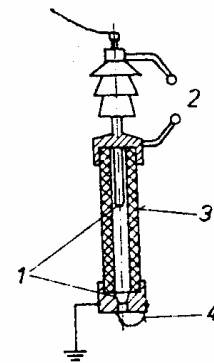
Jelikož přepětěvé vlny by mohly značně poškodit zařízení rozveden připojují se do obvodu tzv. svodiče přepětí. Podstata jejich činnosti spočívá v tom, že po přestoupení dovoleného napětí se vedení uzemní nejrychlejším způsobem a to průrazem jiskřiště, které představuje vědomě nejslabší izolační místo chráněné části sítě. Konečnou fází činnosti svodiče přepětí je opětné přerušení spojení se zemí, které by jinak bylo poruchovým stavem sítě.

Nejstarší a nejjednodušší svodič přepětí je tzv. **růžková bleskojistka**. Zhášení oblouku je zde realizováno prodlužováním jeho délky, které vyplývá z teplotního vztlaku a elektrodynamických sil. Protože paty oblouku se současně posouvají po různých směrem vzhůru, může být spodní nejkratší vzdálenost mezi růžky účinně deionizována. Nevýhodou je velmi malá vypínací schopnost a závislost elektrické pevnosti na počasí. Proto se používají jen na nepřilíš významných vedeních, popř. jako záložní ochrana společně s dokonalejším typem svodiče přepětí.



Aby se zvětšila vypínací schopnost svodičů přepětí musíme je vybavit zhášedlem.

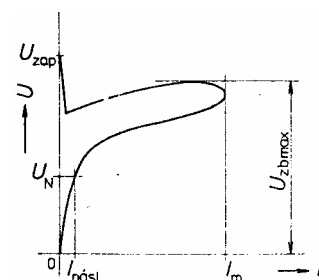
Nejjednodušší je zhášedlo s pevným hasivem. Svodič přepětí s tímto zhášedlem je **vyfukovací bleskojistka** neboli tzv. Torokova trubice. Má dvě sériově zapojené jiskřiště. Jedno (vnější) má funkci odpojovače, druhé (vnitřní) umístěné v trubce z plynotvorného materiálu zajišťuje zhášení elektrického oblouku. Vnější povrch trubky je opatřen vrstvou s velkým odporem. Vznikne-li přepětí, nastane nejdříve přeskok na vnějším jiskřišti, poté začne odporovou vrstvou procházet proud, sice poměrně malý avšak postačující k vytvoření takového úbytku napětí, aby došlo k zapálení oblouku na vnitřním jiskřišti. Značné množství plynů vzniklé rozkladem materiálu trubky tepelným účinkem oblouku ochlazuje oblouk a v nule proudu, po oslabení ionizačních pochodů vyfoukne plyny ven a zabrání opětovnému zapálení oblouku. Po uhasnutí oblouku mezi elektrodami vnitřního jiskřiště omezí odporová vrstva proud výboje na vnějším jiskřišti natolik, že výboj zanikne bez jakýchkoliv dalších zásahů. Dnes se již tyto bleskojistky také nevyrábějí, neboť jejich vypínací schopnost je vyhovující jen v určitém intervalu proudu (menší proud vytvoří málo plynu, větší moc) a další velkou nevýhodou je jejich schopnost svést jednu, maximálně několik málo přepětíových vln.



Dokonalý a výkonný svodič přepětí tedy musí být jednoduchý, aby pořizovací náklady byly přijatelné a musí působit opakovaně bez jakéhokoli dohledu a přívodu vnější energie.

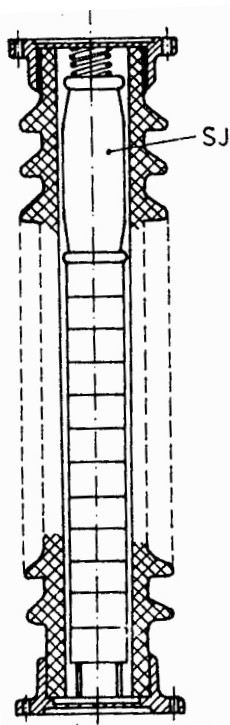
Přijatelné náklady jsou dány využitím zapalovacího jiskřiště jako nejjednoduššího zhášedla. Zvětšení výkonnosti spočívá proto v účinném omezení následného proudu (proudu procházejícího v konečné fázi činnosti svodiče přepětí) na takovou velikost, kterou jiskřiště stačí ještě přerušit. Prostředkem k účinnému omezení následného proudu je nelineární rezistor závislý na velikosti napětí tzv. varistor zapojený sériově s jiskřištěm nebo soustavou dílčích jiskřišť. Nelineární rezistor má tvar válečku vyrobeného lisováním a spékáním směsi karbidu křemíku vhodného zrnění a různých pojiv. Při vysokém napětí má malý odpor, při snížení napětí pak jeho odpor vzrůstá na velkou hodnotu. Tohoto využívá dnes nejrozšířenější svodič přepětí tzv. **ventilová bleskojistka**. Princip ventilové bleskojistky je závislý na varistoru, který jako elektrický ventil nejdříve otevře náboji cestu do země a potom ji po snížení napětí na jmenovitou hodnotu téměř uzavře.

Jiskřiště dovolí po příchodu rázově přepětíové vlny vzrůst napětí jen na hodnotu zapalovacího napětí, při kterém dojde k průrazu. Tímto okamžikem začne procházet nyní ještě studeným rezistorem



proud a napětí dosáhne pouze hodnoty úbytku napětí na rezistoru. V souladu s tvarem přepět'ové vlny se proud zvětšuje až k nějaké maximální hodnotě  $I_m$ , avšak napětí na rezistoru následkem nelineární charakteristiky se zvětšuje jen pozvolna. Protože se varistor průchodem proudem zahřeje, vzroste poněkud jeho vodivost a při zmenšení svodového proudu se mění napětí podle jiné křivky, položené poněkud níže. Jakmile je náboj odveden do země a napětí se sníží na hodnotu jmenovitého provozního napětí sítě, má rezistor opět velký odpor, následný proud je tedy poměrně malý a navíc je ve fázi s napětím existují proto podmínky k úspěšnému uhasnutí oblouku hořícího mezi elektrodami jiskřiště v první nule proudu.

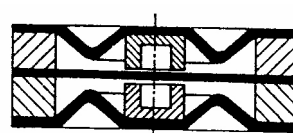
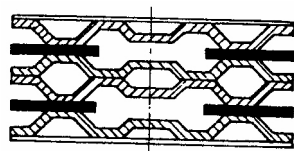
Jiskřiště ventilových bleskojistek je tvořeno soustavou dílčích jiskřišť řazených sériově. Touto úpravou se současně řeší dva požadavky. Prvním z nich je vznik průrazu s co nejmenším



zpožděním (aby vlna přepětí nepronikla daleko za svodič přepětí).

Druhým požadavkem je vytvoření podmínek k intenzivnímu zhášení oblouku (je splněn tím, že každé jiskřiště je jedno zhášedlo). Tato úprava jiskřiště umožňuje vytvářet stavebnicovou konstrukci. Jedno jiskřiště a jeden rezistorový kotouč tvoří jednotku pro určité napětí. Skládáním jednotek lze vytvořit svodič přepětí pro libovolné napětí.

Sériové řazení jiskřišť má za následek nerovnoměrné rozdělení napětí na jednotlivá jiskřiště, což je důsledek jejich různé kapacity vůči zemi. Jiskřiště vzdálenější od země mají menší kapacitu a jsou proto napět'ově více zatížena. Nerovnoměrné rozložení je vítané při zapalování, neboť vede k postupnému (kaskádnímu) průrazu jednotlivých jiskřišť. Má však nepříznivý vliv na zhášecí schopnost soustavy jiskřišť. Proto se rovnoměrné rozložení napětí v období zhášení oblouků zajišťuje paralelními rezistory popřípadě kondenzátory.





## 4. OBECNÉ ZÁKLADY ELEKTRICKÝCH STROJŮ

### 4.1. Rozdělení elektrických strojů

Elektrické stroje dělíme na stroje netočivé a stroje točivé. Netočivé stroje jsou zejména transformátory. Mezi točivé stroje patří motory, generátory a rotační měniče.

Transformátory mění elektrickou energii jedné parametrů na parametry jiné (střídavé napětí a proud jedné hodnoty na hodnoty jiné).

Motory mění elektrickou energii na energii mechanickou, generátory energii mechanickou na elektrickou a měniče elektrickou energii jednoho druhu na elektrickou energii jiného druhu (např. stejnosměrnou energii na střídavou).

### 4.2. Hlavní části elektrických strojů

Každý elektrický stroj se skládá z magnetického obvodu, vinutí, izolace a popřípadě dalších částí (kryty, chlazení, rámy, podvozky apod.). Jeho konstrukce je tedy závislá na tvaru magnetického obvodu, vinutí, izolaci a velice je též ovlivněna prostředím ve kterém stroj pracuje, krytím stroje, chlazením stroje, upevněním k podložce a u točivých strojů na spojení pohonu s hnanou částí.

Pro návrh stroje je tedy nutné vycházet z mnoha zadaných parametrů, především velikost a druh jmenovitého proudu, napětí, výkonu, prostředí, chlazení, rozměrů apod. Další velice podstatné vlivy na návrh stroje jsou pak druhy zatížení stroje (trvalý chod, krátkodobý chod přerušovaný chod apod.) a elektrická a mechanická zatížitelnost stroje.

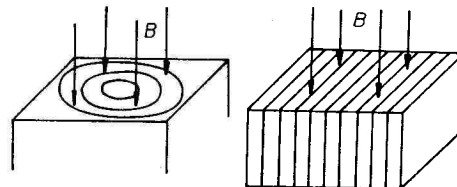
#### *Magnetický obvod*

Magnetický obvod má různý tvar podle druhu stroje. Prochází-li magnetickým obvodem střídavý magnetický tok potom se v něm kolmo na směr magnetického toku indukují tzv. Foucaultovy vířivé proudy, které způsobují značné ztráty.

Aby se ztráty vířivými proudy podstatně zmenšily, sestavují se magnetické obvody z plechů vzájemně

izolovaných. Plechy strojů se nejčastěji vyrábějí o tloušťce 0,35 nebo 0,5

mm. Plechy se izolují např. laky nebo keramickými vrstvami tloušťky 0,003 mm. „čistý“ průřez aktivního železa magnetického obvodu sestaveného z izolovaných plechů pak dostaneme, když změřený průřez násobíme činitelem plnění železa  $k_{Fe} = 0,85$  až  $0,95$ .



Ztráty vířivými proudy ve wattech lze vyjádřit vztahem

$\Delta P_F = C \frac{1}{\rho} (B_{\max} f a)^2 m$ , kde  $\rho$  je rezistivita železa,  $B_{\max}$  amplituda magnetické indukce,  $f$  frekvence,  $a$  tloušťka plechů,  $m$  hmotnost železa magnetického obvodu a  $C$  konstanta závisící na materiálu.

Kromě ztrát vířivými proudy se v železe projevují ztráty hysterezní. Hysterezní ztráty vznikají přemagnetováním železa. Práce potřebná k přemagnetování je úměrná ploše hysterezní smyčky.

Hysterezní ztráty pro  $B_{\max} < 1$  T jsou dány vzorcem  $\Delta P_h = C B_{\max}^{1,6} f m$

pro  $B_{\max} > 1$  T, pak vzorcem  $\Delta P_h = C B_{\max}^2 f m$

Při frekvenci 50 Hz tvoří hysterezní ztráty  $\Delta P_h$  asi 70 % celkových ztrát v železe  $\Delta P_{Fe}$ , které lze přibližně ve wattech vyjádřit vztahem

$\Delta P_{Fe} = \Delta p_{1,0} B_{\max} \frac{f}{50} k_p m$ , kde  $\Delta p_{1,0}$  jsou měrné ztráty [ $W \cdot kg^{-1}$ ] a  $k_p$  je činitel opracování.

Měrné ztráty  $\Delta p_{1,0}$  určují ztráty ve wattech v 1 kg železa při magnetické indukci 1 T a frekvenci 50 Hz (v praxi se uvádějí navíc i měrné ztráty  $\Delta p_{1,5}$  při magnetické indukci 1,5 T). Činitel opracování  $k_p$  určuje zhoršení vlastností magnetických obvodů opracováním plechů (např. drážkováním u točivých strojů, kde se pohybuje v rozmezí 1,5 až 2. U transformátorů pak v rozmezí 1,02 až 1,2).

Značného zmenšení celkových ztrát v železe  $\Delta P_{Fe}$  dosáhneme zušlechtěním železných plechů, přidáním 0,8 až 4,5 % křemíku a technologickým zpracováním. Plechy s přísadou křemíku jsou velmi křehké s poměrně větší rezistivitou než má železo (pro točivé stroje se elektrotechnické plechy vyrábějí s obsahem křemíku 0,3 % až 3,5 % a pro transformátory s obsahem křemíku 3,5 % až 4,5 %).

Podle výrobního způsobu se plechy dělí do tří skupin:

- a) válcované za tepla - křemíková ocel pro plechy válcované za tepla se vyrábí z pokud možno nejčistších surovin v martinských nebo elektrických obloukových pecích, odlévá se do kokil a ingoty se pak postupně válcují s řadou meziohřevů na bramy, ploštiny a plechy konečné tloušťky většinou 0,35 nebo 0,5 mm, měrné ztráty  $\Delta p_{1,0}$  se pohybují v mezích od 0,9  $W \cdot kg^{-1}$  do 1,5  $W \cdot kg^{-1}$ . Používají se pro rozvodné a svářecí transformátory, pro střídavé stroje točivé velkých a středních

výkonů, malé, trakční a jeřábové elektromotory.

- b) válcované za studena neorientované - měrné ztráty  $\Delta p_{1,0}$  se pohybují v mezích od 1,3 W. kg<sup>-1</sup> do 3,6 W. kg<sup>-1</sup>. Používají se pro magnetické obvody stejnosměrných strojů, střídavých strojů a malých transformátorků
- c) válcované za studena orientované - vyrábějí se v tloušťce 0,35 až 0,02 mm a používají se pro velké transformátory. Měrné ztráty  $\Delta p_{1,0}$  se pohybují v mezích od 0,52 W. kg<sup>-1</sup> do 0,8 W. kg<sup>-1</sup> ve směru válcování.

### ***Vinutí***

Nejpoužívanějším materiálem vinutí elektrických strojů je tažená, elektricky rafinovaně měď. Vinutí transformátorů do výkonu 1 600 kVA a rotorů asynchronních motorů nakrátko se často dělá z hliníku, neboť je levnější a lehčí, jeho největší nevýhodou je větší rezistivita, používají se další materiály jako například mosaz či bronz.

Tvar vinutí, počet cívek a závitů závisí především na druhu a velikosti stroje, může buď obepínat magnetický obvod (transformátory) nebo je uloženo v drážkách magnetického obvodu (točivé stroje). Průřez vinutí závisí především na procházejícím proudu, materiálu a chlazení vinutí.

Vinutí je třeba vždy dostatečně izolovat, aby nedošlo k průrazu. Je třeba také izolovat vodiče jež tvoří vinutí mezi sebou. Izolace musí. U strojů na vysoké napětí rozhoduje i elektrické namáhání.

### ***Izolace***

Zajišťuje izolaci mezi jednotlivými závity vinutí, mezi fázemi navzájem, mezi fázemi a zemí, mezi vinutím a magnetickým obvodem či kostrou apod.

Používají se stejně jako u přístrojů všechny tři skupenství izolačních materiálů, nejčastěji pevné látky (organické i anorganické - laky, keramické hmoty, slídy, silikony, PVC apod.), dále pak plyny (vzduch) a kapaliny (transformátorový olej).

Izolace musí nejenom zajistit dostatečnou elektrickou pevnost, ale případně i pevnost mechanickou (komutátory) a musí vydržet určité teploty, musí odolávat prachu, vlhkosti či chemickým vlivům

Každá izolace má kromě udané elektrické pevnosti určenu též maximální dovolenou teplotu  $\vartheta_{\max}$ , která je dána tzv. třídou izolace:

Izolace třídy Y -  $\vartheta_{\max} = 90 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Izolace třídy A -  $\vartheta_{\max} = 105 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Izolace třídy E -  $\vartheta_{\max} = 120 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Izolace třídy B -  $\vartheta_{\max} = 130 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Izolace třídy F -  $\vartheta_{\max} = 155 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Izolace třídy H -  $\vartheta_{\max} = 180 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Izolace třídy C -  $\vartheta_{\max} > 180 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Při překročení této hranice o  $10 \text{ }^{\circ}\text{C}$  se životnost izolace zkrátí na polovinu, proto dovolené oteplení stanovené předpisy  $\Delta\vartheta_{\max} = \vartheta_2 - \vartheta_1$  (kde  $\vartheta_1$  je teplota okolního vzduchu, která nemá přestoupit  $35 \text{ }^{\circ}\text{C}$  - zjišťuje se teploměrem ze vzdálenosti 1 až 2 m od stroje, chráněným před sáláním a průvanem a  $\vartheta_2$  je průměrná střední teplota stroje) nesmí tuto hranici při zadaném zatížení stroje nikdy překročit!

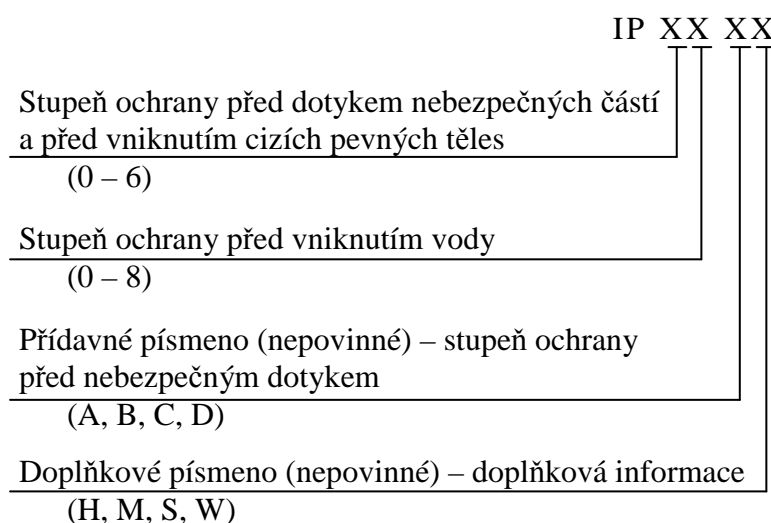
### ***Prostředí ve kterém stroj pracuje***

Na volbu konstrukce, izolace a krytí strojů má vliv prostředí, ve kterém stroj pracuje.

Prostředí dělíme na: obyčejná, aktivní a pasivní (viz kapitola 1.).

### ***Krytí***

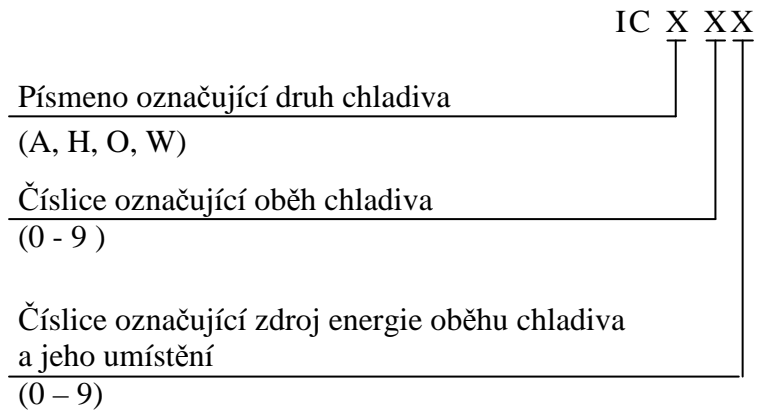
je to souhrn konstrukčních opatření, kterými se chrání stroj před vniknutím cizích předmětů a vody a které chrání obsluhující osoby před úrazy vzniklými dotykem s živými nebo pohybujícími se částmi. Je dáno mezinárodním označením IP



## ***Chlazení***

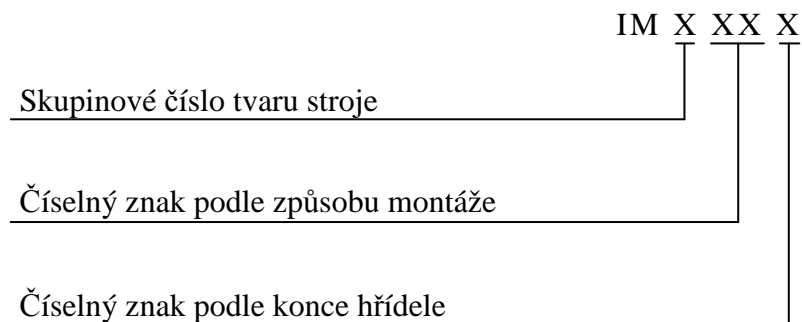
Ztrátové teplo je nutné ze stroje odvádět chlazením, které opět promluví do jeho podoby.

Chlazení se označuje mezinárodní značkou IC



## ***Montáž***

Vnější podoba stroje závisí taky na jeho upevnění k podložce a u točivých strojů na spojení s poháněným zařízením. Všechny tyto konstrukční řešení jsou zahrnuty v mezinárodním označení tvaru strojů IM

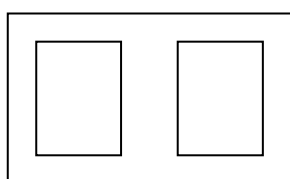


## 5. TRANSFORMÁTORY

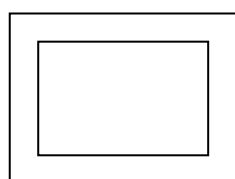
### 5.1. Konstrukční uspořádání:

Základní části transformátoru jsou magnetický obvod tvořený vzájemně izolovanými transformátorovými plechy a vinutí Cu nebo Al. Kromě těchto částí mají transformátory různé kryty sloužící jednak k izolaci a jednak k ochraně proti prostředí. Dále mohou mít transformátory různé druhy chlazení popřípadě mít podvozek či jiné mechanické upevnění.

*Aktivní železo transformátoru* - magnetický obvod se skládá z plechů nejčastěji 0,35 nebo 0,5 mm bez vzduchové mezery (tím bude malý proud naprázdno). Jednofázové transformátory mají dva různé tvary magnetických obvodů a to plášťový nebo jádrový.

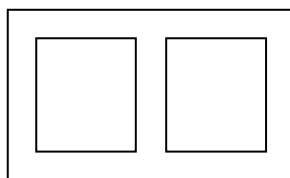


plášťový

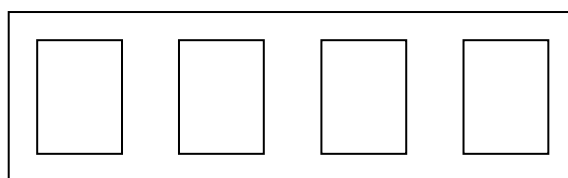


jádrový

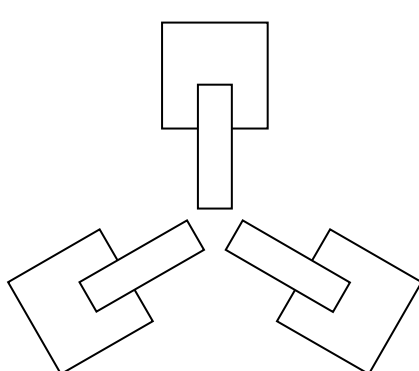
Trojfázové transformátory mají různé druhy obvodů: jádrový, plášťový popřípadě to může být soustava tří jednofázových obvodů posunutých prostorově o  $120^\circ$  a to buď zvlášť nebo se společným středním sloupkem.



