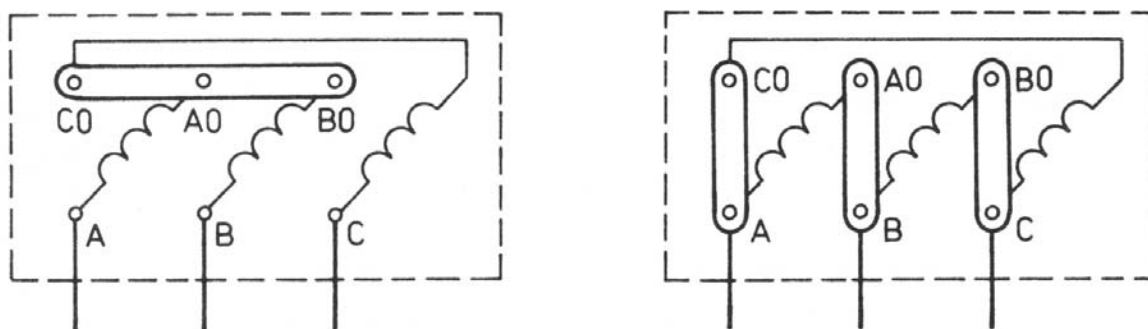


## 8. ZÁKLADNÍ MĚŘENÍ ASYNCHRONNÍCH MOTORŮ

### 8.1 Štítkové údaje

Trojfázové asynchronní motory se mohou na štítku označit dvojitým jmenovitým (tj. sdruženým) napětím např. 400 V / 230 V jen tehdy, mohou-li trvale pracovat při každém z nich po přepojení na svorkovnici. Spojení fází statoru do hvězdy nebo trojúhelníku je zřejmé ze zapojení svorkovnice na obr. 8-1. Toto uspořádání svorek statorového vinutí je u motorů malých a středních výkonů unifikované.



Obr. 8-1 Spojení fází statoru asynchronního motoru

### 8.2 Spouštění trojfázových asynchronních motorů a změna smyslu otáčení

Asynchronní motor odebírá při spouštění velký záběrný proud, jehož časový průběh má zkratový charakter a který je omezen jen impedancí nakrátko. Velikost záběrného proudu je přibližně 4-7 násobek jmenovitého proudu u motorů s kotvou nakrátko a 3 - 5 násobek u strojů s kotvou kroužkovou (vinutou). Proudový ráz může vyvolat v distribuční síti činnost ochrany i velký pokles napětí, který má nepříznivé důsledky pro ostatní spotřebitele. Proto se snažíme některým z následujících způsobů omezit záběrový proud na přípustnou hodnotu při respektování dostatečně velkého záběrného momentu.

Změnu smyslu otáčení as. motoru provedeme záměnou dvou fází napájení.

#### a. Přímé připojení asynchronního motoru na síť

Přímé připojení je nejjednodušší a provozně nejspolehlivější způsob spouštění. Provádí se všude tam, kde je dostatečně dimenzovaná síť. V distribučních sítích *nn* lze takto spouštět motory přibližně do velikosti 3 kW. V podnicích (elektrárnách) se v některých případech spouští přímým připojením na vysoké napětí (např. 6 kV) asynchronní motory i velkých výkonů (až 12 MW).

#### b. Spouštění při sníženém napětí

Záběrný proud můžeme omezit s přihlédnutím k dostatečnému hnacímu momentu snížením napájecího napětí. V našem případě laboratorních podmínek snížíme napětí říditelným zdrojem přibližně na jednu třetinu jmenovité hodnoty a na ampérmetru sledujeme

velikost záběrného proudu při rozběhu motoru, změnu proudu s nárůstem otáček a dobu trvání zvýšeného proudu.

V praxi, kde není možnost regulovat zdroj, vřazujeme do přívodů odpory nebo tlumivky, takže napětí na motoru při spouštění je nižší než jmenovité. Záběrný moment ovšem poklesne z hodnoty  $M_z$  při jmen. napětí na hodnotu

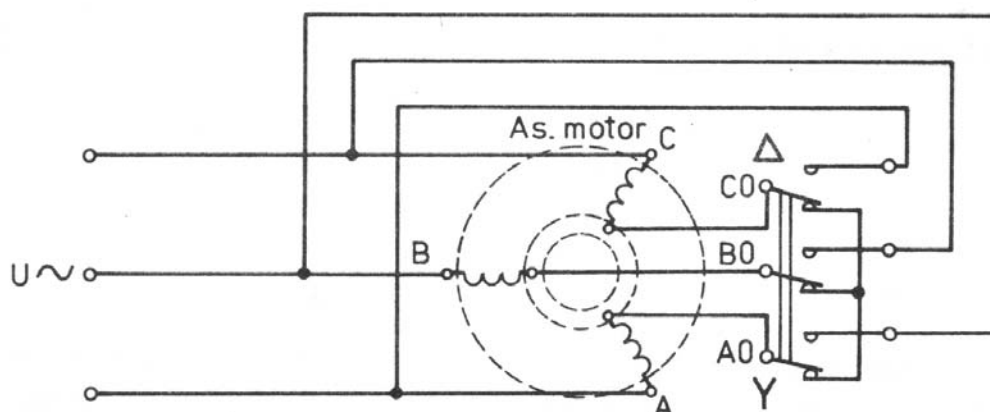
$$M = M_z \cdot \left( \frac{U_1}{U_{1n}} \right)^2 = M_z \left( \frac{I}{I_z} \right)^2$$

kde  $U_{1n}$  je jmenovité napětí  
 $U_1$  snížené napětí při spouštění  
 $I_z$  záběrný proud při jmenovitém napětí  
 $I$  záběrný proud při sníženém napětí

### c. Spouštění asynchronních motorů přepínáním hvězda - trojúhelník

Jedním ze způsobů omezení záběrných proudů při spouštění asynchronních motorů s kotvou nakrátko středních výkonů je přepínání vinutí z hvězdy (rozběh) do trojúhelníku (běh). Podmínkou je, aby statorové vinutí mělo vyvedeny všechny začátky a konce jednotlivých fází a aby jmenovité napětí motoru při spojení do trojúhelníku odpovídalo napětí sítě (sdružené hodnotě). Při spojení do hvězdy je napětí na jedné fázi motoru  $U_S / \sqrt{3}$  (při zapojení do trojúhelníku  $U_S$ ). Tomu odpovídají proudy ve vinutí fáze  $I_Y / I_A = 1 / \sqrt{3}$  a v přívodech k motoru  $I / (\sqrt{3} \cdot \sqrt{3})$ . Při spouštění do hvězdy poklesne tedy síťový proud na 1/3 hodnoty, kterou by měl při spouštění do trojúhelníku. Ve stejném poměru se změní i záběrné momenty  $M_Y / M_A = 1/3$ .

Spouštění způsobem hvězda-trojúhelník se nejčastěji realizuje pomocí stykačů, řídicí zvláštními přepínači. Princip spouštění přepínačem je patrný z obr. 8-2.