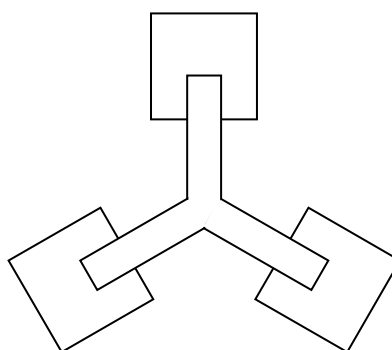
jádrový



plášťový

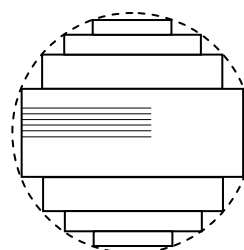


tři jednofázové posunuté o  $120^\circ$

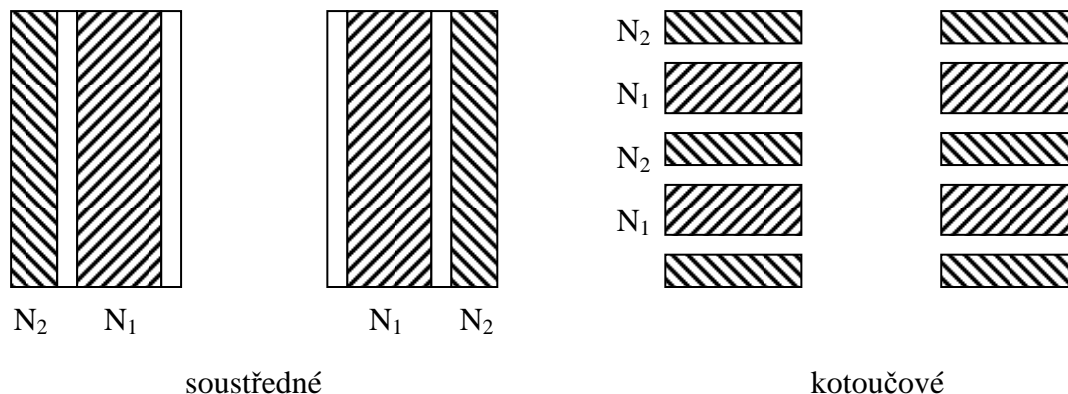


tři jednofázové se společným sloupkem

Jelikož u velkých transformátorů je jednodušší navinout cívku na kruhovou kostru, proto se pro využití výkonu dělá magnetické jádro tzv. odstupňování.



*Vinutí transformátorů* - Vyrábí se z izolovaných Cu nebo Al vodičů navinutých na izolovaných kostrách. Jednofázové i trojfázové mají různé druhy uspořádání vinutí, které dělíme podle uspořádání cívek na soustředné a kotoučové a podle uspořádání závitů na cívkové a polohové.



### Chlazení transformátorů

Do 30 KVA výkonů transformátoru se transformátory vyrábějí jako vzduchové tedy chlazení jen okolním vzduchem

Do 20 MVA se transformátory chladí přirozeným chlazením v oleji. Nádoby jsou hladké .

Do 25 MVA se chladicí plocha zvětšuje zvlněním.

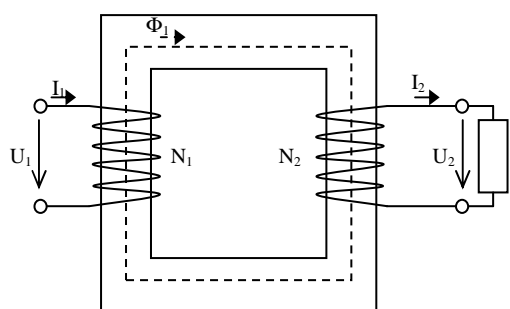
Do 30 MVA se chladicí plocha zvětšuje trubkami přivařenými na nádobě s transformátorem.

Do 60 MVA se zvyšuje chlazení ofukováním trubek nebo radiátoru.

Od 60 MVA chladíme nuceným oběhem oleje tedy horký olej odvádíme do chladiče a studený přivádíme zpět do nádoby.

### 5.2. Princip činnosti

Transformátor má na magnetickém. obvodu navinuty minimálně dvě cívky, primární cívka se



připojuje na síť a odebírá z ní střídavý příkon. Cívkou začne procházet proud  $I_1$  a tím vybudí střídavý magnetický tok v magnetickém obvodě. Tento magnetický tok prochází oběma cívkami a indukuje do nich napětí. Napětí indukované do primární cívky je úbytkem napětí v primárním obvodě a napětí

indukované do sekundární cívky je zdrojem napětí v sekundárním obvodě.

### 5.3. Jednofázové transformátory

#### 5.3.1. Indukované napětí a převod transformátoru

Okamžitá hodnota indukovaného napětí je dána indukčním zákonem  $u_i = N \frac{d\Phi}{dt}$ ,

kde  $\frac{d\Phi}{dt}$  znamená změnu toku za element času. Mění-li se magnetický tok sinusově tedy  $\Phi = \Phi_{\max} \sin \omega t$  pak po dosazení a vyřešení diferenciální rovnice dostaneme vztah pro okamžitou hodnotu indukovaného napětí  $u_i = \omega N \Phi_{\max} \cos \omega t$ . Maximální hodnota indukovaného napětí ( $\cos \omega t = 1$ ) je  $U_{i \max} = \omega N \Phi_{\max}$  a jelikož  $\omega = 2\pi f$  a  $U_{i \max} = \sqrt{2} U_i$ , dostáváme vztah pro efektivní hodnotu indukovaného napětí  $U_i = 4,44 \cdot \Phi_{\max} \cdot f \cdot N$

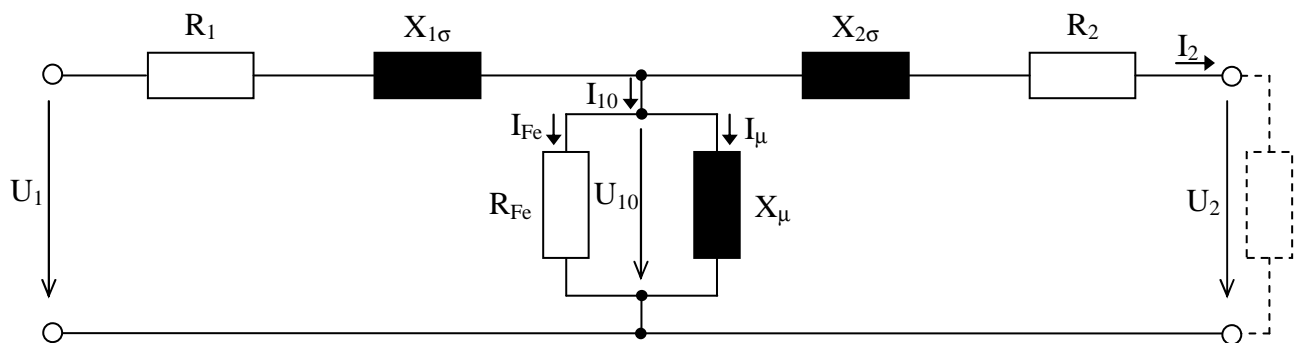
U ideálního transformátoru můžeme říct, že  $U_1 = U_{i1} = 4,44 \Phi_{\max} f N_1$  a  $U_2 = U_{i2} = 4,44 \Phi_{\max} f N_2$ .

Dělením obou rovnic dostáváme vztah pro převod transformátoru  $p = \frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$ .

Zanedbáme-li i ztráty transformátoru ( $S_1 = S_2$ ) můžeme vztah pro převod transformátoru

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

#### 5.3.2. Náhradní schéma a fázorový diagram transformátoru



$X_{1\sigma}$  - rozptylová reaktance primární cívky dané rozptylovým magnetickým tokem  $\Phi_{1\sigma}$

$X_{2\sigma}$  - rozptylová reaktance sekundární cívky dané rozptylovým man. tokem  $\Phi_{2\sigma}$

$R_1, R_2$  - činné odpory cívek

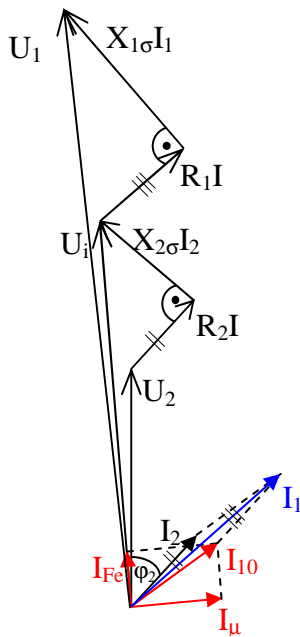
$R_{Fe}$  - odpor železa je dán tepelnými ztrátami

$X_{\mu}$  - reaktance železa

$$R_1 I_1 + X_{1\sigma} I_1 + U_i = U_1 \quad R_2 I_2 + X_{2\sigma} I_2 + U_i = U_2$$

$$I_{10} = I_{Fe} + I_{\mu} \quad I_1 = I_{10} + I_2$$

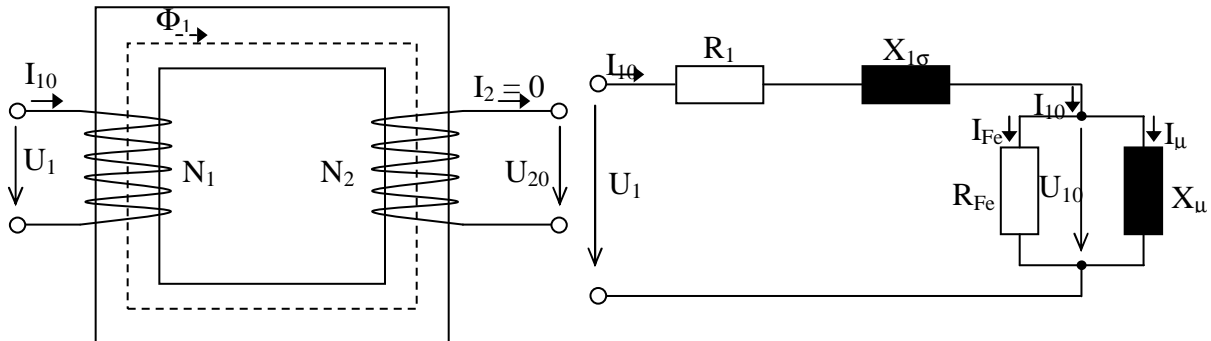




Při konstrukci fázového diagramu vycházíme z hodnot naměřených na sekundární straně ( $U_2$  a  $I_2$ ). K napětí  $U_2$  přičteme obrácené hodnoty vektorů odpovídajících úbytků na odporu  $R_2$  (je ve fázi s proudem  $I_2$ ) a na rozptylové reaktanci  $X_{2\sigma}$  (je o  $90^\circ$  posunut před proud  $I_2$ ). Koncový bod spojíme s počátkem a získáme tím vektor indukovaného napětí  $U_i$ . Dále musíme nakreslit činnou a jalovou složku magnetizačního proudu  $I_{10}$ , kde činná složka  $I_{Fe}$  je ve fázi s indukovaným napětím a jalová složka  $I_\mu$  se zpožďuje o  $90^\circ$ . Vektorový součet těchto složek je proud na prázdno  $I_{10}$ . Sečteme-li vektorově tento proud s proudem  $I_2$  získáme proud  $I_1$ . Můžeme nyní k indukovanému napětí přičíst úbytek na odporu  $R_1$  (ve fázi s  $I_1$ ) a úbytek na rozptylové reaktanci  $X_{1\sigma}$  (předbíhá proud  $I_1$  o  $90^\circ$ ). Spojením počátku a konce úbytku na  $X_{1\sigma}$  dostáváme napětí  $U_1$ .

s  $I_1$ ) a úbytek na rozptylové reaktanci  $X_{1\sigma}$  (předbíhá proud  $I_1$  o  $90^\circ$ ). Spojením počátku a konce úbytku na  $X_{1\sigma}$  dostáváme napětí  $U_1$ .

### 5.3.3. Transformátor naprázdno



Transformátor ve stavu naprázdno na rozpojené sekundární svorky a sekundárním vinutím tedy neprochází žádný proud. Vstupním vinutím prochází proud  $I_{10}$ , který je velice malý a slouží k vytvoření magnetického toku v jádře a ke krytí ztrát v železe. Skládá se tedy ze dvou částí: s proudem magnetizačního  $I_\mu$  (fázově posunutého o  $90^\circ$  za  $U_1$ ) a s proudem na krytí ztrát v železe  $I_{Fe}$  (ve fázi s napětím  $U_1$ ).

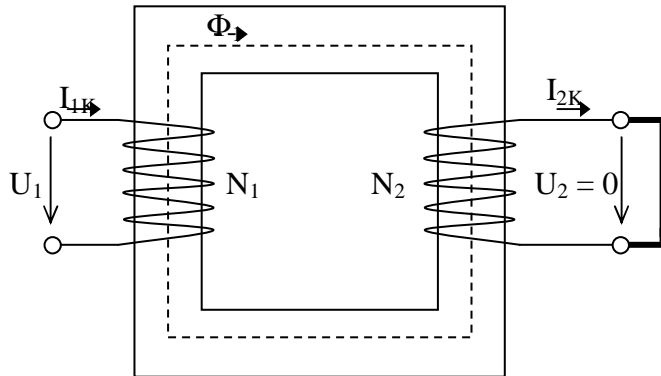
Voltampérová charakteristika transformátoru naprázdno odpovídá magnetizační charakteristice. Jouleovy ztráty ve vinutí jsou díky malému proudu velice malé a proto je zanedbáváme, tedy veškeré ztráty ve stavu naprázdno považujeme za ztráty v železe.

Měřením naprázdno a výpočtem jsme z naměřených hodnot ( $I_2, U_2, P_2$ ) určili parametry dvou

prvků náhradního schéma  $R_{Fe}$ ,  $I_{\mu}$  ( $R_a = \frac{U_1}{I_{10}} \cdot \cos \varphi_1$ ,  $X_{\mu} = \frac{U_1}{I_{10}} \cdot \sin \varphi_1$ ).

### 5.3.4. Transformátor nakrátko

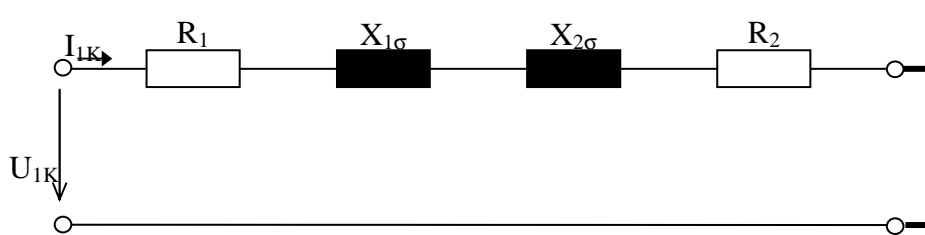
Při měření stavu nakrátko jsou výstupní svorky spojeny do krátka (tedy napětí  $U_2 = 0$ ). Napětí



na primární cívce musíme snížit tak, aby sekundárním vinutím procházel právě jmenovitý proud, neboť při plném primárním napětí by zkratový proud natolik zahříval transformátor, že by mohlo dojít k jeho zničení. Sníženému primárnímu napětí říkáme napětí nakrátko a často jej vyjadřujeme

$$\text{v procentech jmenovitého napětí. } u_{1K} = \frac{U_{1K}}{U_{1N}} \cdot 100\%$$

Náhradní schéma transformátoru ve stavu nakrátko kreslíme bez paralelní větve  $R_{Fe}$ ,  $X_{\mu}$ , neboť impedance zkratu je mnohonásobně menší a tedy téměř celý proud jím bude procházet.

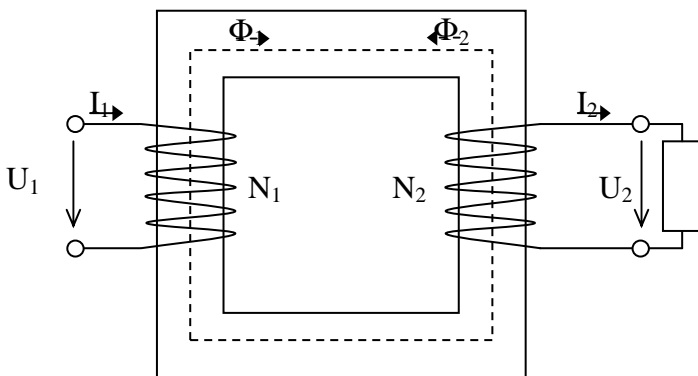


Procentní napětí nakrátko bývá 4-10%. Měřením nakrátko jsme zjistili parametry

$R_1, R_2, X_{1\sigma}, X_{2\sigma}$ .

### 5.3.5. Transformátor při zatížení a zatěžovací charakteristika transformátoru

Transformátor při zatížení neboli tzv. provozní nastává tehdy je-li k sekundárním svorkám



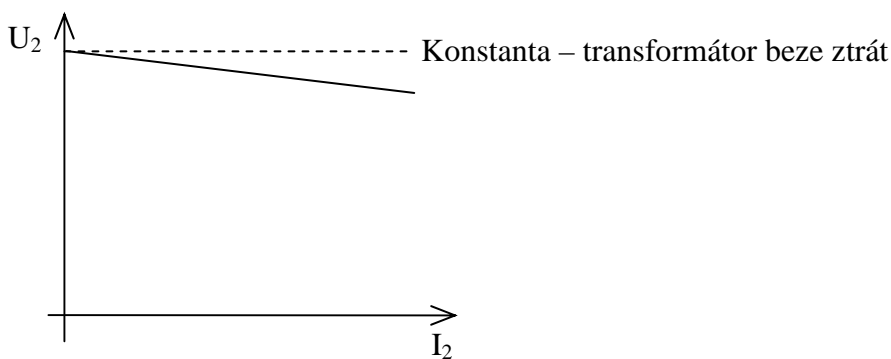
připojen spotřebič o impedanci  $Z$  a sekundárním obvodem prochází proud  $I_2$ . Transformátor dodává výkon do spotřebiče. Magnetickým obvodem prochází tok  $\Phi_1$  buzený primárním proudem a proti němu tok  $\Phi_2$  buzený proudem sekundárním.

Výsledný tok  $\Phi$  musí však být vždy natolik velký, aby do primární cívky indukoval stále stejné napětí, které je v rovnováze s napětím zdroje  $U_1$ .

Zvětší-li se odebíraný proud  $I_2$ , zvětší se tím i tok  $\Phi_2$ , tím se zmenší výsledný tok  $\Phi$ , zmenší se též indukované napětí, a proto se zvětší primární proud  $I_1$  a tím i tok  $\Phi_1$ . Výsledný tok se tak vrátí na původní hodnotu. Platí tedy  $\Phi = \Phi_1 - \Phi_2 = \text{konstanta}$ , tzn. že prostřednictvím magnetického toku se přenesl požadovaný větší výkon ze strany sekundární na stranu primární. Obdobně to platí i při zmenšení proudu  $I_2$ , tím se zmenší magnetický tok  $\Phi_2$  a tím se zvětší výsledný tok  $\Phi$ . Indukované napětí se též zvětší a proud  $I_1$  se proto zmenší, zmenší se i tok  $\Phi_1$  a výsledný tok se opět vrátí na původní hodnotu.

### **Zatěžovací charakteristika transformátoru**

Sekundární napětí se se zatížením zmenšuje, protože část indukovaného napětí ubývá na vnitřní impedanci transformátoru.



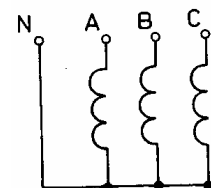
## **5.4. Trojfázové transformátory**

### **5.4.1. Zapojení trojfázových transformátorů**

Vinutí trojfázových transformátorů můžeme spojovat do trojúhelníku, hvězdy nebo lomené hvězdy. Svorky transformátoru popisujeme na straně vyššího napětí velkými písmeny na straně nižšího napětí pak písmeny malými.

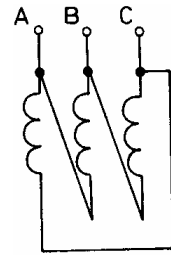
#### **Zapojení transformátoru do hvězdy (Y, y, $\lambda$ )**

Zapojení do hvězdy znamená, že začátky nebo konce vinutí spojíme do uzlu a druhé vývody vinutí připojíme ke svorkám (často se ke svorce N vyvede i spojený uzel).



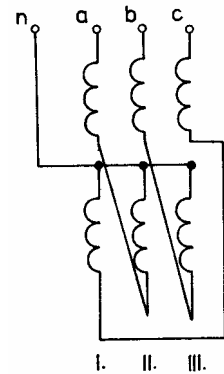
### Zapojení transformátoru do trojúhelníku (D,d,Δ)

Zapojení do trojúhelníku dostaneme tak, že konec (začátek) cívky na jednom sloupku spojíme se začátkem (koncem) cívky na následujícím (předchozím) sloupku.

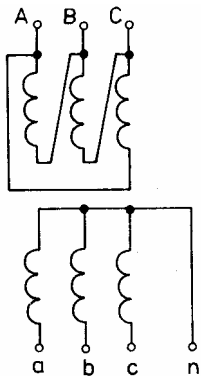


### Zapojení transformátoru do lomené hvězdy (z, ⅃)

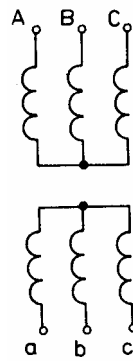
Pro zapojení transformátoru do lomené hvězdy (jen na sekundární straně) je potřeba více mědi, neboť každá fáze se skládá ze dvou cívek navinutých na sousedních sloupcích. Zapojení do lomené hvězdy vznikne tak, že začátky (konce) druhých polovin cívek spojíme do uzlu a konce (začátky) spojíme se začátky (konci) prvních polovin cívek umístěných na předchozích (následujících) sloupcích. Konce (začátky) pak vyvedeme na svorkovnici. Toto zapojení se používá tam, kde je velmi nesouměrný odběr, protože se nesouměrný odběr v jedné fázi sekundární strany přenesse na dvě fáze primární strany.



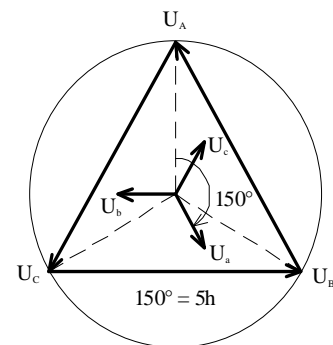
Kompletní zapojení transformátoru se pak skládá ze zapojení primárních cívek a se zapojení cívek sekundárních.



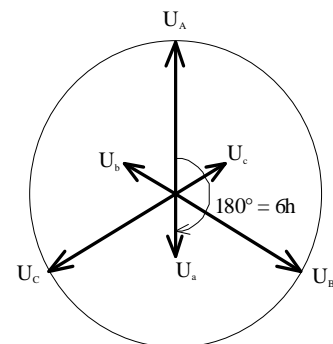
Zapojení Dy5



Zapojení Yy6



Dy5



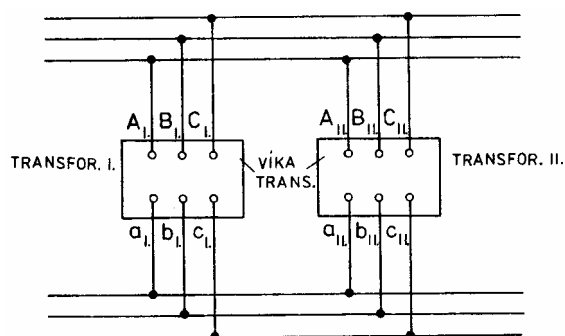
Yy6

### 5.4.2. Hodinový úhel

Je to fázový posun mezi primárním a sekundárním fázorem napětí téže fáze měřený ve směru hodinových ručiček od primárního k sekundárnímu vyjádřený v hodinách (1 hodina = 30°).

### 5.4.3. Paralelní spolupráce transformátorů

Nestačí-li dodávat výkon jeden transformátor připojujeme k němu další transformátor paralelně. Transformátory pracují paralelně, jsou-li propojeny jak vstupní, tak i výstupní svorky.



Paralelně spolupracující transformátory musí splňovat tyto podmínky:

- 1) jmenovitá napětí obou transformátorů na vstupní i výstupní straně musí být stejná (musí být stejný převod transformátoru - při nesterétném převodu by při chodu naprázdno vznikaly velké vyrovnávací proudy).
- 2) musí mít stejné procentní napětí nakrátko (transformátor s menším napětím nakrátko by byl přetěžován a s větším by byl nevyužit).
- 3) musí mít stejný hodinový úhel (můžou mít různé zapojení), aby výstupní napětí transformátoru bylo ve fázi
- 4) měli by mít přibližně stejný výkon

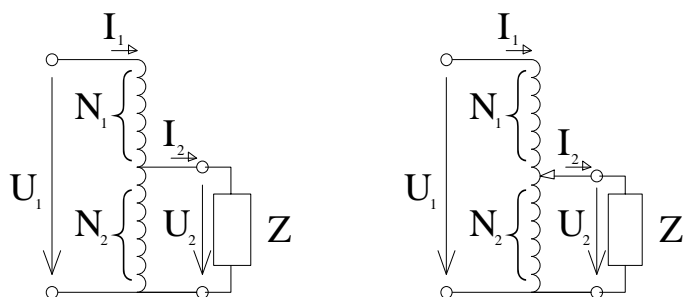
### 5.5. Speciální transformátory

Mezi tyto transformátory patří například autotransformátor, svařovací transformátory či měřicí transformátory proudu a napětí

#### 5.5.1. Autotransformátor

Jedná se o transformátor s pouze jedním vinutím rozděleným na dvě části spojené do série. Přičemž část s  $N_2$  závitů je společná pro primární i sekundární stranu a prochází jí proud

odpovídající rozdílu  $I_1 - I_2$ . Prevod transformátoru je pak dán vztahem  $p = \frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1 + N_2}{N_2}$ .



Tyto transformátory se často konstruují jako regulační tedy s proměnnou hodnotou výstupního napětí. Regulace napětí je umožněna vodivým jezdcem pohybujícím se po odizolované části vinutí. Napětí se

mění skokově vždy o hodnotu odpovídající jednomu závitů cívky autotransformátoru.

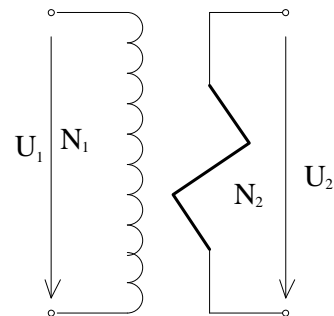
Výhoda autotransformátoru spočívá v menší spotřebě mědi na vinutí, jeho nevýhodou je pak galvanické neoddělení vstupního a výstupního obvodu. Mohlo by se tedy stát, že při přerušení vinutí ve společné části ( $N_2$ ) se objeví na výstupní straně plné vstupní napětí.

### 5.5.2. Svařovací transformátory

Jsou v podstatě dvojího druhu a to svařovací transformátory pro odporové svařování a pro svařování obloukové.

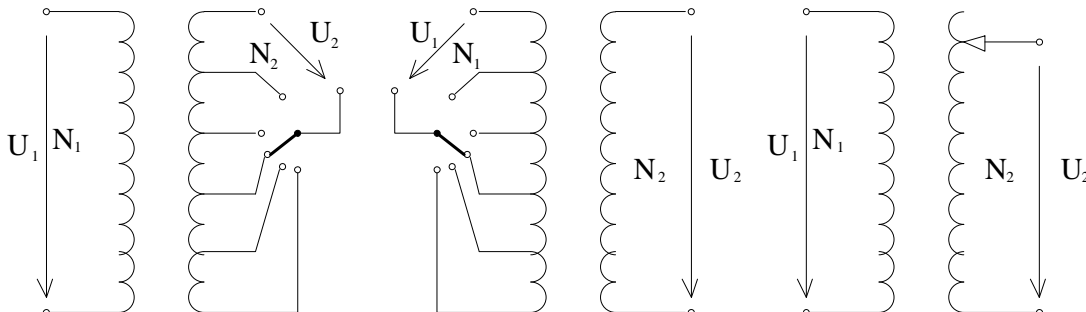
Pro odporové svařování je zapotřebí malé napětí (5 - 15 V) a velký proud (1 - 100 kA), proto výstupní vinutí má jen jeden (popř. několik málo) závitů vodiče velkého průřezu.

Pro obloukové svařování je potřeba pro zapálení oblouku napětí asi 60 - 100 V a k jeho udržení asi 20 - 30 V. Musí se tedy napětí měnit. Jak vyplývá ze vztahu pro převod transformátoru můžeme výstupní napětí měnit změnou

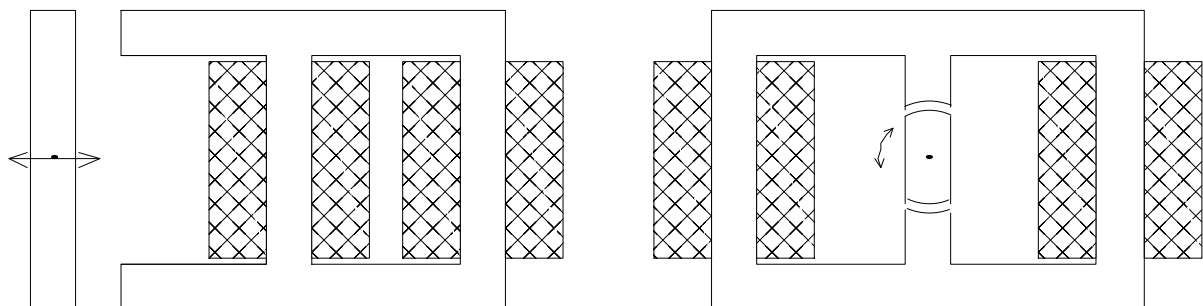


počtu závitů primární nebo sekundární cívky ( $p = \frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} \Rightarrow U_2 = U_1 \cdot \frac{N_2}{N_1}$ ) a to buď

přepínáním odboček nebo sběračem.



Dále je potřeba, aby se proud měnil co nejméně i když vlivem změny délky oblouku napětí kolísá. Proto se i proud reguluje a to buď oddalováním nebo natáčením části magnetického obvodu transformátoru.

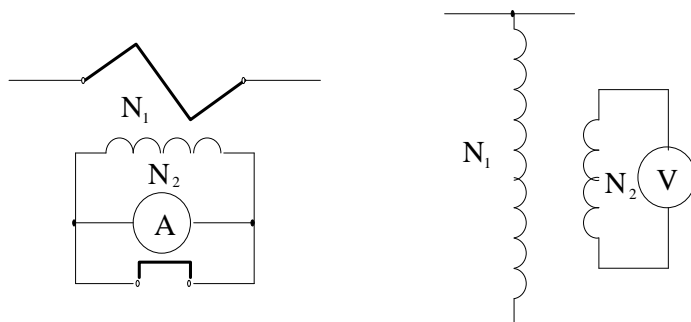


### 5.5.3. Měřicí transformátory proudu a napětí

Slouží ke změně rozsahu ampérmetru nebo voltmetru. Měřicí transformátor proudu převádí měřený proud na proud maximálně 5A (popř. 1A). Primární cívka má často jen jeden závit nebo dokonce jen magnetickým obvodem prochází vodič tyčového průřezu (má tedy jen 1/2 závitu). Sekundární cívka je doplněna zkratovačem svorek, který se rozpojí až po připojení ampérmetru.

Měřicí transformátor napětí převádí měřené napětí na napětí maximálně 100V

(popřípadě  $100/\sqrt{3}$  V)



## 6. ASYNCHRONNÍ STROJE

Všechny asynchronní (indukční) stroje pracují tak, že jejich rotor má jiné otáčky než točivé magnetické pole vytvořené vinutím uloženým v jejich statoru. Čím větší je zatížení asynchronního stroje, tím jsou jeho otáčky menší. Rozdíl mezi otáčkami točivého magnetického pole statoru a otáčkami rotoru se vyjadřuje tzv. skluzem, který je dán

vztahem  $s = \frac{n_s - n}{n_s}$  [-], kde  $n_s$  jsou synchronní otáčky točivého magnetického pole a  $n$

jsou otáčky rotoru stroje. Často se pak skluz udává v procentech synchronních otáček

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} \cdot 100 \text{ [%]}.$$

Skluz se pohybuje od 1% (u velkých strojů) až do 15% (u strojů malých). V praxi se nejčastěji setkáme se stroji se skluzem okolo 5%.

## 6.1. Rozdělení asynchronních strojů

Asynchronní stroje se dělí podle několika hledisek:

### *I.) Podle způsobu práce na:*

- a) asynchronní motor - v něm se přiváděná elektrická energie mění na energii mechanickou, která přemáhá odpor poháněného zařízení
- b) asynchronní alternátor - v něm se mechanická energie přiváděná na rotor mění na elektrickou energii odebíranou ze statorového vinutí
- c) indukční brzda - využívá k brzdění točivého momentu vznikajícího otáčením rotoru proti směru, kterým by se točil působením elektromagnetických sil
- d) asynchronní měnič kmitočtu - využívá změn kmitočtu proudu, indukovaného v otáčejícím se rotoru

### *II.) Podle uspořádání statorového vinutí na:*

- a) jednofázový (s pomocnou rozběhovou fází)
- b) trojfázový

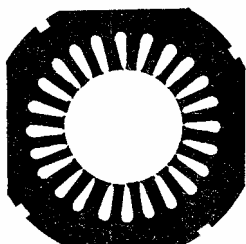
### *III.) Podle provedení rotorového vinutí na:*

- a) stroje kroužkové - mají vsypávané (drátové) vinutí jejichž jedny konce jsou spojeny do uzlu vyvedené a druhé jsou vyvedeny na kroužky, které jsou přes kartáče spojeny s rotorovým spouštěčem
- b) stroje nakrátko - mají rotorové vinutí trvale spojené čelními kruhy nakrátko

## 6.2. Konstrukční uspořádání asynchronních motorů

Asynchronní motor je nejpoužívanější asynchronní stroj a vlastně nejpoužívanější elektrický točivý stroj vůbec, protože je nejjednodušší a tím i nejlevnější.

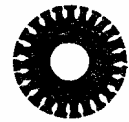
Asynchronní motor se skládá ze dvou částí, tzv. statoru a rotoru. Stator je válcové, duté těleso tvořící magnetický obvod. Tento magnetický obvod je složen ze statorových plechů vzájemně



izolovaných a vkládá se do odlité nebo svařované kostry. Na vnitřním obvodě plechů jsou vylisovány drážky, které mají různý profil. Plocha mezi dvěma drážkami se nazývá zub. Do těchto drážek se ukládá obvykle trojfázové vinutí, a pak se tyto motory nazývají trojfázové. V dutině statoru, oddělený vzduchovou mezerou, se pohybuje rotor.



Magnetický obvod rotoru je opět složen z plechů s drážkami na vnějším obvodu, pro uložení vinutí. Asynchronní motor má tedy vinutí ve statoru i v rotoru.



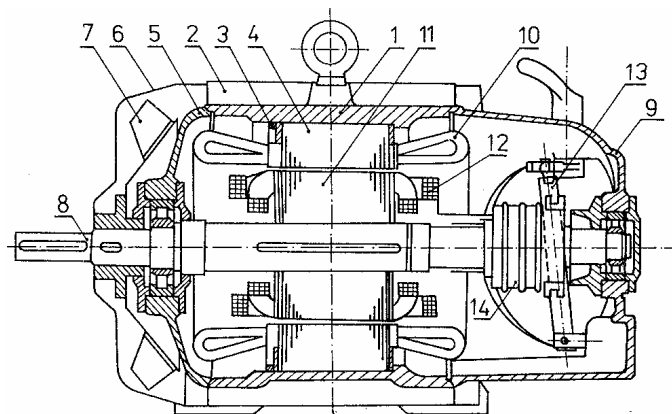
Elektrická energie se však přivádí pouze do statoru. V rotoru se napětí indukuje.

Proto asynchronní stroje jsou stroji indukčními. Rotor se v tomto případě nazývá též kotva (obecně se u točivých strojů nazývá kotvou ta část, ve které se indukuje napětí, takže kotvou může být nejen rotor, ale i stator).

Základním požadavkem na konstrukci asynchronního motoru po mechanické stránce je dostatečná tuhost, aby vzduchová mezera  $\delta$  mohla být co nejmenší. Malá vzduchová mezera způsobuje, že motor pracuje s dobrým účínkem, který je vždy indukčního charakteru. U drobných asynchronních motorů bývá vzduchová mezera kolem 0,2 mm, u velkých až 3 mm.

Konstrukce stroje je ovlivněna krytím stroje (IP XX XX). Tvarem stroje (IM X XX X).

Z motoru je též nutné odvádět ztrátové teplo (IC X XX). Dnes se nejčastěji vyrábějí trojfázové motory v tzv. uzavřeném provedení, které vyhovuje i pro prašné a nečisté prostředí.



*Uzavřený asynchronní kroužkový motor s povrchovým chlazením*

*1 kostra, 2 žebra kostry, 3 zajišťovací pára statoru, 4 statorové plechy, 5 zadní ložiskový štít (u řemenice), 6 kryt větráku, 7 větrák, 8 hřídel, 9 přední ložiskový štít, 10 statorové vinutí, 11 rotorové plechy, 12 rotorové*

*vinutí, 13 spojovač kroužků, 14 sběrací kroužky*

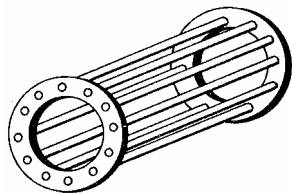
Každý uzavřený motor musí mít na nejspodnějším místě dýchací otvor o průměru 12 až 20 mm pro odpad vody, která se ve stroji sráží.

Asynchronní motor lze snadno provedením přizpůsobit nejrůznějším požadavkům na pohon. Jiné provedení mají motory pro pohon obráběcích strojů, jiné vestavné motory, brzdové motory, motory čerpadel apod.

Takže jak již bylo řečeno konstrukční uspořádání závisí na mnoha parametrech, ale asi nejvíc na typu rotorového vinutí. Kroužkové motory totiž mají rotorové trojfázové vinutí navinuto z měděného vodiče. Toto vinutí je spojeno na jednom konci do hvězdy a druhé konce jsou vyvedeny na tři kroužky z vodivého materiálu (mosaz, bronz), které jsou izolovaně upevněny na hřídeli. Na kroužky dosedají uhlíkové kartáče umístěné v držácích a spojují je se svorkami

motoru Součástí těchto motorů je též často odklápeč kartáčů, který po rozběhu motoru a následném zkratování kroužků odklopí kartáče a zabrání jejich opotřebování a ztrátám třením

Motory s kotvou nakrátko mají rotorové drážky zaplněny vinutím z tyčí. Toto vinutí je buď s



jednoduchou klecí odlitou z hliníku, tzv. vibračním litím (to se provádí tak, že poskládaný a stažený rotorový svazek se zahřeje a vloží do formy forma se upne na vibrující pružnou podložku a „zaleje“ se hliníkem; protože forma vibruje hliník dokonale zateče do všech míst; jelikož tyče musí být spojeny dokrátka vytvoříme při lití

na obou čelech zkratovací kruhy; jeden z nich často tvarujeme jako lopatky ventilátoru) nebo s klecí dvojitou (jedna slouží k rozběhu a druhá k běhu motoru) nebo s tzv. vírovou klecí.

### 6.3. Princip činnosti asynchronních motorů

Ve statorových drážkách je navinuto trojfázové vinutí. Připojíme-li toto vinutí na zdroj trojfázového napětí, začne procházet proud, který vybudí v magnetickém obvodu statoru točivé magnetické pole. Otáčky tohoto pole nazýváme synchronní a jsou dány

vztahem  $n_s = \frac{60 \cdot f}{p}$  [min<sup>-1</sup>], kde  $f$  je kmitočet napájecího proudu a  $p$  je počet pólových dvojic.

Toto točivé magnetické pole statoru indukuje napětí do vinutí rotoru. Vinutím rotoru začne procházet značný proud a jelikož na vodič s proudem v magnetickém poli působí síla vyvolávající točivý moment, rotor se roztočí stejným směrem jakým se točí magnetické pole statoru. Přičemž otáčky rotoru jsou sníženy proti synchronním otáčkám o tzv. skluzové otáčky  $n = n_s \cdot (1-s)$ .

### 6.4. Momentová charakteristika asynchronního motoru

Momentová charakteristika je závislost momentu na skluzu  $M = f(s)$  a vychází z tzv.

Klossova vztahu:  $M = 2 \cdot \frac{M_{MAX}}{\frac{s_{zv}}{s} + \frac{s}{s_{zv}}}$ , kde  $s_{zv}$  je tzv. skluz zvratu, tedy skluz při maximálním

momentu  $M_{MAX}$ .

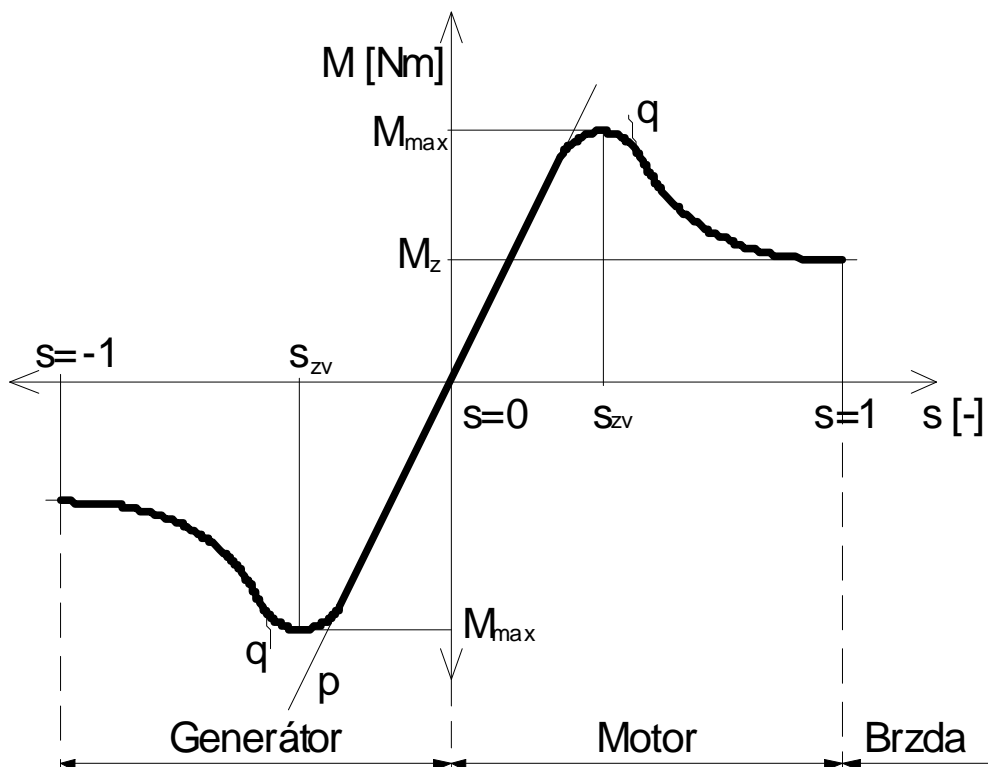
Pro grafické vyjádření momentové charakteristiky vycházíme ze dvou možností:

a)  $s \ll s_{zv}$ , pak poměr  $\frac{s}{s_{zv}}$  můžeme zanedbat a Klossův vztah se zjednoduší na tvar:

$M = 2 \cdot \frac{M_{MAX} \cdot s}{s_{zv}}$ , což je rovnice přímky  $p$ .

b)  $s_{zv} \ll s$ , pak můžeme zanedbat  $\frac{s_{zv}}{s}$  a dostáváme rovnici hyperboly  $q$  ve tvaru:

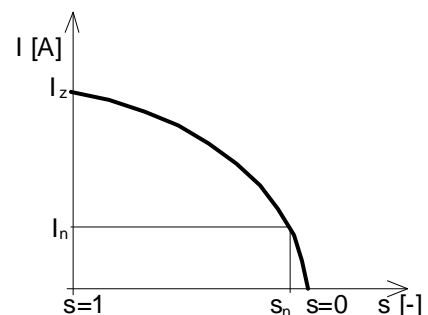
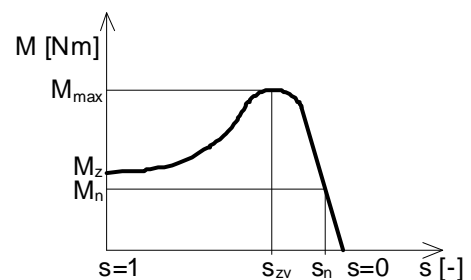
$$M = 2 \cdot \frac{M_{MAX} \cdot s_{zv}}{s}$$



Momentovou charakteristiku motoru často kreslíme s obrácenou osou skluzu, tedy skluz  $s = 1$  je v průsečíku s osou momentu.

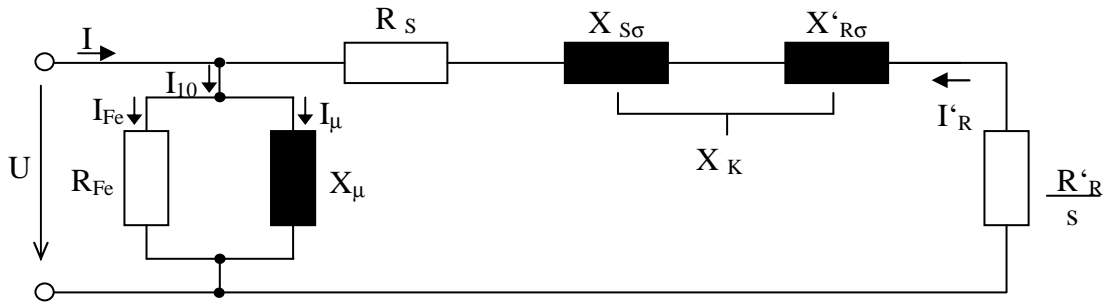
Motor se rozbíhá se záběrným momentem  $M_z$ , poté moment vzrůstá, protože vzrůstá činná složka proudu.

Ta vzrůstá z důvodu převažujícího vlivu zvětšování účinníku a zmenšování impedance. Moment se zvětšuje až do hodnoty maximálního momentu  $M_{max}$ , který nastává při tzv. skluzu zvratu a pak klesá neboť převažuje vliv zmenšování celého indukovaného proudu.



## 6.5. Kružnicový diagram asynchronního stroje

Průběh nejdůležitějších provozních veličin jako je příkon, výkon, moment, proud, otáčky, skluz, účinnost či účinník je možno zjistit přímým měřením. Tam, kde motor nelze postupně zatěžovat, např. brzdou či dynamometrem, zjišťujeme uvedené veličiny z kružnicového diagramu. Pro běžnou praxi vystačíme s přibližným kružnicovým diagramem, který lze odvodit z náhradního schéma asynchronního motoru



$$U = R_S I'_R + X_{S\sigma} I'_R + X'_{R\sigma} I'_R + \frac{R'_R}{S} I'_R = 0$$

$$U = \left( R_S + \frac{R'_R}{S} \right) I'_R + X_K I'_R = 0$$

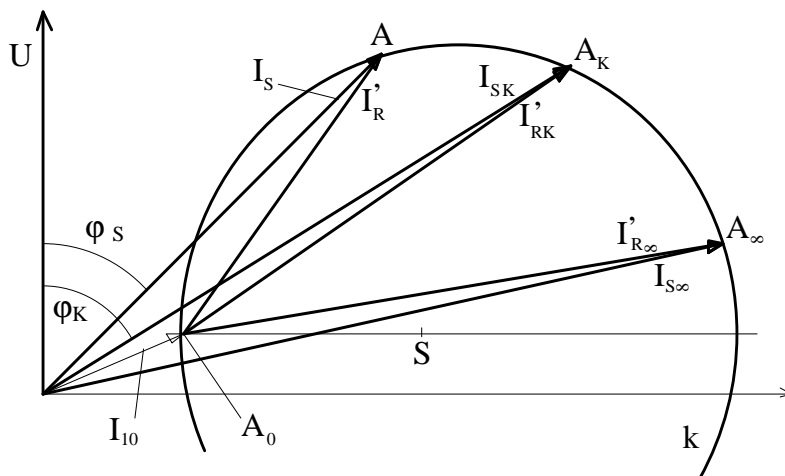
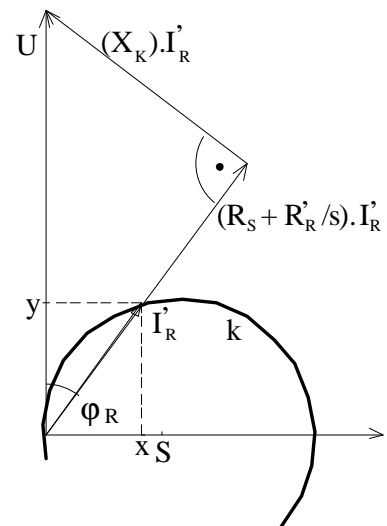
Jak vyplívá z fázorového diagramu asynchronního stroje je

$x = I'_R \sin \varphi_R$  a  $y = I'_R \cos \varphi_R$ . Dosazením za  $x$  a  $y$

a matematickou úpravou napěťové rovnice získáme rovnici

kružnice  $k$  ve tvaru:  $\left( x - \frac{U}{2X_K} \right)^2 + y^2 = \left( \frac{U}{2X_K} \right)^2$ , což je

geometrické zobrazení proudu rotoru  $I_R$ .



geometrické zobrazení proudu  $I_S$  (jelikož  $I_{10} = \text{konst.}$  a  $I_R$  je kružnice je i  $I_S$  kružnice).

Jelikož proud  $I_{10}$  je dán

poměrem napětí  $U$

a paralelního spojení  $R_{Fe}$ ,  $X_\mu$

a jelikož napětí  $U$  můžeme

považovat za konstantní je i

proud  $I_{10}$  stálý i při

proměnném zatížení.

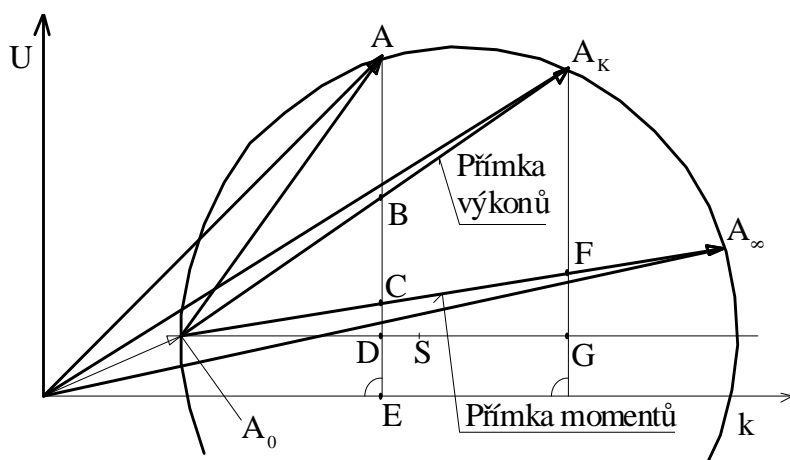
Přičteme-li tento proud

k proudu rotoru  $I_R$  dostaneme

Pracovní bod A se pohybuje po kružnici k v motorickém chodu od bodu  $A_0$  do bodu  $A_K$ , přičemž bod  $A_0$  odpovídá tzv. ideálnímu chodu naprázdno, tedy chodu při kterém jsou otáčky motoru rovny otáčkám synchronním. Bod  $A_K$  pak odpovídá stavu nakrátko tedy stavu, kdy je rotor zastaven a stator odebírá ze sítě proud  $I_{SK}$ .

Oblast od bodu  $A_K$  do bodu  $A_\infty$  představuje oblast, ve které by se rotor otáčel opačným směrem než magnetické pole a této oblasti říkáme oblast brzdění reverzací neboli protiproudem. Bodu  $A_\infty$  nelze nikdy dosáhnout, neboť rotor by se musel otáčet  $-\infty$  otáčkami (poloha tohoto bodu se určuje ze znalosti poměru  $R_R':R_S$  (viz dále).

Oblast pod bodem  $A_0$  je oblast při, které jsou otáčky větší než otáčky synchronní, motor



přejde do generátorického chodu a bude brzděn tzv. rekuperací, tedy bude vracet elektrickou energii do sítě. Nejčastěji se kružnicový diagram asynchronního stroje konstruuje pro zjištění výkonových a momentových poměrů ve stroji. Spojnice

bodů  $A_0$  a  $A_K$  představuje přímku výkonů a spojnice bodů  $A_0$  a  $A_\infty$  pak přímku momentů. Vyneseme-li v pracovním bodu A kolmici na osu x vzniknou body B, C, D, E a kolmice z bodu  $A_K$  pak určí body F a G. Vzdálenosti bodů pak můžeme v přepočtu přes proudové měřítko dosadit do jednotlivých vztahů a zjistíme hodnoty daných veličin:

- Výkon motoru:  $P = \sqrt{3} \cdot U_s \cdot \overline{AB}$
- Výkon přenášený vzduchovou mezerou:  $P_\delta = \sqrt{3} \cdot U_s \cdot \overline{AC}$
- Moment motoru:  $M = \frac{P_\delta}{\omega_s} = \frac{60 \cdot \sqrt{3} \cdot U_s \cdot \overline{AC}}{2\pi \cdot n_s}$
- Ztráty ve vinutí rotoru:  $\Delta P_{j2} = \sqrt{3} \cdot U_s \cdot \overline{BC}$
- Ztráty ve vinutí statoru:  $\Delta P_{j1} = \sqrt{3} \cdot U_s \cdot \overline{CD}$
- Ztráty v železe:  $\Delta P_{Fe} = \sqrt{3} \cdot U_s \cdot \overline{DE}$
- Příkon motoru:  $P_1 = \sqrt{3} \cdot U_s \cdot \overline{AE}$

Pro zjištění bodu  $A_\infty$  vycházíme ze znalosti poměru  $R_R':R_S$ , neboť  $\frac{R_R'}{R_S} = \frac{\overline{A_K F}}{\overline{FG}}$ , můžeme

též vynést úsečku  $\overline{GF}$  z její známé velikosti:  $\overline{GF} = \sqrt{3} \frac{I_{SK}^2 \cdot R_S}{U_s}$

## 6.6. Asynchronní motory s kotvou kroužkovou

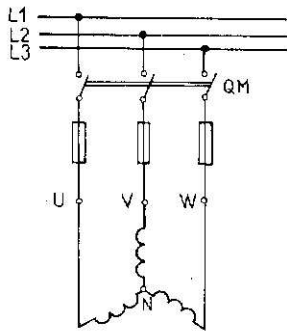
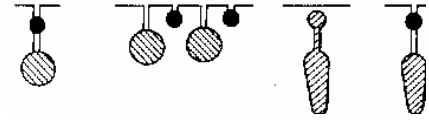


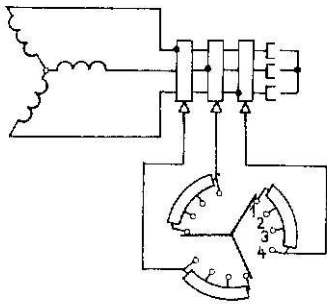
Schéma zapojení kroužkového



motoru je patrné z obrázku, na kroužky dosedají kartáče, které spojují rotorové vinutí s odporovým spouštěčem. Ten se skládá ze tří sériově spojených skupin rezistorů a přepínače, který postupně vyřazuje jednotlivé rezistory až nakonec spojí vinutí do krátka.

Připojení rotorového spouštěče je nutné pro omezení záběrného

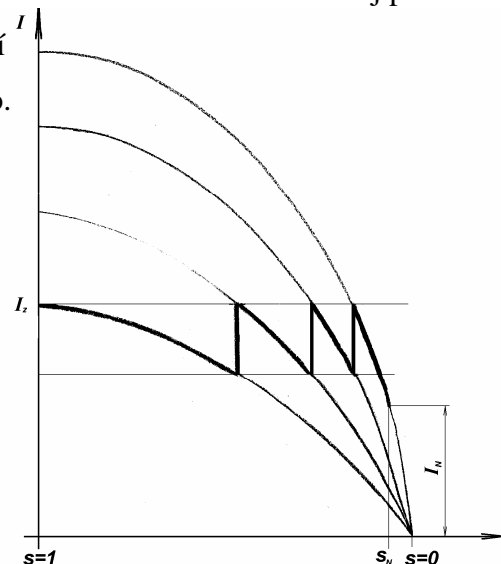
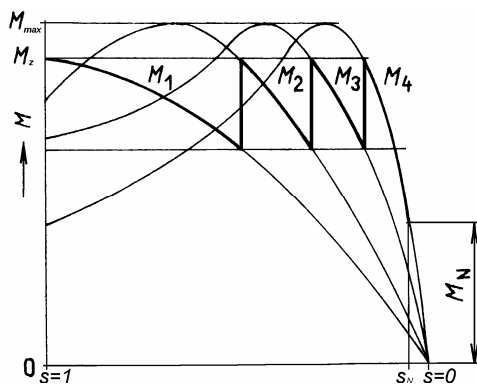
proudu a zároveň se zvětšuje záběrný moment motoru, protože připojením rezistoru do série



s vinutím rotoru dochází ke zvětšení sklonu přímkové části momentové charakteristiky a tím i posunu skluzu zvratu blíže k ose momentu tedy ke skluzu  $s = 1$  (hodnota maximálního momentu se nemění).

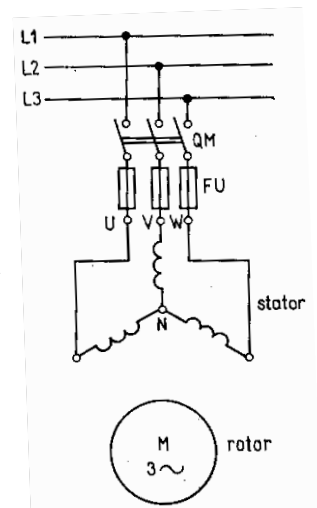
Postupným vyřazováním rezistorů bude stroj přecházet na odpovídající

charakteristiky až na charakteristiku motoru nakrátko.



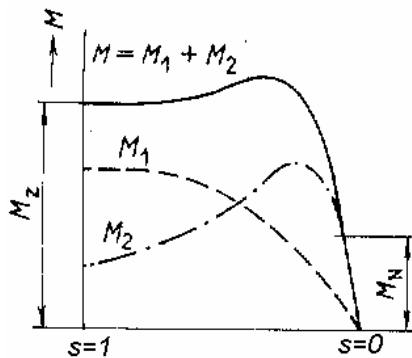
## 6.7. Asynchronní motory s kotvou nakrátko

Motory s kotvou nakrátko jsou nejpoužívanější motory menších výkonů i přes nevýhodu malého záběrného momentu a velkého záběrného proudu neboť jsou levné, provozně spolehlivé, bezpečné, mají velkou přetížitelnost a se změnou zatížení se jejich otáčky téměř nemění. Nevýhoda malého záběrného momentu a velkého záběrného proudu se dá odstranit speciálními konstrukcemi rotorového vinutí nakrátko a to tzv. dvojitou klecí nebo klecí vírovou.



### Motor nakrátko s dvojitou klecí

má na rotoru dvě samostatné klece. Vnější klec bývá z mosazi nebo bronzu, má velký činný



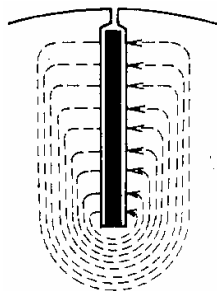
odpor a malou induktivní reaktanci. Protože se uplatňuje při rozběhu motoru, říkáme ji klec rozběhová. Vnitřní klec, tzv. pracovní, je zhotovena z mědi nebo hliníku, má velký průřez a má tedy malý činný odpor. Její induktivní reaktance je však při rozběhu velká, neboť je uložena hluboko v aktivním železe a uzavírá se kolem ní silný rozptylový magnetický tok. V okamžiku připojení motoru

na síť se v ní indukují proud s kmitočtem sítě a její výsledná impedance je při rozběhu motoru výrazně větší než impedance klece vnější. Proto při rozběhu téměř celý proud prochází klecí vnější a jelikož ta má velký činný odpor je i záběrný moment motoru velký. Během rozběhu se otáčky rotoru zvětšují, tím se kmitočet rotorového proudu snižuje až na skluzový kmitočet ( $f_2 = 2$  až  $3$  Hz). Reaktance vnitřní klece po skončení rozběhu je tedy malá a rotorový proud se rozdělí na obě klece v poměru jejich vodivostí. Vnější klecí tedy prochází proud malý, vnitřní klecí proud velký.

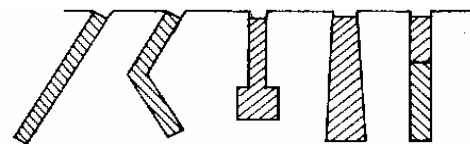
Motor s dvojitou klecí se používá u pohonů vyžadujících velký záběrný moment a častá spouštění.

### Motor nakrátko s vírovou klecí

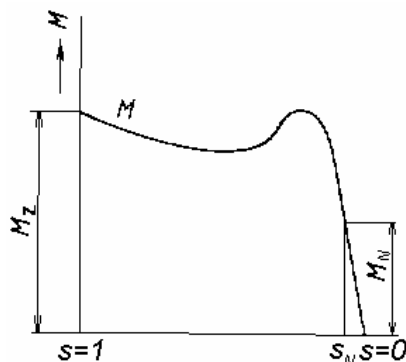
má na rotoru klec z úzkých vysokých tyčí, takže drážky jsou hluboké. Jednotlivé tyče si



můžeme představit jako větší počet vodičů čtvercového průřezu uložených nad sebou, spojených čelnými kruhy paralelně nakrátko. Činný odpor každého vodiče je stejný, ale jejich induktivní reaktance při rozběhu je tím větší, čím hlouběji je vodič v drážce uložen. Při rozběhu



proto prochází největší proud horní částí tyče. Se vzrůstajícími otáčkami tento jev mizí a při plném běhu je proud rozdělen téměř rovnoměrně po celém průřezu tyče. Příliš hluboké drážky by mohly zeslabit svazek plechů kolem hřídele, a proto mívají tyče různý průřez popřípadě se můžou i kombinovat dva materiály s různou rezistivitou. Motory s vírovou klecí jsou vhodné zejména pro výkony od



30 do 250 kW.

## 6.8. Spouštění asynchronních motorů

při spouštění asynchronních motorů vznikne v okamžiku připojení motoru proudový náraz v rozvodné síti a způsobí tím pokles napětí. Při spouštění motorů s kotvou nakrátko se v okamžiku zapnutí motor jeví jako transformátor s výstupním vinutím nakrátko a proud odebíraný v prvním okamžiku ze sítě je až 7x větší než proud jmenovitý. Tento proud je zapotřebí zmenšit na takovou hodnotu, aby nezpůsobil velké potíže v síti.

### *Spouštění asynchronních motorů nakrátko přímým připojením k síti*

Je to nejjednodušší způsob, neboť motor se spustí jen zapnutím spínače. Podle normy lze spouštět přímo bez předběžného souhlasu rozvodných závodů motory s výkonem do 3 kW.

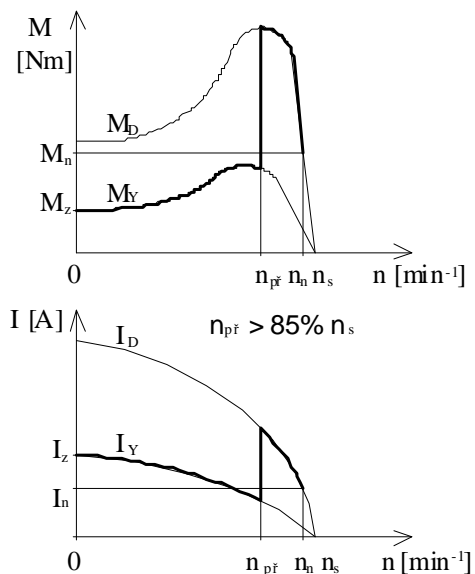
### *Spouštění asynchronních motorů nakrátko přepínačem $\lambda - \Delta$*

K tomuto spouštění je zapotřebí přepínače, který trojfázové vinutí statoru spojí nejdříve do hvězdy a po rozběhu se přepojí do trojúhelníku. Proudový náraz při spouštění, ale i záběrný moment se tím sníží na 1/3.

$$I_Y = \frac{U_f}{Z} = \frac{U_s}{\sqrt{3} \cdot Z}, \quad I_D = \sqrt{3} \cdot I_f = \frac{\sqrt{3} \cdot U_s}{Z} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{I_Y}{I_D} = \frac{\frac{U_s}{\sqrt{3} \cdot Z}}{\frac{\sqrt{3} \cdot U_s}{Z}} = \frac{1}{3},$$

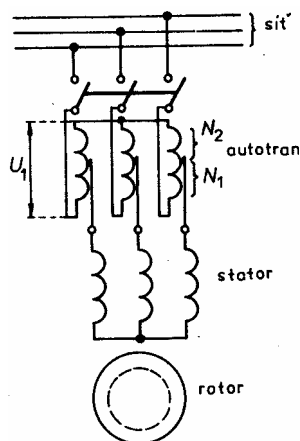
kde  $U_f$  je fázové napětí,  $U_s$  je napětí sdružené a  $Z$  je impedance jedné fáze vinutí statoru. Při tomto spouštění však v síti vznikají dva proudové rázy - první při připojení motoru k síti a druhý při přepnutí z hvězdy do trojúhelníku. Pro snížení druhého proudového rázu přepínáme do trojúhelníku nejdříve až po dosažení 85 %  $n_s$ . Aby se při přepínání nezmenšila rychlost motoru, musí být přepínání co nejrychlejší.



### *Spouštění asynchronních motorů nakrátko autotransfornátorem*

Před spouštěním motoru nastavíme autotransfornátor na nejnižší napětí, spustíme motor a po rozběhnutí motoru zvyšujeme napětí autotransfornátoru. Po dosažení jmenovitých otáček autotransfornátor vyřadíme a motor napájíme přímo ze sítě. Záběrný proud odebíraný ze sítě se sníží v poměru počtu výstupních závitů ke všem závitům autotransfornátoru





$$U_2 = U_1 \frac{N_2}{N_1 + N_2}, \quad U_1 I_1 = U_2 I_{sp} \Rightarrow I_1 = I_{sp} \frac{N_2}{N_1 + N_2},$$

kde  $I_{sp}$  je proud procházející motorem při spouštění.

### **Spouštění asynchronních motorů nakrátko s dvojitou klecí**

Tyto motory spouštíme stejnými způsoby jako běžné motory nakrátko.

### **Spouštění asynchronních motorů nakrátko s vírovou klecí**

Tyto motory jsou nejčastěji konstruovány na velké výkony a proto je spouštíme autotransformátorem.

### **Spouštění asynchronních motorů kroužkových**

Asynchronní motory s kotvou kroužkovou se spouštějí rotorovým spouštěčem, který výrazně snižuje záběrný proud (asi na 1/2) a zároveň zvyšuje záběrný moment. Při zapnutí motoru jsou nejdříve zapojeny do série s rotorovým vinutím všechny rezistory, po rozběhu stroje a tedy po poklesu záběrného proudu rotorový spouštěč odpojí jednu řadu rezistorů a motor přejde na charakteristiky odpovídající tomuto odporu vinutí. Po dalším poklesu proudu (na stejnou hodnotu jako v prvním případě) dojde k vyřazení další řady rezistorů. Nakonec se vyřadí všechny rezistorové stupně, zkratovač spojí kroužky dokrátka a odklápeč odklopí kartáče (momentová a proudová charakteristika viz kapitola motor s kotvou kroužkovou). Motor teď pracuje jako motor nakrátko.

## **6.9. Regulace otáček asynchronních motorů**

Ze vztahu pro otáčky asynchronního motoru  $n = \frac{60 \cdot f}{p} \cdot (1 - s)$  je patrné, že otáčky můžeme

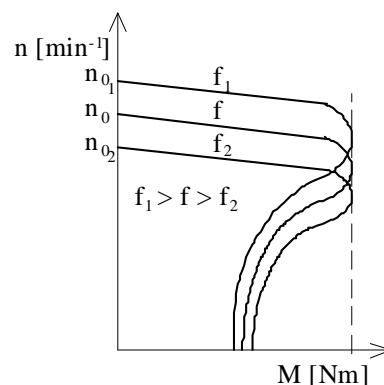
regulovat

frekvencí, počtem pólových dvojic nebo skluzem.

### **Regulace otáček změnou frekvence**

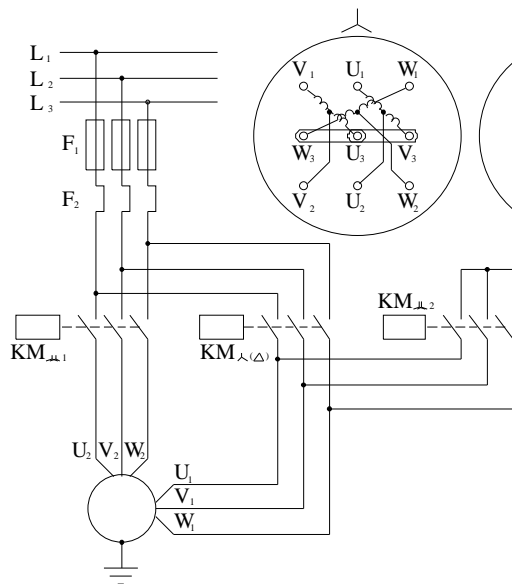
V dnešní době nejpoužívanější regulace, neboť s rozvojem elektronických měničů jsme schopni měnit frekvenci plynule od jednotek Hz až do několika set Hz. Zvýší-li se frekvence zvýší se otáčky magnetického pole a tedy i otáčky naprázdno. Při snížení frekvence je tomu naopak.

Ze vztahu pro indukované napětí  $U_i = 4,44 \cdot \Phi_{MAX} \cdot f \cdot N \cdot k_v$

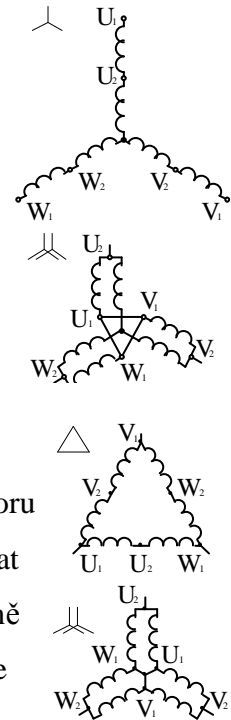


vyplývá, že magnetický tok  $\Phi$  je přímo úměrný napětí a nepřímo úměrný frekvenci. Proto při regulaci otáček frekvencí musíme regulovat i napětí, aby magnetický tok zůstal stejný a tím zůstane zachován i stejný maximální moment motoru. Ke změně frekvence se nejčastěji používají frekvenční měniče s tyristory nebo s IGBT tranzistory.

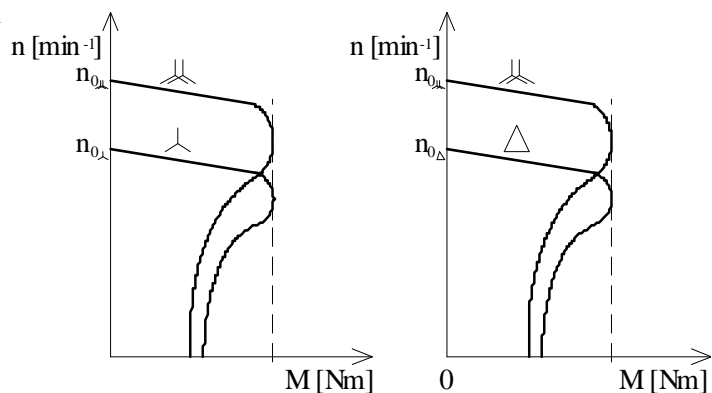
### Regulace otáček změnou počtu pólů



Změna počtu pólů se provádí jen u motorů s kotvou nakrátko jejichž stator mají vinutí každé fáze složené ze dvou částí (v polovině vinutí je odbočka). Vinutí statoru pak můžeme zapojovat do série nebo paralelně a otáčky naprázdno se



mění skokově mezi dvěmi hodnotami (např.  $n_s = 750 - 1500$  pro vinutí s přepínáním 8 - 4 póly). Nejčastěji se používá přepínání hvězda - dvojitá hvězda nebo trojúhelník - dvojitá hvězda. Některé motory mají dvě samostatná vinutí, jedno s odbočkou a druhé bez odbočky. Potom lze regulovat otáčky ve třech stupních (3000 - 1500 - 750). Silová část stykačového ovládání přepínače hvězda (trojúhelník) - dvojitá hvězda je na obrázku. Pro menší otáčky je motor spojen do hvězdy (trojúhelníku) stykačem  $KM_{\Delta}$ . Pro větší otáčky se nejdříve spojí stykačem  $KM_{\text{K}2}$  svorky  $U_1, V_1$  a  $W_1$  nakrátko a poté se spustí motor stykačem  $KM_{\text{K}1}$ . Ve výřezích v horní části obrázku je zapojení svorek motorů do hvězdy nebo do trojúhelníku.

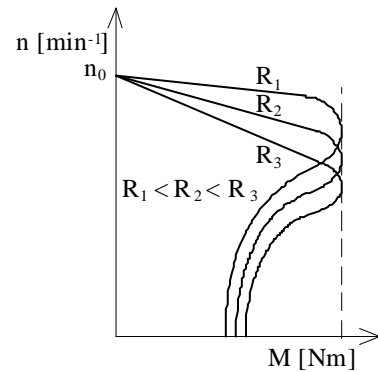


### Regulace otáček změnou skluzu

Otáčky pomocí skluzu můžeme regulovat pouze u kroužkových motorů zapojením odporu nebo RLC obvodu do série s kotvou.

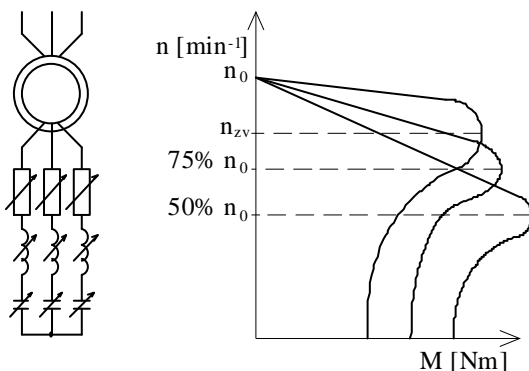
### Regulace otáček sériově ke kotvě připojeným rezistorem.

Se vzrůstajícím odporem klesá sklon přímkové části momentové charakteristiky přičemž otáčky naprázdno i maximální moment zůstávají stejné. Zapojení odporového regulátoru je stejné jako zapojení rotorového spouštěče, ale tento spouštěč musí být dimenzován na trvalý chod motoru.



### Regulace otáček sériově ke kotvě připojeným RLC obvodem

Do každé fáze rotoru se do série zapojí proměnný sériový RLC obvod. Se změnou hodnot



RLC se bude měnit rezonanční kmitočet a tím se bude měnit jak sklon charakteristiky, tak i moment zvratu (otáčky naprázdno zůstanou stejné).

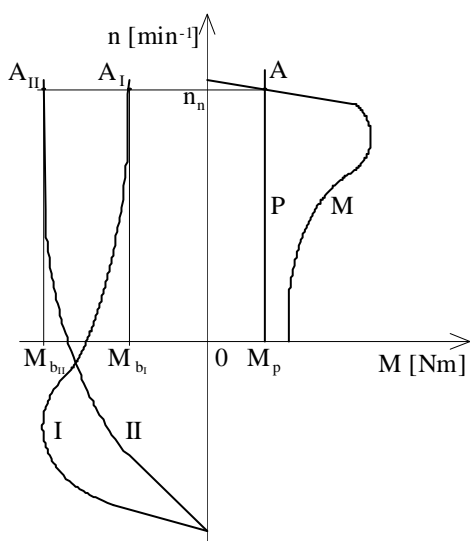
$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

## 6.10. brzdění asynchronních motorů

### Elektrické brzdění

#### brzdění reverzací (protiproudem)

brzdícího účinku se dosáhne tak, že motor se připojí na opačný chod (vymění se dvě fáze mezi sebou). K rotorovému vinutí je vhodné zapojit do série rezistor, aby se zmenšil proudový náraz v okamžiku přepnutí a zvětšila se činná složka brzděného proudu a tím



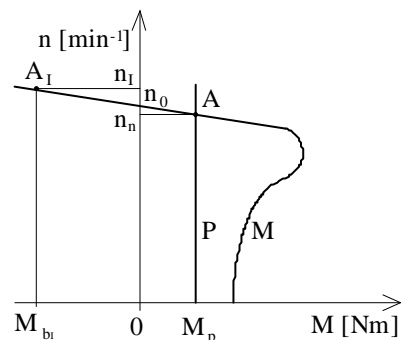
i brzdný moment. Motor musíme samozřejmě včas odpojit, aby se nám neroztočil opačnými otáčkami - to bývá realizováno buď časovým spínačem, který je nastaven na dobu poklesu otáček na minimum nebo častěji snímačem otáček (např. odstředivým), který motor odpojí při poklesu otáček pod nastavenou minimální hodnotu a motor se v obou případech nechá samovolně doběhnout.

Z momentové charakteristiky je patrné, že při brzdění motorů s kotvou nakrátko (bez sériově k rotoru

zapojeného rezistoru) by pracovní bod  $A$  (průsečík momentové charakteristiky motoru  $M$  a momentové charakteristiky pracovního stroje  $P$ ) přešel na charakteristiku  $I$  do bodu  $A_I$  a byl by brzděn brzdícím momentem  $M_{bI}$ . U motorů kroužkových, kde lze zapojit rezistor do série s rotorovým vinutím se zvyšuje sklon přímkové části charakteristiky a tím i brzdící moment  $M_{bII}$  a pracovní bod přechází na charakteristiku  $II$  do bodu  $A_{II}$ .

#### brzdění rekuperací

Rekuperací brzdíme, jestliže se asynchronní motor roztočí nad synchronní otáčky (např. při spouštění břemene jeřábem nebo při jízdě trakčního vozidla s kopce), změní se tím smysl proudu, motor pracuje v generátorickém chodu a je brzděn zpět na jmenovité otáčky. Pracovní bod  $A$  se tedy přesune po momentové charakteristice do bodu  $A_I$  a je zpomalován momentem  $M_{bI}$  zpět na jmenovité otáčky (do pracovního bodu  $A$ ).

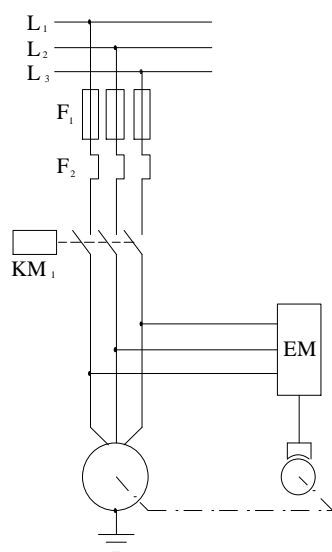


#### brzdění buzením stejnosměrným proudem

Asynchronní motor se odpojí od střídavé sítě a připojí se ke zdroji stejnosměrného napětí. Ve statoru se vytvoří statické magnetické pole a do rotorového vinutí se indukuje proud, který vytváří brzdící moment.

#### Mechanické brzdění

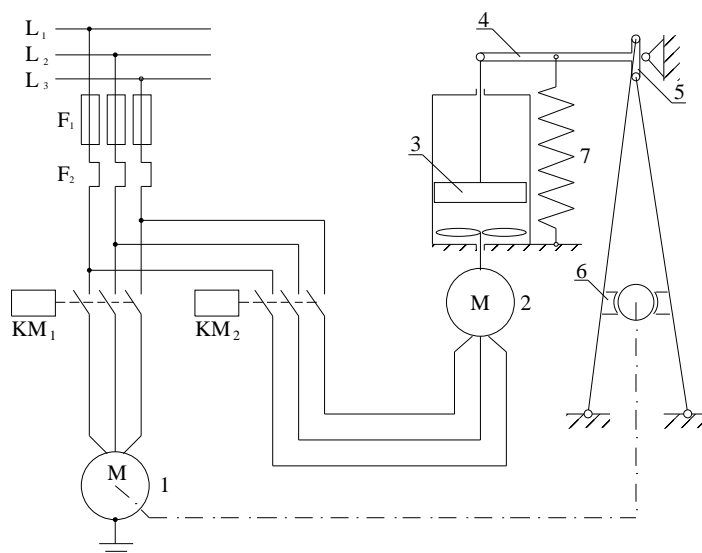
##### brzdění elektromagnetem



Při zapnutí stykači  $KM1$  je pod napětím i elektromagnet  $EM$ , jeho kotva je přitažena a rotor se otáčí. Jakmile se motor odpojí od sítě, odpadne i kotva elektromagnetu a čelisti mechanické brzdy motor zabrzdí.

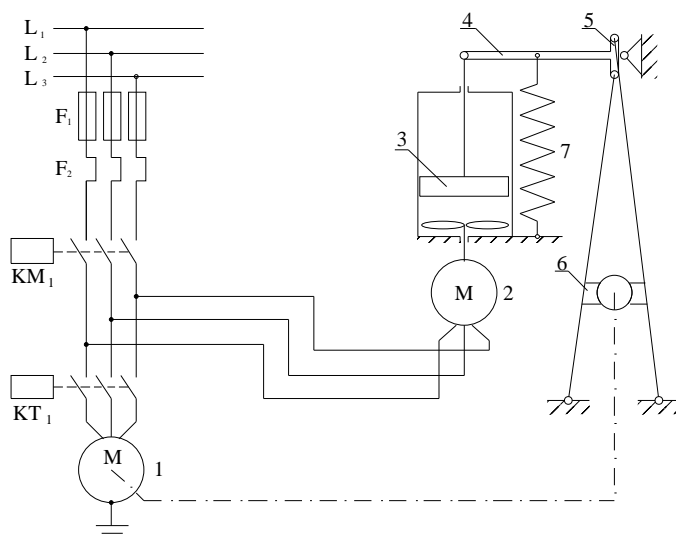
##### Elektrohydraulické brzdění

Odpojíme-li motor  $I$  od sítě stykačem  $KM1$  stykač  $KM2$  sepne a spustí motor čerpadla  $2$ , který začne vhnět olej pod píst  $3$ . Píst se začne zvedat, pomocí táhla  $4$  pootočí třmenem  $5$  a čelisti brzdy  $6$  se sevrou kolem hřídele motoru. Po zastavení motoru se rozevne stykač  $KM2$ , zpětná pružina  $7$  přitáhne píst opět dolů a čelisti brzdy se rozevrou.



### Elektrohydraulické odbrzdění

Čelisti brzdy **6** jsou v klidu sevřeny kolem hřídele motoru. Před vlastním spuštěním motoru je tedy nutné nejdříve spustit motor čerpadla **2**, který vžene olej pod píst **3** a pootočením třmenu **5** rozevře čelisti brzdy. Motor čerpadla i hlavní motor **1** jsou tedy sepnuty zároveň stykačem **KM<sub>1</sub>**, ale hlavní motor je připojen k napětí až o něco později po sepnutí časového relé



**KT<sub>1</sub>**. Toto odbrzdování se používá například u pojezdových motorů mostových jeřábů, kdy jeřábník otočením klíče na panelu odbrzdí pojezdy (sepne stykač **KM<sub>1</sub>**) a teprve poté (po sepnutí časového relé **KT<sub>1</sub>**) se může jeřáb rozjet (v tomto případě bývá zapojení doplněno reverzací tedy možností posunu vlevo či vpravo).

## 6.11. Jednofázové asynchronní motory

### Jednofázový motor bez pomocné fáze

Ve satoru je navinuto vinutí, které je uloženo jen ve 2/3 drážek, rotor má vinutí nakrátko.

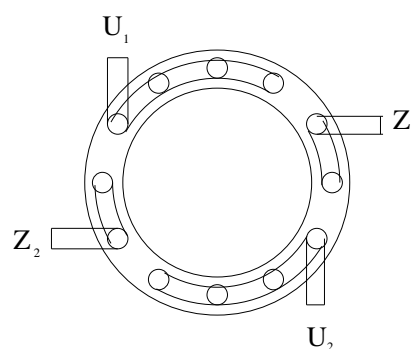
Připojíme-li tento motor na napětí začne bručet, ale neroztáčí se. Střídavé magnetické pole ve satoru můžeme totiž rozložit na dvě stejně silná točivá pole, která mají opačné směry a tím se

ruší. Roztočíme-li motor, způsobíme zesílení točivého pole působícího ve směru roztočení a motor se pak bude v tomto směru točit a moment působící proti směru roztočení s rostoucími otáčkami bude dále slábnout.

Roztáčecí motory nacházejí uplatnění např. u malých míchaček betonu, u uměleckých brusek či hrnčířských kruhů.

### **Jednofázový motor s pomocnou fází**

Jednofázový asynchronní motor má ve statoru, složeném ze statorových plechů, dvojí vinutí. Hlavní vinutí vyplňuje 2/3 drážek ( $U_1-U_2$ ), pomocné vinutí (pomocná fáze) je ve zbyvajících třetině drážek a je o  $90^\circ$  pootočen oproti vinutí hlavnímu ( $Z_1-Z_2$ ). Rotor je v provedení nakrátko.



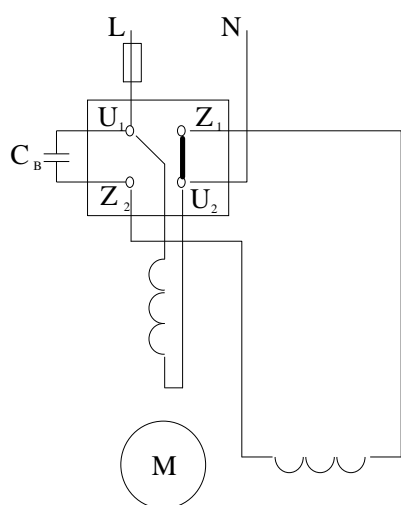
Předpokladem pro vznik točivého magnetického pole statoru je časové posunutí průběhu střídavého proudu v pomocném vinutí oproti průběhu proudu v hlavním vinutí.

Střídavá magnetická pole hlavního a pomocného vinutí jsou pak vzájemně časově a prostorově posunuta (pootočena) a společně vytvářejí točivé magnetické pole. Toto točivé pole pak indukuje napětí do vodičů rotoru a působící síla rotor roztočí.

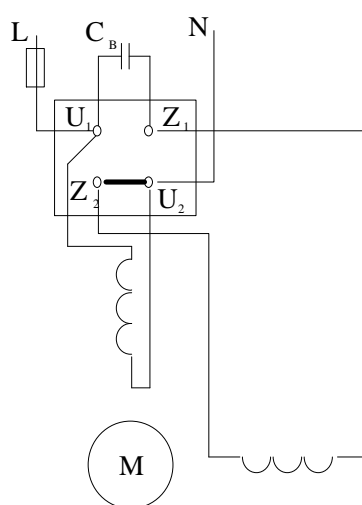
Fázového posunutí mezi proudy v hlavním a pomocném vinutí je dosaženo kondenzátorem, činným odporem nebo zvýšenou indukčností (používají se jen zřídka pro malý rozběhový moment) pomocného vinutí. Diagram průběhu indukčnosti točivého pole má eliptický tvar

### **Kondenzátorový motor**

Kondenzátorový motor je jednofázový asynchronní motor s kondenzátorem v pomocné fázi.



Otáčení doleva



Otáčení doprava

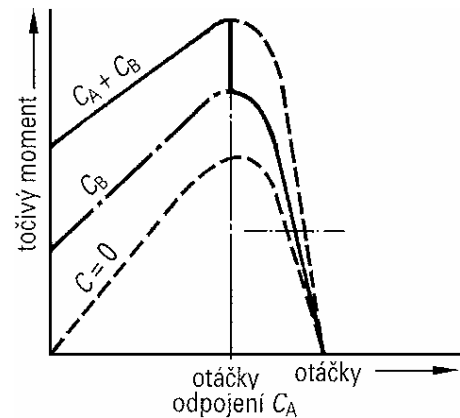
Potřebné fázové posunutí v pomocné fázi tedy zde vytváří kondenzátor. Kondenzátor je většinou připevněn na krytu motoru a při neděleném pomocném vinutí je kondenzátor sériově předřazen nebo při děleném pomocném vinutí

je kondenzátor sériově zapojen mezi jeho dílčí části.

Ke změně směru otáčení motoru je třeba přepólovat směr proudu v pomocném vinutí. Toho lze dosáhnout změnou připojení kondenzátoru na svorkovnici.

Velký rozběhový moment vykazuje motor při použití rozběhového kondenzátoru  $C_A$  a provozního kondenzátoru  $C_B$  (spojených paralelně, do série s  $C_A$  je navíc zapojen rozpínací kontakt odstředivého vypínače). Rozběhový moment může být díky kapacitě obou

kondenzátorů zvýšen na dvojnásobek až trojnásobek jmenovitého momentu. Motor se pak může rozbíhat i se zátěží. Po rozběhu se rozběhový kondenzátor  $C_A$  odpojuje a v činnosti zůstává jen provozní kondenzátor  $C_B$ . Odpojení je nutné, protože by jinak protékal pomocným vinutím příliš velký proud, který by vinutí přehřál. Odpojení se uskutečňuje tepelným nebo nadproudovým relé, nebo odstředivým vypínačem. Při odpojení obou kondenzátorů by motor pracoval jako jednofázový asynchronní motor bez pomocné fáze.



Provozní kondenzátor by měl mít přibližně 1,3kvar jalového výkonu na 1 kW výkonu motoru. Rozběhový kondenzátor by měl mít asi trojnásobnou kapacitu než provozní kondenzátor. Kondenzátor tvoří s indukčností pomocného vinutí sériový kmitavý obvod. Proto je na kondenzátoru napětí, které je vyšší než napětí síťové. Největší napětí je na kondenzátoru při běhu motoru naprázdno a na toto napětí je musíme dimenzovat.

Kondenzátorové motory s výkonem do 2 kW se používají v domácích spotřebičích (např. v ledničkách a pračkách).

#### *Jednofázový motor s pomocnou odporovou fází*

V pomocné fázi je předřazen odpor, vytvořený pomocným vinutím z odporového drátu. Většinou je toto vinutí provedeno jako bifilární vinutí (třetina závitů je zde navinuta v protisměru k ostatnímu vinutí).

V bifilárním vinutí je snížena indukčnost vinutí při nezměněném činném odporu odporového drátu.

Pomocná odporová fáze (pomocné vinutí) musí být po rozběhu odpojena, aby nedocházelo k přehřívání motoru. (např. odstředivým vypínačem). Po rozběhu motor pracuje jako jednofázový motor bez pomocné fáze.

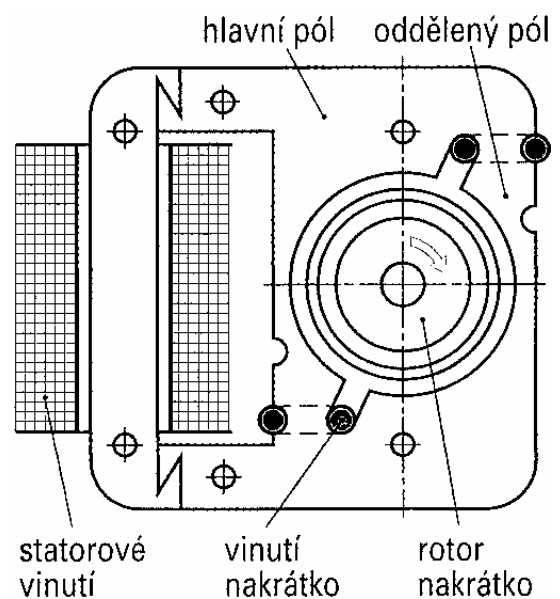
Jednofázové motory s pomocnou odporovou fází se vyrábějí do výkonů asi 300 W. Jejich rozběhový moment odpovídá přibližně momentu jmenovitému. Tyto motory se používají v aplikacích s malou frekvencí rozpínání, např. jako pohony kompresorů v chladničkách nebo pohony čerpadel pro olejové hořáky.

### ***Motor se stíněnými póly***

Stator motoru se stíněnými póly má dva hlavní póly a od nich je drážkou oddělena menší část magnetického obvodu, čímž jsou vytvořeny dva oddělené (odstíněné) póly. Kolem oddělených pólů je uloženo vinutí nakrátko. Tímto vinutím nakrátko prochází jen část magnetického toku statorového vinutí. Dochází tak k velkému rozptylu. Mezi proudem ve statorovém vinutí a proudem tekoucím vinutím nakrátko je fázový posun. Tyto fázově posunuté proudy vytvářejí točivé magnetické pole, jehož magnetické póly se postupně posunují od jednoho statorového pólu k dalšímu v pořadí: hlavní pól 1, odstíněný pól 1, hlavní pól 2, odstíněný pól 2. Toto nerovnoměrné točivé pole otáčí kotvou nakrátko.

Směr otáčení motoru se stíněnými póly směřuje vždy od hlavního pólu k oddělenému pólu. Směr otáčení je podmíněn uspořádáním pólů a nemůže být elektricky změněn.

Motory se stíněnými póly jsou robustní a levné. Kvůli malé účinnosti kolem 30% se vyrábějí tyto motory jen asi do výkonů 300 W. Používají se do větráků topení, kalových čerpadel a odstředivek prádla.





## 7. SYNCHRONNÍ STROJE

Synchronní stroj je střídavý elektrický točivý stroj, jehož frekvence svorkového napětí je úměrná otáčkám rotoru ( $f = \frac{n_s \cdot P}{60}$ ). Synchronní stroje jsou nejčastěji využívány pro výrobu

střídavé elektrické energie jedná se tedy o synchronní generátory neboli **alternátory**.

Synchronní stroje mohou dále pracovat jako **motory** pro

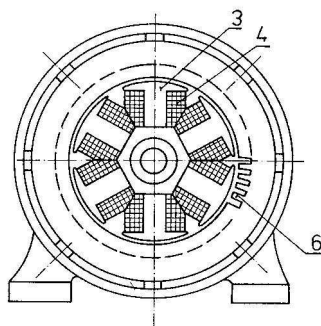
pohony s potřebou konstantních otáček nebo jako synchronní **kompenzátory** pro kompenzaci účinníku.

### 7.1. Konstrukční uspořádání synchronních strojů

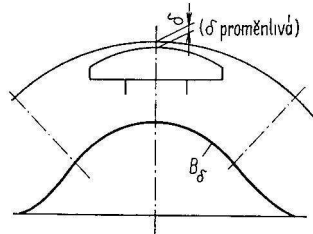
Synchronní stroje se skládají ze statoru, rotoru a budiče.

**Stator** je v podstatě stejný jako stator asynchronního motoru. Do svařované kostry je vložen svazek statorových plechů, které jsou buď vcelku nebo u velkých strojů poskládány ze segmentů. Na vnitřním průměru těchto plechů jsou drážky v nichž je uloženo třífázové vinutí. Konce vinutí jsou vyvedeny na svorkovnici.

Konstrukční uspořádání **rotoru** rozděluje synchronní stroje do dvou skupin, buď se jedná o stroje s vyniklými (vyjádřenými) póly nebo o stroje s hladkým rotorem. Stroje s vyniklými póly mají rotor tvořen hřídelí na níž je magnetové kolo s příslušným počtem pólů (4 - 36).



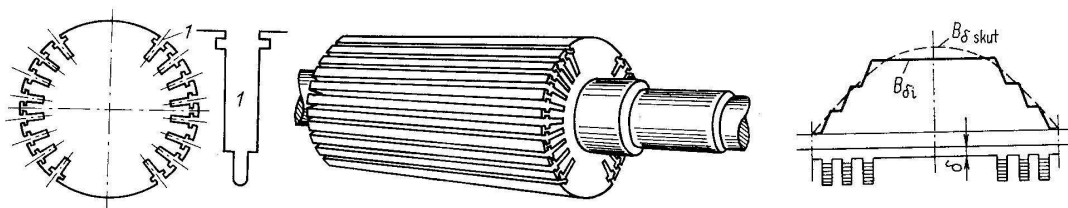
Rotor bývá nejčastěji poskládán z plechů, aby se zamezilo ztrátám vzniklým pulsací buďícího proudu (u velkých strojů se



opět skládá ze segmentů), stroje s velkou vzduchovou mezerou mají rotor vyroben z jednoho kusu železa. Poloměr zaoblení pólových nástavců je menší než

poloměr vnitřní strany statoru a to zajišťuje téměř sinusový tvar magnetické indukce  $B_\delta$  ve vzduchové mezeře. Na pólech je navinuto buďící vinutí, zapojené sériově tak, aby vznikl vždy střídavě severní a jižní pól.

Stroje s hladkým rotorem mají rotor tvořený plným hladkým válcem vykováním z jednoho kusu legované oceli (chromniklová ocel s příměsí molybdenu). Na asi dvou třetinách obvodu



tohoto válce jsou podélně vyfrézovány drážky ve kterých je uloženo dvoupólové budící vinutí. Vinutí je uzavřeno v drážkách bronzovými klíny (ty jsou často spojeny kruhy nakrátko a tvoří amortizér - viz dále) a čela vinutí jsou zajištěna bandážovacími kruhy z nemagnetické oceli (jedná se totiž o rychloběžné stroje -  $3000 \text{ ot.min}^{-1}$ ). Magnetická indukce má přibližně tvar lichoběžníku avšak vzhledem k časovému posunu jednotlivých napětí a vzhledem k velkému počtu drážek na pól a fázi (3 až 4) má výsledné indukované napětí téměř přesně sinusový průběh.

**Budič** slouží k napájení budícího vinutí rotoru a tím k vytvoření potřebného magnetického pole. Podle uložení budícího systému se synchronní stroje dělí na:

- a) Synchronní stroje s budícím vinutím ve statoru - asi do výkonu 10 kVA.
- b) Budící proud se přivádí do rotoru přes kartáče dosedající na kroužky
- c) Synchronní stroje s budícím vinutím v rotoru - častější (dnes i pro stroje do 10 kVA), neboť odpadá nutnost kontaktního styku a navíc zůstává ve statoru více místa na aktivní vinutí.

Je-li tedy budící proud vyroben přímo v synchronním stroji, mluvíme o *vlastním buzení*. Je-li buzen motorgenerátorem, akumulátorovou baterií či přímo ze sítě přes usměrňovač hovoříme o stroji s *cizím buzením*.

Malé synchronní stroje bývají někdy bez buzení, budící systém pak nahrazuje rotor s permanentním magnetem.

## 7.2. Synchronní alternátor

Synchronní alternátor poháněný vodní turbínou nazýváme **hydroalternátor** což je pomaloběžný stroj s vyniklými póly. Často se jedná o stroje s malou hloubkou a velkým průměrem. K pohonu se používají Kaplanovy či Francisovy turbíny a většinou mají hřídel umístěnu svisle.

**Turboalternátory** jsou pak většinou dlouhé stroje s malým průměrem s hřídelí uloženou vodorovně. Jsou poháněny parními turbínami, jedná se o rychloběžné stroje s hladkým rotorem.

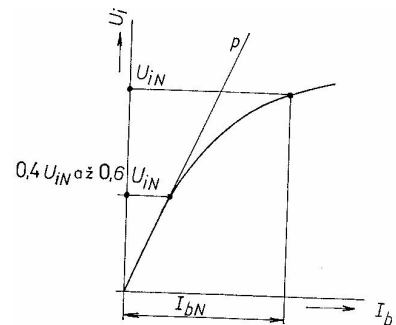
### 7.3. Princip synchronního alternátoru

Rotor je buzen stejnosměrným proudem, takže se vytvoří statické magnetické pole. Budu-li tímto rotorem otáčet synchronními otáčkami ( $n_s = 60 \cdot f/p$ ), vytvoří se ve vzduchové mezeře točivé magnetické pole. Indukce v každém bodě vzduchové mezery se bude měnit sinusově (viz obr). Bude se tedy do každé cívky statorového třífázového vinutí indukovat napětí  $u_i = \Phi \cdot \omega \cdot \sin \omega t$ , tedy maximální hodnota napětí pro N závitů bude  $U_i = \Phi \cdot \omega \cdot N = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot \Phi \cdot N$ . Toto napětí pak odebíráme ze svorek statoru. Velikost indukovaného napětí  $U_i$  je tedy funkcí magnetického toku  $\Phi$  vybuzeného budícím proudem rotoru  $I_b$ .

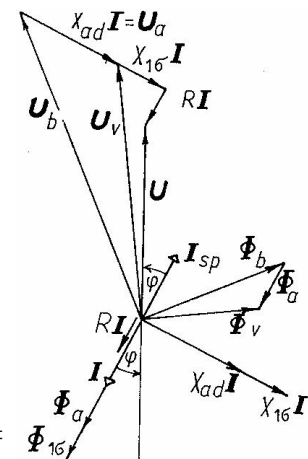
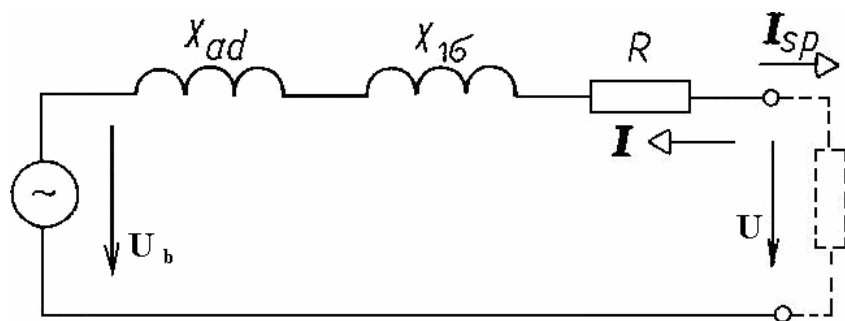
### 7.4. Charakteristika naprázdno a náhradní schéma syn. alternátoru

Závislost indukovaného napětí na budícím proudě nazýváme *charakteristika naprázdno*, kde  $I_{bN}$  je jmenovitý budící proud a  $U_{iN}$  jmenovité indukované napětí. Přímka p je pak charakteristika vzduchové mezery.

Připojíme-li k vinutí statoru (např. do hvězdy) zátěž s impedancí Z, začnou procházet uzavřeným souměrným obvodem proudy  $I_U, I_V, I_W$ , fázově posunuté o úhel  $\varphi$  proti napětí. Tyto proudy vytvoří nové točivé magnetické pole, které nazýváme *pole reakce kotvy*. Magnetickému toku tohoto pole odpovídá tzv. *reaktance reakce kotvy*  $X_{ad}$ . Kolem vinutí statoru se však vytváří navíc tzv. *rozptylový tok*  $\Phi_{1\sigma}$  a jemu pak odpovídá *rozptylová reaktance*  $X_{1\sigma}$ .



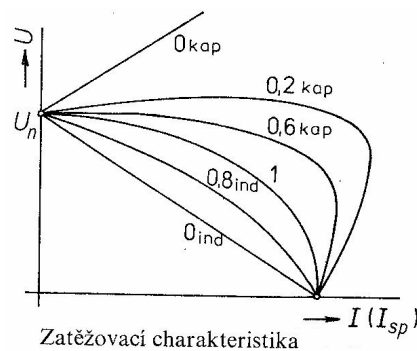
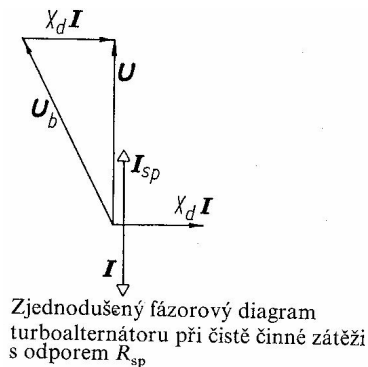
Svorkové napětí syn. stroje je potom oproti napětí indukovanému výsledným magnetickým tokem každé cívky zmenšeno o úbytek na reaktanci reakce kotvy, o úbytek na rozptylové reaktanci a o ztráty způsobené činným odporem R, lze tedy psát:  $U = U_b + jX_{ad}I + jX_{1\sigma}I + RI$ , kde  $U_b$  představuje zdroj ideálního napětí.



Sloučíme-li  $X_{ad}$  a  $X_{1\sigma}$  v tzv. synchronní reaktanci  $X_d$ , tedy  $X_{ad} + X_{1\sigma} = X_d$  a nepatrný úbytek  $RI$  zanedbáme potom platí:  $U = U_b + jX_d I$

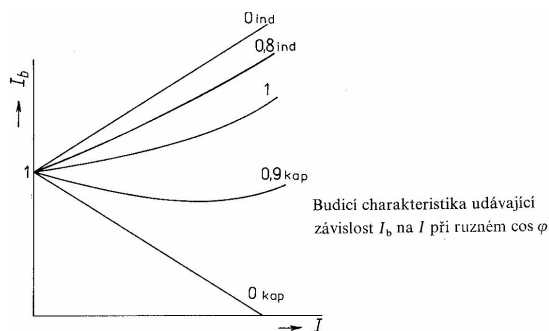
## 7.5. Zatěžovací a budící charakteristika syn. stroje

Zatěžovací charakteristika udává závislost svorkového napětí na proudu při konstantním buzení. Ta má pro různé druhy zatížení různý tvar. Pro čistě činnou zátěž (tedy pro  $\cos \varphi = 1$ ) vyplývá z fázorového diagramu  $U^2 = U_b^2 - (X_d I)^2$ , což je rovnice elipsy. Pro čistě induktivní zátěž ( $\cos \varphi = 0$ ) platí, že  $U = U_b - X_d I$  a pro čistě kapacitní zátěž platí  $U = U_b + X_d I$ , což jsou



rovnice přímek s opačnými směrnici. Mezi těmito přímkami pak leží charakteristiky pro jiné účinnky. a vyplývá z nich, že se syn. stroj při induktivní zátěži odbuzuje a při kapacitní se přibuzuje.

Aby se tedy napětí na svorkách stroje při různém zatížení neměnilo musíme měnit budící proud. Nabuzení stroje při stálém napětí pro různé  $\cos \varphi$  udává tzv. budící charakteristika, což je závislost  $I_b$  na  $I$  při různém  $\cos \varphi$ .



Kdybychom náhle odlehčili stroj, proud by poklesl na nulu a na svorkách by se objevilo zvýšené napětí  $U_{zv}$ , potom poměr

$$\frac{U_{zv} - U}{U} \cdot 100 = \varepsilon$$

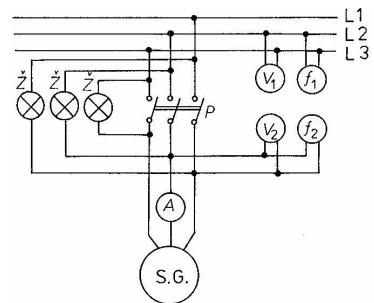
nazýváme poměrné zvýšení napětí udává tzv. tvrdost stroje. Je-li  $\varepsilon < 10\%$  považujeme stroj za tvrdý, tedy jeho napětí se se zatížením mění jen málo (tvrdé stroje mají malou vzduchovou mezeru). Velmi měkké stroje ( $\varepsilon > 50\%$ ) potřebují pro udržení konstantního napětí samočinné regulátory. Velké stroje se však vyrábějí jako měkké, neboť mají malý zkratový proud.

## 7.6. Fázování a paralelní chod synchronních alternátorů

Když výkon jednoho alternátoru nestačí krýt spotřebu, pak připojujeme k jednomu alternátoru alternátor druhý, třetí atd. Systém takto paralelně pracujících alternátorů vytvoří tzv. tvrdou síť. U této sítě jsou napětí i frekvence stálé, teoreticky nezávislé na zatížení.

Chceme-li připojit synchronní stroj k tvrdé síti, a tím zvětšit její výkon, musíme splnit určité podmínky mezi sítí a alternátorem - mluvíme o tzv. o fázování synchronního stroje na síť. Při fázování synchronního stroje na síť nemá vzniknout v okamžiku připojení žádný proudový náraz v síti a vyrovnávací moment mezi sítí a strojem, z toho vyplývá, že napětí sítě  $U_1$  se rovná napětí stroje  $U$  a jelikož  $U_1 = U_{1\max} \sin(\omega_1 t + \varphi_1)$  a  $U = U_{\max} \sin(\omega t + \varphi)$ . Potom musí platit:

- 1.)  $U_{1\max} = U_{\max}$
- 2.)  $\omega_1 = \omega$
- 3.)  $\varphi_1 = \varphi$
- 4.) stejný sled fází



Shodnost napětí se zjišťuje voltmetry  $V_1$  a  $V_2$ , shodnost frekvence kmitoměry  $f_1$  a  $f_2$ , sled fází a fázový posun napětí fázovacími žárovkami  $\check{Z}$ . Například při fázování na „tmu“ budou při roztáčení stroje a jeho nabuzování žárovky blikat. Blikají-li všechny žárovky současně, znamená to, že sled fází sítě i synchronního stroje je shodný (při nesouměrném blikání žárovek je třeba přehodit dvě libovolné fáze mezi sebou). Jsou-li frekvence (řídí se otáčkami poháněcího stroje) a napětí (mění se budícím proudem  $I_b$ ) nabuzeného stroje stejné s frekvencí a napětí sítě, pak při zhasnutých žárovkách lze zapnutím vypínače  $P$  synchronní stroj připojit k síti. Při dobrém přifázování je proud mezi sítí a strojem nulový a ukazatel ampérmetru  $A$  se nevychýlí.

Připojený stroj nedává, ale ani neodebírá ze sítě žádný výkon (mechanické ztráty a ztráty v železe kryje poháněcí stroj). Napětí  $U_b$  a napětí  $U$  stroje jsou stejná vybuzená tokem.  $\Phi_b = \Phi_v$ . Zmenšíme-li budící proud  $I_b$  svorkové napětí  $U$  se nezmění, protože je drženo tvrdou sítí,  $\Phi_v$  se také nezmění, změní se ovšem  $\Phi_b$ . Začne tedy strojem procházet proud  $I$ , který vytvoří magnetický tok  $\Phi_a$  pro který platí:  $\Phi_v = \Phi_b + \Phi_a$

Proud  $I = I_q$  je proudem jalovým (stroj pracuje jako ideální cívka).

Naopak zvětšíme-li budící proud  $I_b$  zvětší se i magnetický tok  $\Phi_b$  a aby výslední tok  $\Phi_v$  zůstal konstantní musí strojem procházet proud  $I$  a s ním ve fázi se vybudí magnetický tok  $\Phi_a$  pro který opět platí:  $\Phi_v = \Phi_b + \Phi_a$

Stroj dodává jalový proud  $I = I_q$  (stroj pracuje jako ideální kondenzátor.)

V prvním případě mluvíme o podbuzeném a ve druhém o přebuzeném synchronním stroji.

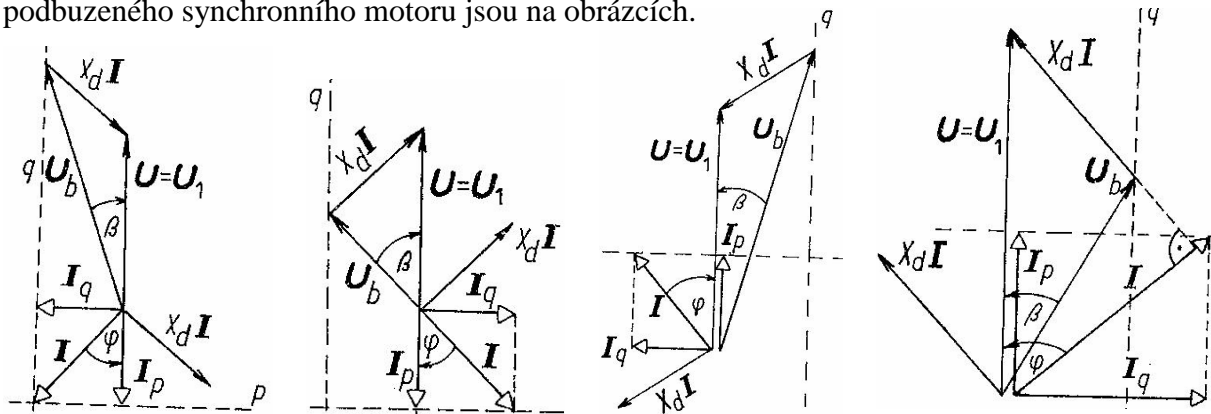
Vraťme se na začátek, kdy buzení synchronního stroje odpovídá chodu stroje při náfázování. Představme si, že poháněcí stroj se snaží synchronní stroj zrychlovat, ale jelikož jsou otáčky synchronního stroje drženy tvrdou sítí a nemohou se měnit, přemění se mechanický příkon poháněcího stroje v synchronním stroji na elektrický výkon. Synchronní stroj začne dodávat do sítě činný proud  $I = I_p$ .

Bude-li naopak poháněcí stroj synchronní stroj brzdít (otáčky se opět nemohou změnit), synchronní stroj bude ze sítě odebírat činný proud  $I = I_p$ .

V prvním případě stroj pracuje v generátorickém chodu ve druhém pak v motorickém chodu.

Budeme-li tedy měnit budící proud  $I_b$  a zároveň regulovat otáčky poháněcího stroje, bude mít výsledný proud  $I$  složku jalovou  $I_q$  i činnou  $I_p$  (velikost  $I_q$  bude závislá na proudu  $I_b$ , velikost  $I_p$  bude závislá na regulátoru otáček poháněcího stroje.)

Fázorové diagramy přebuzeného a podbuzeného synchronního alternátoru a přebuzeného a podbuzeného synchronního motoru jsou na obrázcích.



Úhel mezi fázorem napětí  $U_b$  a fázorem napětí  $U = U_1$  se nazývá zátěžný úhel  $\beta$ . Při chodu naprázdno je  $\beta = 0$ , v zatíženém stavu je u alternátoru  $\beta < 0$  a u motoru  $\beta > 0$  (viz fázorové diagramy). U alternátoru je  $\beta$  úhel, o který předbíhá magnetové kolo polohu, která přísluší chodu na prázdno, u motoru je  $\beta$  úhel, o který se magnetové kolo zpožďuje za polohu příslušející chodu na prázdno.

Velikost zátěžného úhlu závisí na buzení a zatížení stroje. Při změně zatížení se změní zátěžný úhel. Změníme-li však zatížení náhle, neustálí se magnetové kolo v nové poloze okamžitě, ale vlivem setrvačnosti rotoru přechází tento do nové rovnovážné polohy pomalu a

to tak, že tuto polohu přejde a vrací se zpět, tedy kývá kolem nové rovnovážné polohy. Kývání se omezuje pomocí tlumiče, neboli amortizéru. U hladkého rotoru je tlumič sestrojen z měděných pásků uložených pod klíny a spojených na čelech měděnými kruhy. U strojů s vyniklými póly je tlumič vytvořen měděnými tyčemi umístěnými v pólových nástavcích, opět je na čelech spojen nakrátko. Otáčí-li se rotor stejnou rychlostí jako magnetické pole statoru, neindukuje se v tlumiči žádné napětí a neprochází jím žádný proud, teprve při kývání vzniká asynchronní moment, který zvětšuje stabilitu stroje. Stabilní chod je tedy možný jen pro  $0 < |\beta| < \pi/2$

### **7.7. Synchronní motor**

Synchronní motor se vyznačuje tím, že se jeho otáčky nemění se zatížením nemění-li se frekvence přiváděného napětí, moment zátěže však musí být menší než tzv. moment zvratu, při kterém by motor vypadl ze synchronního chodu. Synchronní motory se dlouho nemohly uplatnit a to pro potíže při jejich rozběhu, musely být totiž nejdříve roztočeny na synchronní otáčky a teprve poté připojeny na síť. Dnes se však synchronní motory staví jako autosynchronní, tj. s vlastním asynchronním rozběhem (do 15 MW). Tyto stroje mají na rotoru tlumič ve tvaru klecového vinutí nakrátko, takže se rozbíhají jako asynchronní motor nakrátko.

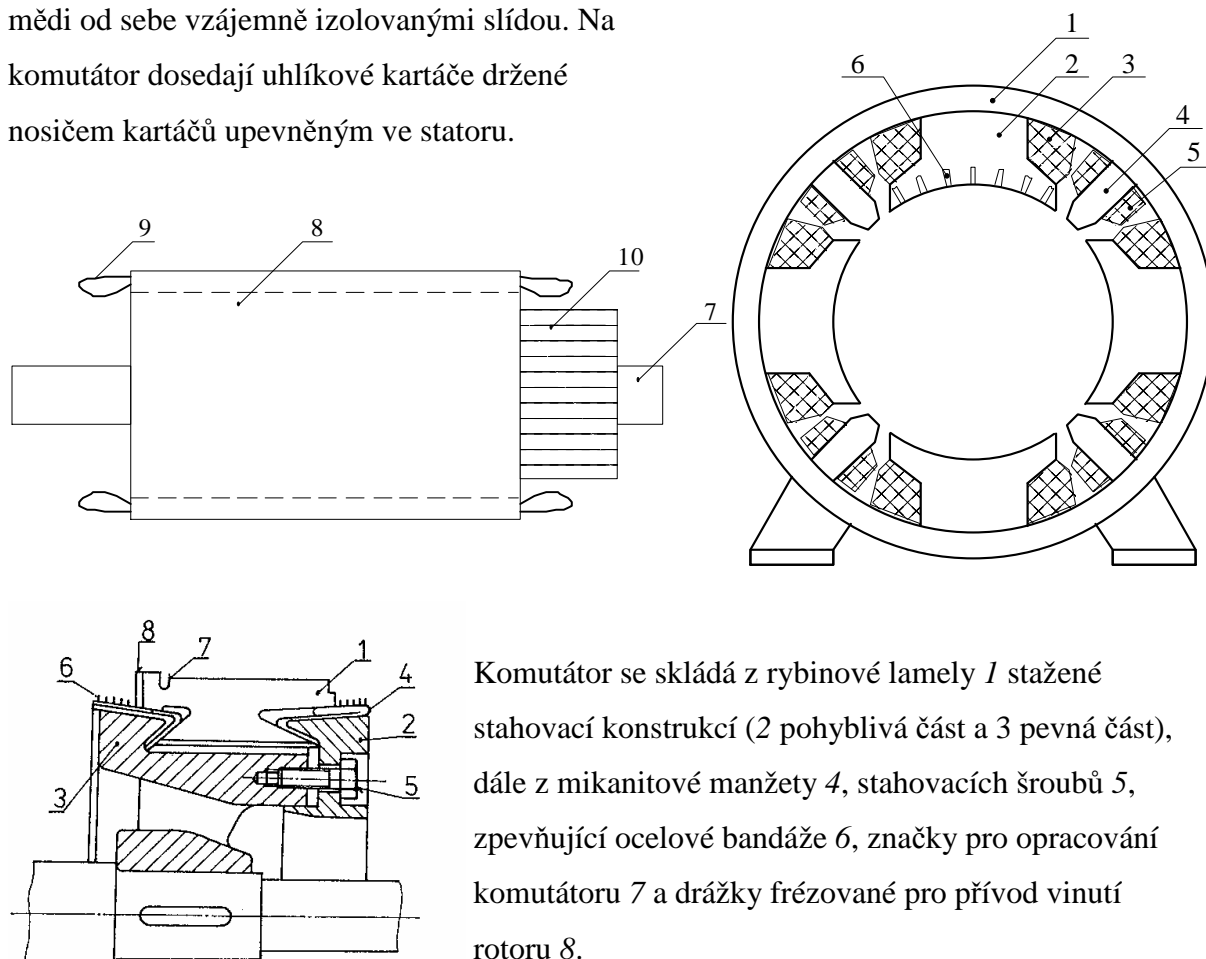
### **7.8. Synchronní kompenzátor**

Na rozsáhlé síti velkých výkonů se na vhodných místech připojí synchronní kompenzátory o výkonu až 100 MVA, což jsou synchronní motory běžící naprázdno. Většinou bývají přebuzeny, takže pracují s kapacitním účínkem, můžou však pracovat i s účínkem induktivního charakteru, tedy podbuzeny. Tyto stroje tedy pouze dodávají (odebírají) do sítě jalovou energii.

## 8. STEJNOSMĚRNÉ STROJE

### 8.1. Konstrukční uspořádání stejnosměrných strojů

Skládá se ze statoru a rotoru. Stator je složen s několika částí - v odlité kostře 1 jsou našroubovány hlavní póly 2 na nichž je navinuto tzv. budící vinutí 3 (vinutí hlavních pólů), mezi hlavními póly jsou našroubovány póly pomocné 4 s vinutím pomocných pólů 5. Hlavní póly větších strojů pak mívají navíc ve svých pólových nastavcích drážky pro kompenzační vinutí 6. Vinutí pomocných pólů a kompenzační vinutí se zapojuje do série s vinutím rotoru a slouží k potlačení reakce kotvy. Rotor ve tvaru válce je složen z na hřídeli 7 nalisovaného svazku plechů 8 po jehož obvodu jsou drážky. V drážkách je izolovaně uloženo vinutí 9, jehož začátky a konce jsou vyvedeny na komutátor 10. Komutátor je tvořen lamelami z tvrdé mědi od sebe vzájemně izolovanými slídou. Na komutátor dosedají uhlíkové kartáče držené nosičem kartáčů upevněným ve statoru.



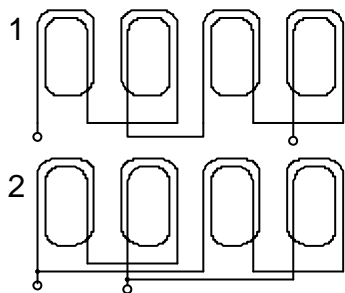
Komutátor se skládá z rybinové lamely 1 stažené stahovací konstrukcí (2 pohyblivá část a 3 pevná část), dále z mikanitové manžety 4, stahovacích šroubů 5, zpevňující ocelové bandáže 6, značky pro opravení komutátoru 7 a drážky frézované pro přívod vinutí rotoru 8.

### 8.2. Vinutí stejnosměrných strojů

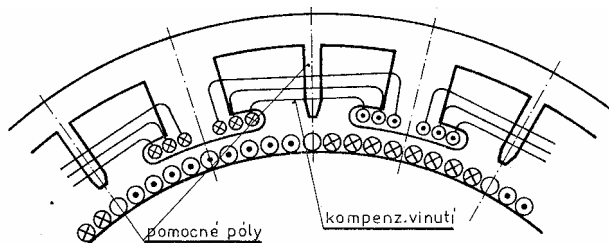
#### *Vinutí statoru*

Ve statoru jsou umístěny na hlavních pólech budící cívky, na pomocných pólech vinutí pomocných pólů a u větších strojů je v drážkách pólových nastavců hlavních pólů uloženo





kompenzační vinutí. Budící cívky bývají nejčastěji zapojeny do série 1, ale mohou být zapojeny i paralelně nebo paralelně ve skupinách 2. Cívky pomocných pólů i kompenzačního vinutí se zapojují vždy sériově.



### Vinutí rotoru

Rotory mají většinou dvouvrstvé vinutí a platí pro něj, že drážkový krok musí přibližně odpovídat pólovému dělení, může však být i zkrácený či prodloužený.

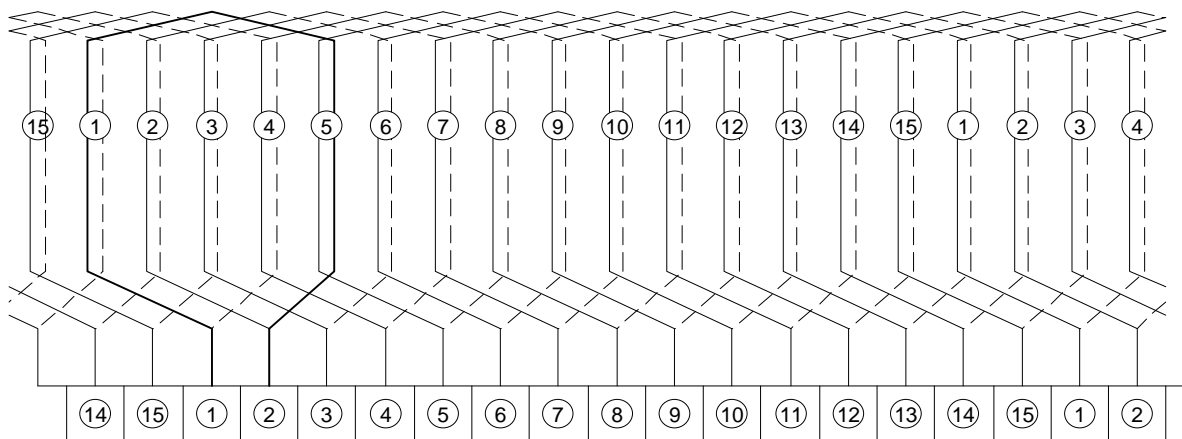
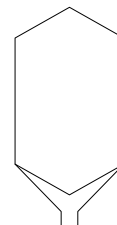
Jsou-li cívky rotoru zapojeny tak, že konec jedné cívky je na lamelu komutátoru spojen se začátkem následující cívky mluvíme o tzv. **smýčkovém** vinutí. Počet lamel mezi začátkem a koncem vinutí jedné cívky rotoru se nazývá krok komutátoru a u smýčkového vinutí je vždy

roven jedné  $y_k = y_1 - y_2 = 1$ , kde  $y_1$  je drážkový krok ( $y_1 = \frac{Q}{2p}$ , popř.  $y_1 = \frac{Q}{2p} - n$  pro

zkrácený krok, kde  $Q$  je počet drážek,  $2p$  počet pólů a  $n$  počet drážek o které je krok zkrácen) a  $y_2$  je krok připojení (krok kartáčů). Bude-li konec cívky připojen na lamelu s o jedno vyšším číslem než začátek této cívky (začátek = lamela č. 1, konec = lamela č. 2), jedná se o tzv. nekřížené vinutí (viz obrázek), bude-li naopak konec na lamelu s nižším číslem jedná se o vinutí křížené.

Smyčkové vinutí má vždy počet paralelně zapojených proudových okruhů roven počtu pólů a počtu kartáčů.

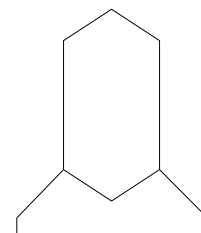
$$y_1 = \frac{Q}{2p} = \frac{15}{2 \cdot 2} = 4, y_k = 1$$



Druhý možný způsob provedení rotorového vinutí je tzv. vinutí **vlnové**.

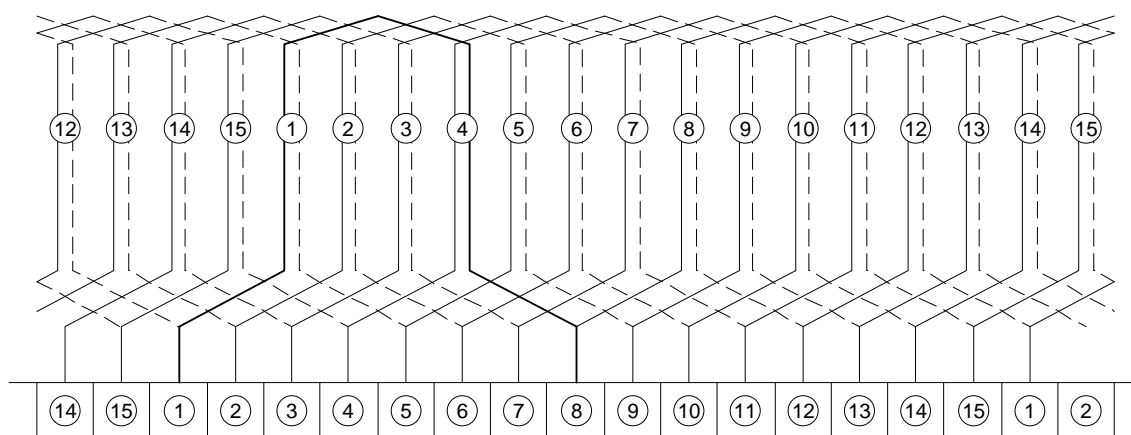
Toto vinutí má počet do série zapojených cívek roven počtu pólů a komutátorový krok odpovídá dvojnásobnému pólovému dělení

$$y_k = y_1 + y_2 \left( y_1 = \frac{Q \pm 1}{2p}, y_k = \frac{K \pm 1}{p}, \text{ kde } K \text{ počet lamel komutátoru} \right).$$



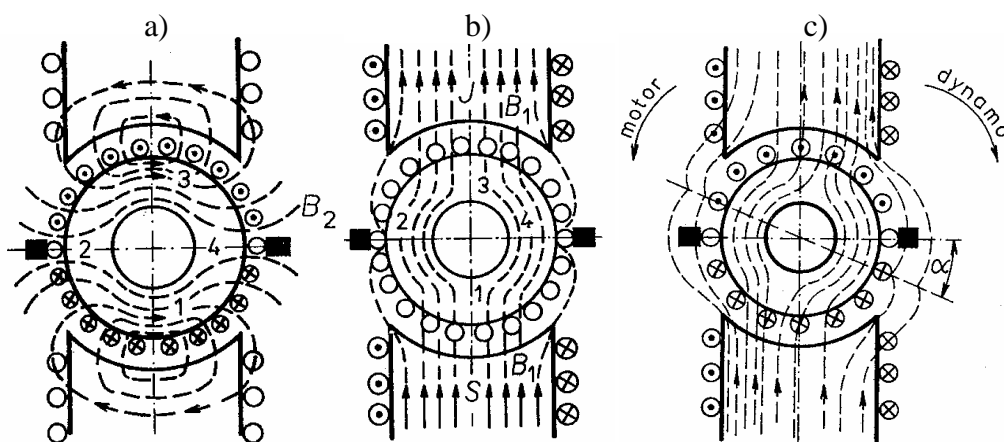
Počet lamel musí být u vlnového vinutí vždy lichý, jinak by konec poslední sériově spojené cívky skončil v lamelě na kterou je připojen začátek první cívky. Budeme-li ve výpočtu drážkového a komutátorového kroku dosazovat znaménko - bude vinutí nekřížené (viz obrázek) a při dosazení znaménka + bude křížené.

$$y_1 = \frac{Q-1}{2p} = \frac{15-1}{2 \cdot 2} = 3, y_k = \frac{K \pm 1}{p} = \frac{15-1}{2} = 7$$



### 8.3. Reakce kotvy a její potlačení

Magnetické pole vytvořené proudem procházejícím vinutím rotoru nazýváme pole reakce kotvy neboli příčné pole kotvy (obr. a). Toto pole je kolmé na pole hlavních pólů (obr. b) se



kterým se sčítá (obr. c) a posunuje neutrálu o úhel  $\alpha$ . Posunutí neutrály závisí na činnosti stroje u dynam

se posouvá ve směru otáčení, u motorů proti směru. K potlačení reakce kotvy se používají pomocné póly zapojené do série s kotvou, u větších strojů se navíc připojují kompenzační

vinutí. Nestačí-li to k úplnému vyrušení pole reakce kotvy pak je nutné ještě pootočit kartáče tak, aby ležely v neutrále. Pomocné póly jsou zapojeny do série s kotvou a proto pole buzené vinutím pomocných pólů má vždy opačný směr než reakce kotvy a tím ji kompenzuje.

Pomocné póly jsou ve statoru zapojeny vždy tak, že za hlavním pólem severním následuje pomocný pól jižní. Kompenzační vinutí slouží k potlačení deformací vlastního budícího pole hlavních pólů. Toto pole je totiž reakcí kotvy vytlačeno k jedné hraně hlavního pólu a tím vzniká v důsledku magnetického přesycení v okrajích pólových nástavců nehomogenní deformované pole. Důsledkem deformovaného budícího pole se indukují v cívkách rotoru různá napětí, což vede k napěťovým rozdílům mezi sousedními lamelami komutátoru tzv. lamelovému napětí a tím k jiskření mezi lamelami.

#### **8.4. Komutace**

Je to změna smyslu proudu ve vinutí kotvy při přechodu kartáče z lamely na lamelu. Aby proud změnil svůj směr, musí nejdříve zaniknout, tím ale také zanikne magnetické pole vyvolané tímto proudem. Nastává tedy časová změna magnetického toku, při níž se vlastní indukci indukuje ve vodiči napětí nazývané reakční. Toto napětí spolu s lamelovým napětím vytváří jiskření na komutátoru. Proto se snažíme průběh komutace ovlivnit tak, aby k jiskření nedocházelo. Potlačujeme tedy lamelové napětí kompenzačními (pomocnými) póly a navíc lamely se stejným napětím propojujeme lamelovými spojkami a reakční napětí vyrušíme tím, že ke komutaci bude docházet přesně v magnetické neutrále. Někdy se stává, že magnetická indukce pomocných pólů je příliš velká a tím dojde k tzv. překomutování. Proto se mezi pomocný pól a kostru stroje vkládají plechy, které zmenšují vzduchovou mezeru mezi póly a rotorem.

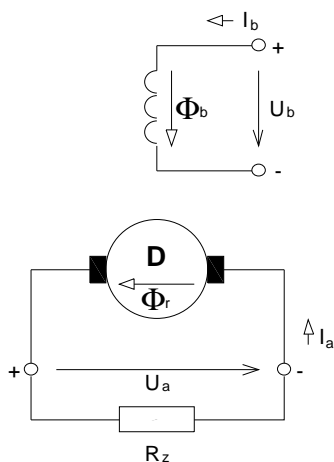
K jiskření na komutátoru může navíc dojít i mechanickými vlivy a to vyčnívá-li izolace mezi lamelami, kartáče vibrují nebo jsou-li kartáče vychýleny z osy.

#### **8.5. Dynama**

Dynama jsou stejnosměrné stroje, které mění mechanickou energii na energii elektrickou. Rozdělujeme je podle zapojení budícího vinutí vůči vinutí kotvy na dynama s cizím buzením a s buzením vlastním – paralelním (derivačním), sériovým a smíšeným

### 8.5.1. Cize buzené dynamo

#### Schéma zapojení

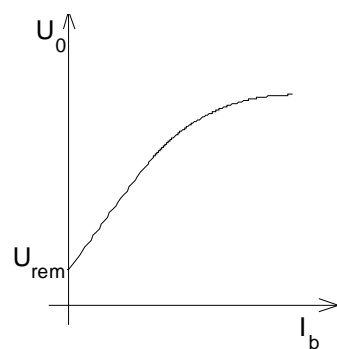


#### Princip

Budící vinutí hlavních pólů připojíme ke zdroji stejnosměrného napětí, tím začne vinutím procházet proud a vybudí magnetický tok. Budeme-li otáčet rotorem, bude se do vodičů rotoru indukovat střídavé napětí, toto mechanicky usměrňuje komutátor a z kartáčů pak odebíráme napětí stejnosměrné. Velikost odebíraného napětí se reguluje změnou odporu v budícím obvodu nebo přímo změnou budícího napětí.

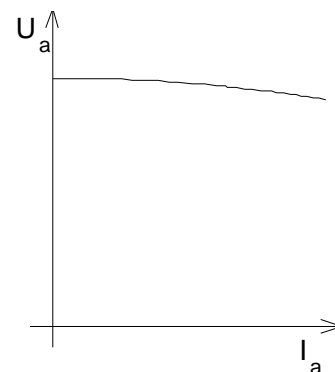
#### Charakteristika na prázdkno

Je závislost svorkového napětí na budícím proudu při konstantních otáčkách a nezatíženém stroji. Jedná se v podstatě o magnetizační charakteristiku, kde  $U_r$  je tzv. remanentní napětí odpovídající remanentnímu toku  $\Phi_{br}$ , tedy toku při nulovém budícím proudu.



#### Zatěžovací charakteristika

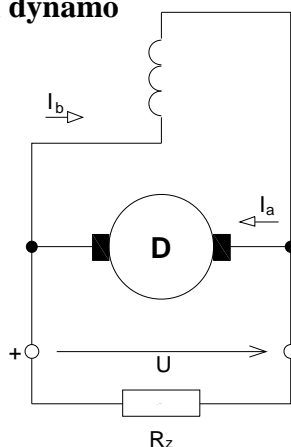
Je to závislost svorkového napětí na zatěžovacím proudu při konstantním budícím proudu a stálých otáčkách. Svorkové napětí mírně klesá se zatížením, neboť se vzrůstajícím proudem vzrůstá i úbytek na kotvě.



Výhody cize buzeného dynama jsou malý pokles napětí při zatížení, snadná regulace napětí od nuly až po jmenovité napětí a snadná reverzovatelnost (změnou směru otáčení nebo přepólováním buzení). Nevýhodou je nutnost cizího zdroje pro buzení.

### 8.5.2. Derivační dynamo

#### Schéma zapojení



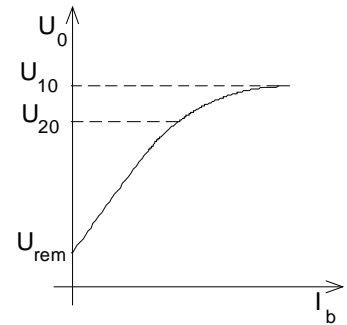
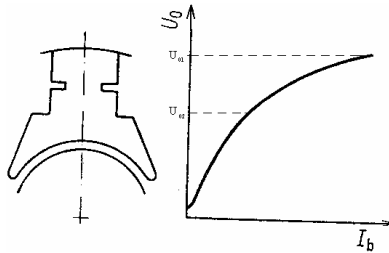
#### Princip

Když roztočíme rotor dynama, indukuje se nejdříve ve vinutí kotvy malé napětí vlivem remanentního magnetického toku. A jelikož je paralelně ke kotvě připojeno budící vinutí začne jím procházet budící proud. Tok jím buzený musí mít stejný směr

jako tok remanentní a tím se bude zvětšovat tok výsledný. Zároveň se tedy zvyšuje i indukované napětí a proto i budící proud až dojde k ustálenému stavu.

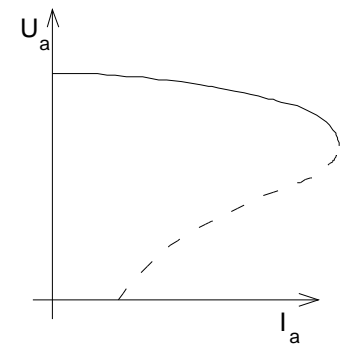
### Charakteristika na prázdnou

Je opět podobná magnetizační charakteristice a určuje rozsah řízení napětí od tzv. stropního napětí  $U_{10}$  při  $R_b = 0$  až po minimální hodnotu danou zlomem charakteristiky  $U_{20}$  (zvětšení rozsahu řízení napětí se dá upravit poklesem zlomu charakteristiky např. zářezy do magnetického obvodu hlavních pólů)



### Zatěžovací charakteristika

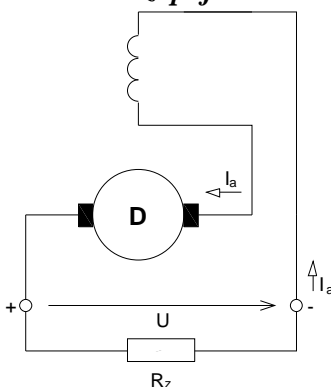
Zatěžovací charakteristika zpočátku klesá o něco víc než u cizí buzeného dynama, protože s poklesem svorkového napětí se zároveň zmenšuje i budící proud a tím i budící magnetický tok. Při určité hodnotě zatěžovacího proudu dojde k odbuzení neboť většina proudu půjde do zátěže a budící proud bude malý tím dojde k poklesu budícího magnetického toku, poklesu napětí a tím i proudu. Proud nakrátko je tedy velice malý (často menší než proud jmenovitý) a říkáme, že derivační dynamo je zkratuvzdorné.



Výhodou tohoto dynama je, že nepotřebuje cizí zdroj napětí při dostatečné tvrdosti zatěžovací charakteristiky a jeho zkratuvzdornost. Nevýhodou je horší možnost řízení napětí.

### 8.5.3. Dynamo sériové

#### Schéma zapojení



#### Princip

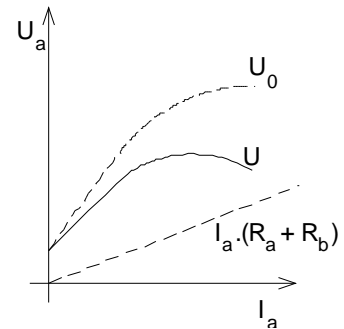
Zatěžovací proud je zde i proudem budícím a dokud není připojena zátěž nemůže obvodem procházet proud a dynamo se nenabudí.

#### Charakteristika na prázdnou

Nedá se zjistit, neboť naprázdno toto dynamo nefunguje a proto se zjišťuje měřením s buzením připojeným na cizí zdroj.

### Zatěžovací charakteristika

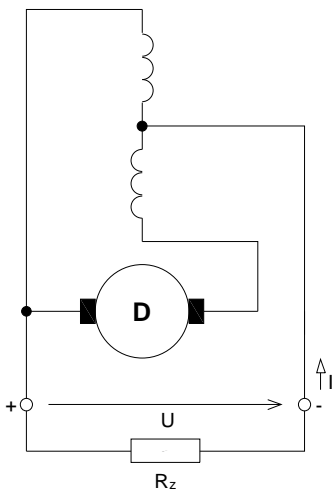
Zatěžovací charakteristika se zjišťuje odečtem úbytků napětí na odporu rotoru a odporu buzení od charakteristiky naprázdno. Budeme-li zvyšovat odebíraný proud, bude se zvětšovat i buzení a tím poroste i svorkové napětí. Nárůst napětí přestane v okamžiku, kdy začne převládat úbytek napětí na odporu rotoru a buzení.



Napětí tohoto dynama výrazně kolísá se zatížením a proto se v podstatě nepoužívá. Je vhodné jen pro svařování a proto mu též říkáme dynamo svařovací.

### 8.5.4. Dynamo se smíšeným buzením

#### Schéma zapojení

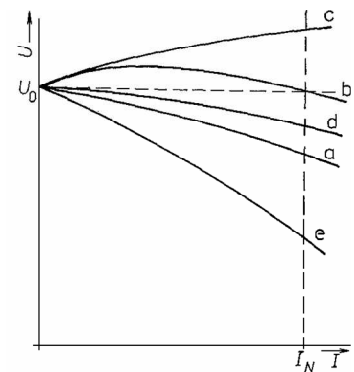


#### Princip

Buzení mají rozděleno na dvě části, jedna část je zapojena ke kotvě sériově a druhá paralelně. Podle způsobu zapojení máme dynama kompaundní u kterého je celkový budící magnetický tok součtem magnetických toků sériové a paralelní části buzení, dynamo překompaundované, které má větší počet závitů sériové části buzení a protikompaundní u kterého budící toky sériové a paralelní části působí proti sobě.

#### Zatěžovací charakteristika

Ze zatěžovacích charakteristik kompaundního dynama (b) je patrné, že sériová část buzení kryje se zvětšující se zátěží úbytky napětí a v oblasti menších odebíraných proudů je napětí dokonce vyšší než napětí naprázdno (na rozdíl od charakteristiky a derivačního dynama). U překompaundovaného dynama (c) dokonce napětí s rostoucí zátěží stoupá. Charakteristika (d) představuje tzv. nedokompaundované dynamo tedy dynamo s menším počtem sériových závitů. Protikompaundní dynamo (e) se naopak se zvětšující se zátěží odbuzuje a napětí výrazně klesá (druhý typ svařovacího dynama).

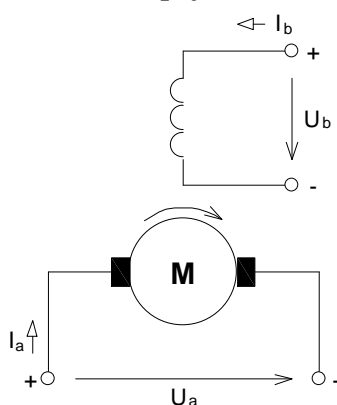


## 8.6. Motory

Motory jsou stejnosměrné stroje, které mění elektrickou energii na energii mechanickou. Rozdělujeme je stejně jako dynamy podle zapojení budícího vinutí vůči vinutí kotvy na motory s cizím buzením a s buzením vlastním – paralelním (derivačním), sériovým a smíšeným

### 8.6.1. Cizí buzený motor

#### Schéma zapojení

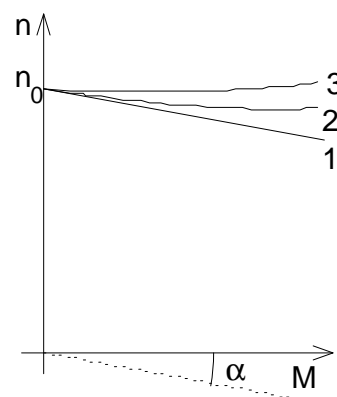


#### Princip

Prochází-li cívkami hlavních pólů stejnosměrný proud vytvoří se statické magnetické pole. Jelikož zároveň prochází proud přes komutátor do vinutí rotoru nacházejícího se v magnetickém poli hlavních pólů. Bude na vinutí rotoru působit síla, která jím pohne a pootočí jej. Zároveň komutátor zajistí, že pod jižním pólem bude vinutím rotoru procházet opačný proud než pod pólem severním a rotor se bude otáčet. Komutátor tedy pracuje jako rotační střídač.

#### Otáčková charakteristika

Je závislost otáček motoru na momentu stroje. U dobře kompenzovaného stroje ( $\Phi$  se se zatížením nemění) se jedná o přímku se sklonem daným odporem kotvy  $I$  (u hůře kompenzovaných strojů otáčky klesají mírněji 2 či dokonce mírně stoupají 3). Pro určení tvaru otáčkové charakteristiky vycházíme z napěťové rovnice  $U = U_i + R_a \cdot I_a$ , kde  $U_i$  je indukované napětí a je dáno vztahem  $U_i = C_1 \cdot \Phi \cdot \omega$ , kde  $C_1$  je



konstrukční konstanta stroje,  $\Phi$  je budící magnetický tok a  $\omega$  je úhlová rychlost. Dosadíme do napěťové rovnice  $U = C_1 \cdot \Phi \cdot \omega + R_a \cdot I_a$  a celou ji vynásobíme proudem kotvy čímž dostaneme rovnici výkonovou  $U \cdot I_a = I_a \cdot C_1 \cdot \Phi \cdot \omega + R_a \cdot I_a^2$ , kde  $U \cdot I_a$  představuje elektrický příkon,  $R_a \cdot I_a^2$  Jouleovy ztráty ve vinutí rotoru a  $I_a \cdot C_1 \cdot \Phi \cdot \omega$  je mechanický výkon na hřídeli motoru. Ten je dán také vztahem  $P = M_h \cdot \omega$ . Z rovnosti těchto dvou výrazů si vyjádříme proud kotvy

$$I_a \cdot C_1 \cdot \Phi = M_h \cdot \omega \Rightarrow I_a = \frac{M_h \omega}{C_1 \Phi} = \frac{M_h}{C_1 \Phi}, \text{ dosadíme do napěťové rovnice}$$

$U = C_1 \cdot \Phi \cdot \omega + R_a \cdot \frac{M_h}{C_1 \Phi}$ . Z této rovnice vyjádříme úhlovou rychlost v závislosti na momentu

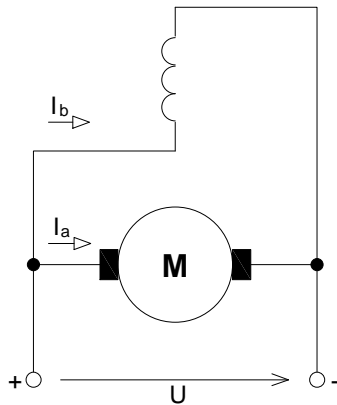
$$C_1 \cdot \Phi \cdot \omega = U - R_a \cdot \frac{M_h}{C_1 \Phi}, \quad \omega = \frac{U - R_a \frac{M_h}{C_1 \Phi}}{C_1 \Phi}, \quad \omega = \frac{U}{C_1 \Phi} - \frac{R_a}{C_1^2 \Phi^2} M_h, \text{ jedná se o rovnici přímky}$$

ze směrnici  $\text{tg}\alpha = \frac{R_a}{C_1^2 \Phi^2}$ . Dosadíme-li do rovnice  $M_h = 0$ , pak dostaneme otáčky naprázdno

$$\omega_0 = \frac{U}{C_1 \Phi}.$$

### 8.6.2. Derivační motor

#### Schéma zapojení



#### Princip

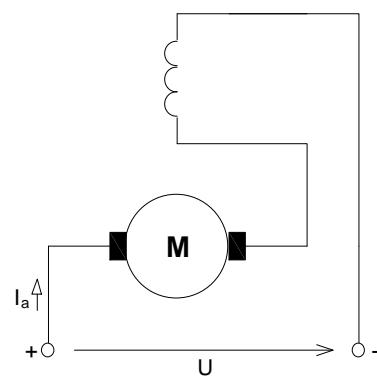
Princip je obdobný jako u cizí buzení dynama, stejně tak i momentová charakteristika. Při malém zatížení však nikdy nesmí dojít k přerušení obvodu buzení, neboť by magnetický tok poklesl na hodnotu remanentního toku a otáčky by neúměrně vzrostly. Tyto motory se používají tam, kde jsou potřeba stálé otáčky nezávislé na zatížení.

#### Otáčková charakteristika

je stejná jako u motoru s cizím buzením

### 8.6.3. Motor sériový

#### Schéma zapojení



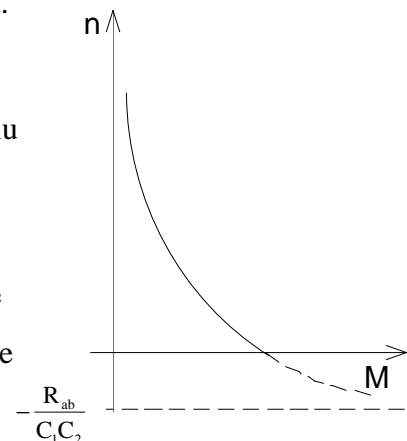
#### Princip

Princip je opět podobný jen budící vinutí je tvořeno několika závity vodiče velkého průřezu neboť budícím vinutím prochází velký rotorový proud.

#### Otáčková charakteristika

Jedná se v podstatě o hyperbolu jejíž jednou asymptotou je osa

otáček a druhou je rovnoběžka s osou momentu posunutá pod tuto osu. Pro určení tvaru otáčkové charakteristiky vycházíme opět z napěťové rovnice  $U = U_i + R_{ab} \cdot I_a$ , kde  $U_i = C_1 \cdot \Phi \cdot \omega$ , kde





$C_1$  je konstrukční konstanta stroje,  $\Phi = C_2 \cdot I_a$  je budící magnetický tok (není konstantní je dán magnetizační charakteristikou) a  $\omega$  je úhlová rychlost. Dosadíme do napěťové rovnice  $U = C_1 \cdot C_2 \cdot I_a \cdot \omega + R_{ab} \cdot I_a$  a celou ji vynásobíme proudem kotvy čímž dostaneme rovnici výkonovou  $U \cdot I_a = C_1 \cdot C_2 \cdot I_a^2 \cdot \omega + R_{ab} \cdot I_a^2$ , kde  $U \cdot I_a$  představuje elektrický příkon,  $R_{ab} \cdot I_a^2$  Jouleovy ztráty ve vinutí rotoru a  $C_1 \cdot C_2 \cdot I_a^2 \cdot \omega$  je mechanický výkon na hřídeli motoru. Ten je dán také vztahem  $P = M_h \cdot \omega$ . Z rovností těchto dvou výrazů si vyjádříme proud kotvy

$$C_1 \cdot C_2 \cdot I_a^2 \cdot \omega = M_h \cdot \omega \Rightarrow I_a^2 = \frac{M_h \omega}{C_1 \Phi \omega} = \frac{M_h}{C_1 C_2} \Rightarrow I_a = \sqrt{\frac{M_h}{C_1 C_2}}$$

$$U = C_1 \cdot C_2 \cdot \sqrt{\frac{M_h}{C_1 C_2}} \cdot \omega + R_{ab} \cdot \sqrt{\frac{M_h}{C_1 C_2}}$$

Z této rovnice vyjádříme úhlovou rychlost v závislosti

$$\text{na momentu } C_1 \cdot C_2 \cdot \sqrt{\frac{M_h}{C_1 C_2}} \cdot \omega = U - R_{ab} \cdot \sqrt{\frac{M_h}{C_1 C_2}}, \omega = \frac{U}{C_1 C_2 \sqrt{\frac{M_h}{C_1 C_2}}} - \frac{R_{ab} \sqrt{\frac{M_h}{C_1 C_2}}}{C_1 C_2 \sqrt{\frac{M_h}{C_1 C_2}}},$$

$$\omega = \frac{U}{\sqrt{C_1 C_2} \sqrt{M_h}} - \frac{R_{ab}}{C_1 C_2}, \text{ jedná se o rovnici hyperboly jejíž jednou asymptotou je osa otáček}$$

a druhou je rovnoběžka s osou momentu posunutá pod tuto osu o  $\frac{R_{ab}}{C_1 C_2}$

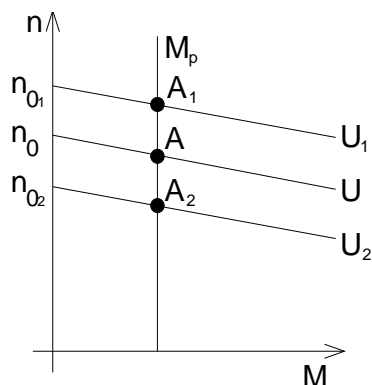
Tyto motory se používají tam, kde je potřeba velkého záběrného momentu (velké obráběcí stroje, trakce, apod.), ale jejich nevýhoda je, že při odlehčení by jejich otáčky narostly na nekonečno a motor by se zničil (nesmí se zapojovat s řemenovými a podobnými převody).

## 8.7. Regulace otáček stejnosměrných motorů

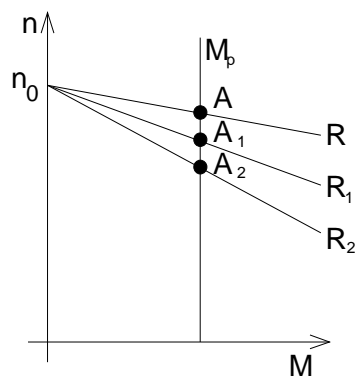
### 8.7.1. Regulace otáček cize buzených a derivačních motorů

Jak vyplívá z otáčkové charakteristiky otáčky můžeme řídit změnou napětí kotvy, zařazením rezistoru do série s rotorovým vinutím a změnou budícího toku.

Regulace otáček změnou napětí - změnou napětí se mění jen otáčky naprázdno, sklon charakteristiky zůstává stejný (většímu napětí odpovídají vyšší otáčky  $U_1 < U < U_2$ ).

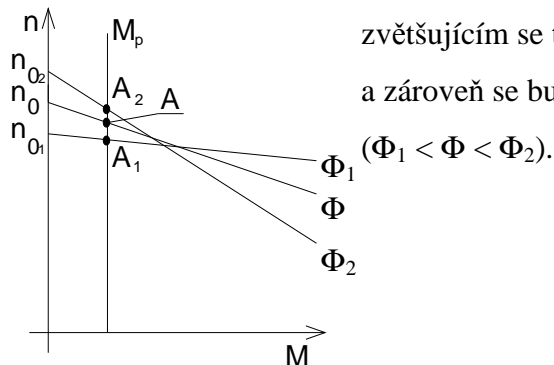


Regulace otáček rezistorem do série s vinutím rotoru – Zapojením rezistoru do série



s vinutím kotvy se pouze zvýší sklon charakteristiky (změní se hodnota  $\text{tg}\alpha$ ), otáčky naprázdno se nemění. Otáčky lze regulovat jen směrem dolů ( $R < R_1 < R_2$ ).

Regulace otáček buzením - Změnou budícího toku  $\Phi$  se mění obě části rovnice a proto se zvětšujícím se tokem se budou zmenšovat otáčky naprázdno a zároveň se bude zmenšovat i sklon charakteristiky



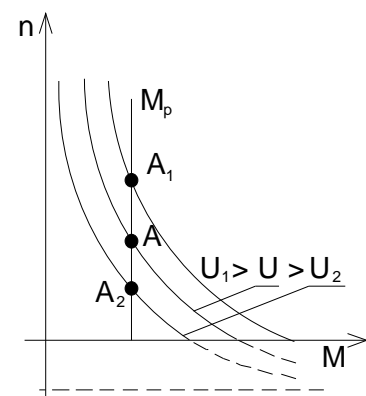
( $\Phi_1 < \Phi < \Phi_2$ ).

### 8.7.2. Regulace otáček motorů se sériovým buzením

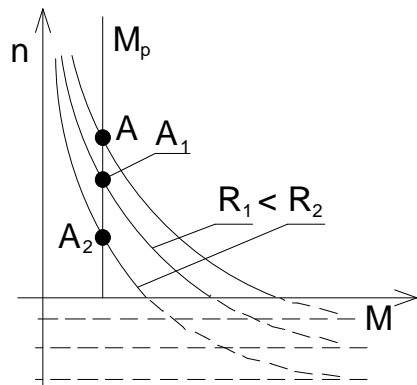
Pro sériové motory platí v podstatě totéž co pro motory cize buzené respektive derivační, otáčky se tedy dají řídit napětím, odporem zařazeným do série s vinutím rotoru a budícím proudem.

Regulace otáček změnou napětí - změnou napětí se

charakteristika jen posouvá dál od osového kříže (při větším napětí -  $U_1$ ) nebo blíže k osovému kříži při menším napětí -  $U_2$ ), asymptoty charakteristik zůstávají stejné.



Regulace otáček rezistorem do série s vinutím rotoru – Zapojením rezistoru do série

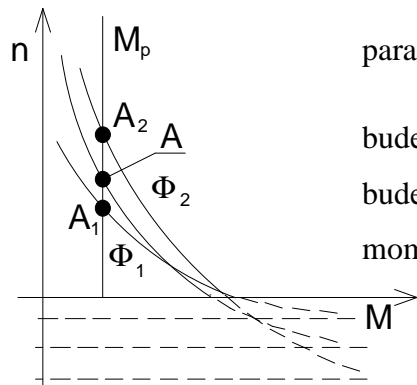


s vinutím kotvy se pouze oddálí asymptota charakteristiky rovnoběžná s osou momentu

$$\left( \frac{R_{ab}}{C_1 C_2} < \frac{R_{ab} + R_1}{C_1 C_2} < \frac{R_{ab} + R_2}{C_1 C_2} \right).$$

Otáčky lze regulovat opět jen směrem dolů .

Regulace otáček buzením - Změnou budícího toku  $\Phi$  se mění obě části rovnice (mění se



parametr  $C_2 - C_2 = \frac{\Phi}{I_a}$ ) a proto se zvětšujícím se tokem ( $\Phi_1$ ) se

bude charakteristika přibližovat k osovému kříži a zároveň se bude přibližovat i asymptota charakteristiky rovnoběžná s osou momentu.

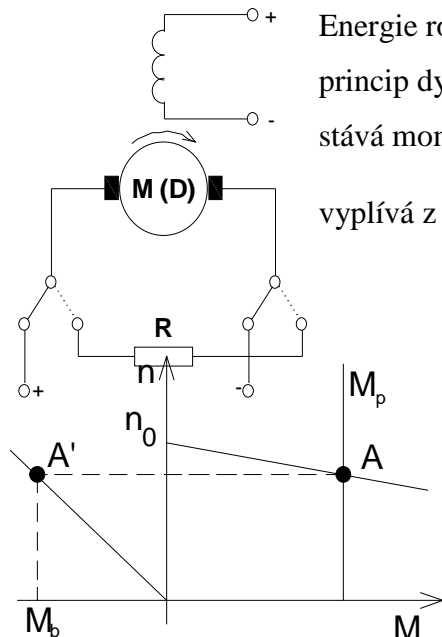
## 8.8. Brzdění stejnosměrných motorů

### 8.8.1. Brzdění motorů s cizím buzením a derivačních

Tyto motory mohou být brzděny buď generátoricky nebo protiproudem. Přičemž do generátorického chodu přejde motor při brzdění do odporu nebo při brzdění rekuperací.

Brzdění do odporu – rotor odpojíme od zdroje a připojíme jej k zatěžovacímu rezistoru.

Energie rotujících částí se ve stroji mění v energii elektrickou (viz princip dynama) a v rezistoru v teplo. Moment rotujících částí se stává momentem zpomalovacím jak



vyplývá z mechanické rovnice motoru  $\omega = \frac{U}{C_1 \Phi} - \frac{R_a}{C_1^2 \Phi^2} M_h$ , protože

po odpojení od zdroje je  $\frac{U}{C_1 \Phi} = 0$ , bude otáčková

charakteristika stroje po připojení k rezistoru dána rovnicí:

$$\omega = -\frac{R_a + R}{C_1^2 \Phi^2} M_h.$$

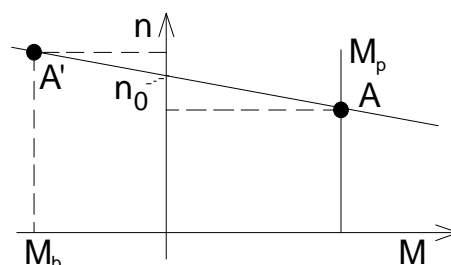
Pracovní bod A tedy přejde z pracovní charakteristiky na charakteristiku zpomalovací (A'). U derivačních motorů se doporučuje přepojit buzení na cizí

zdroj (nechá se připojeno ke zdroji a odpojí se od rotoru).

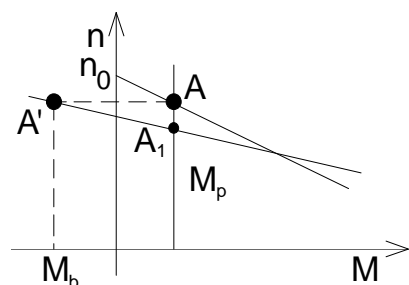
Brzdění rekuperací – nastává roztočí-li se rotor motoru nad otáčky naprázdno a vrací elektrickou energii do sítě. Nutnou podmínkou je, aby napájecí zdroj tuto energii přijal. Elektrickou energii může přijmout akumulátor, který se dobíjí, dynamo, které se stane motorem, ten roztáčí poháněcí asynchronní motor nad synchronní otáčky a on pak vrací energii do sítě, nebo řízený usměrňovač, který přejde do střídačového chodu ( neřízený ani polořízený usměrňovač energii nepřijme).

K tomu může dojít:

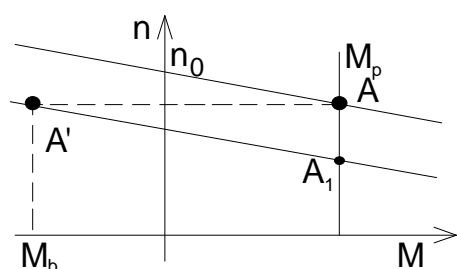
- při mechanickém zrychlení rotoru pracovním strojem například při spouštění břemene u zdvihacích zařízení nebo při jízdě trakčního vozidla s kopce. Pracovní bod A přejde po stejné charakteristice do bodu A' odpovídajícímu vyšším otáčkám a je brzděn zpět brzdným momentem  $M_b$ .



- při přibuzení ne zcela nabuzeného motoru. Pracovní bod přejde na charakteristiku odpovídající vyššímu budícímu proudu (nižší  $n_0$  a menší sklon charakteristiky) a bude brzděn momentem  $M_b$  (až se ustálí v novém pracovním bodě  $A_1$ ).



- při snížení napájecího napětí. Pracovní bod přejde na charakteristiku odpovídající tomuto napětí (do bodu A') a bude brzděn momentem  $M_b$  (až se ustálí v novém pracovním bodě  $A_1$ ).



Brzdění reverzací – motor začne brzdít jakmile jej přepneme na opačný smysl točení (přepólujeme napájecí napětí rotoru nebo napájecí napětí buzení). Jelikož při přepólování zdroje jeho napětí ve stejném smyslu jako napětí

indukované bude obvodem procházet velký proud ( $I_a = \frac{U + U_i}{R_a}$ ), který

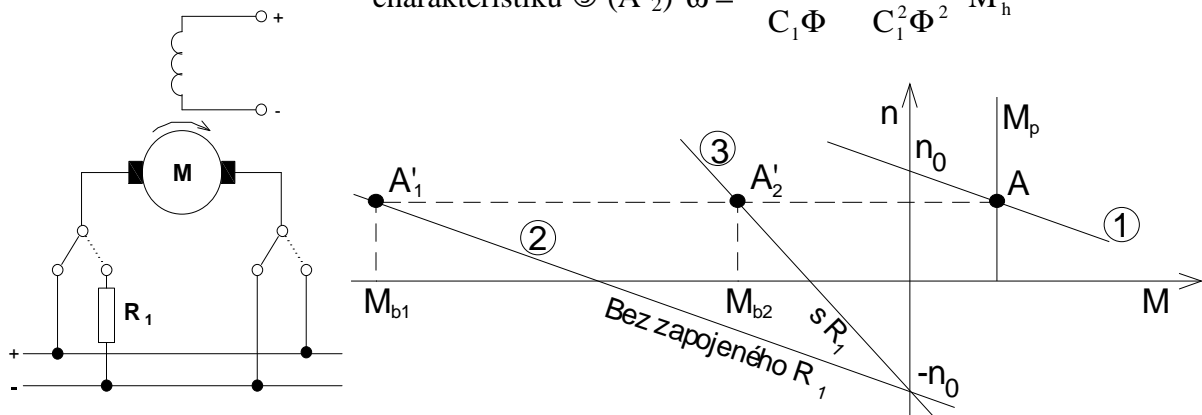
může dosáhnout až dvojnásobku záběrného proudu. Do obvodu se proto zařazuje rezistor, jehož odpor však nesmí být příliš velký, neboť čím bude větší hodnota odporu, tím větší bude sklon charakteristiky a tím menší bude brzdňý moment. Pracovní bod (A) se z charakteristiky ①

dané rovnicí  $\omega = \frac{U}{C_1\Phi} - \frac{R_a}{C_1^2\Phi^2}M_h$  při reverzaci bez zapojeného

rezistoru přesune na charakteristiku ② ( $A'_1$ ), která je dána rovnicí

$\omega = -\frac{U}{C_1\Phi} - \frac{R_a}{C_1^2\Phi^2}M_h$ . Je-li připojen rezistor  $R_1$  přejde pracovní bod na

charakteristiku ③ ( $A'_2$ )  $\omega = -\frac{U}{C_1\Phi} - \frac{R_a+R_1}{C_1^2\Phi^2}M_h$



### 8.8.2. Brzdění motorů sériových

Stejnoseměrné sériové motory se brzdí buď do odporu nebo reverzací (protiproudem).

Brzdění do odporu – Motor se odpojí od zdroje a připojí se k brzdnému rezistoru zapojenému sériově s vinutím kotvy a hlavních pólů. Tím se změní směr proudu a proto je nutné přehodit přívody k budícímu vinutí, aby směr magnetického toku zůstal nezměněn. Mechanická rovnice

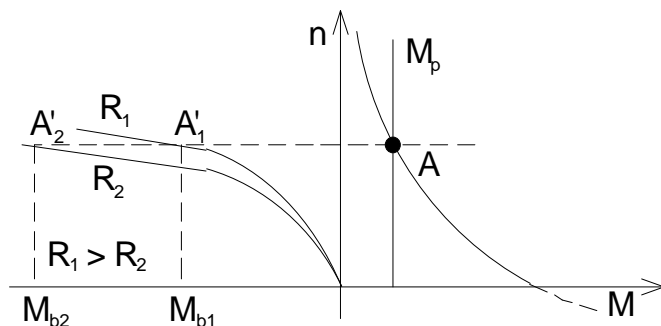
$\omega = \frac{U}{\sqrt{C_1 C_2} \sqrt{M_h}} - \frac{R_{ab}}{C_1 C_2}$  se po odpojení zdroje napětí a po připojení

rezistoru s odporem  $R_1$  upraví na tvar

$\omega = +\frac{R_{ab} + R_1}{C_1 C_2}$  (kladné znaménko

vychází z konstanty  $C_2$ , neboť při brzdění je proud  $I_a$  opačný, tedy

$C_2 = \frac{\Phi}{-I_a}$ ). Tato rovnice představuje



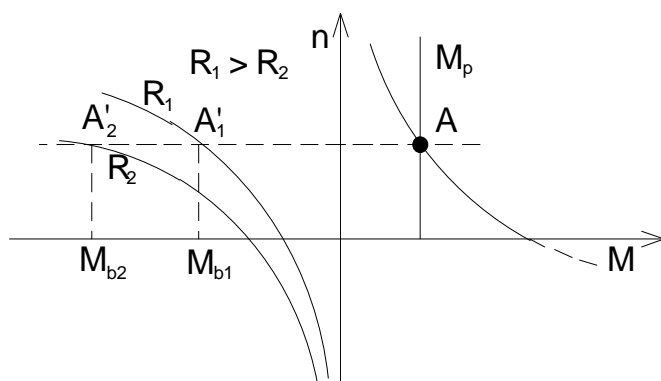
přímku rovnoběžnou s osou momentu. Ve skutečnosti se však jedná o křivku, která se nejdříve mírně a poté prudce blíží k ose momentu, to je způsobeno konstantou  $C_2$ , která se při zpomalování motoru zmenšuje.

Brzdění protiproudem – Zapojíme motor na opačný chod tím že přepólujeme napětí zdroje

připojeného ke svorkám. Velikost proudu ( $I_a = \frac{U + U_i}{R_{ab}}$ ) se

zmenšuje do série zařazeným rezistorem. Mechanická rovnice

$$\omega = \frac{U}{\sqrt{C_1 C_2} \sqrt{M_h}} - \frac{R_{ab}}{C_1 C_2}, \text{ pak při brzdění reverzací přejde na tvar}$$



$$\omega = \frac{-U}{\sqrt{C_1 C_2} \sqrt{M_h}} + \frac{R_{ab} + R}{C_1 C_2}, \text{ což je}$$

rovnice hyperboly, jejíž jednou asymptotou je osa otáček a druhou rovnoběžka s osou momentu posunutá

nad tuto osu o  $\frac{R_{ab} + R}{C_1 C_2}$ .

## **POUŽITÁ LITERATURA**

- [1] L. Voženílek, F. Stibůrek: Základy elektrotechniky II, SNTL 1985
- [2] J. Vladař, J. Zelenka: Elektrotechnika a silnoproudá elektronika, SNTL 1986
- [3] O. Havelka a kol.: Elektrické přístroje, SNTL 1985
- [4] Firemní katalog Moeller
- [5] Firemní katalog OEZ

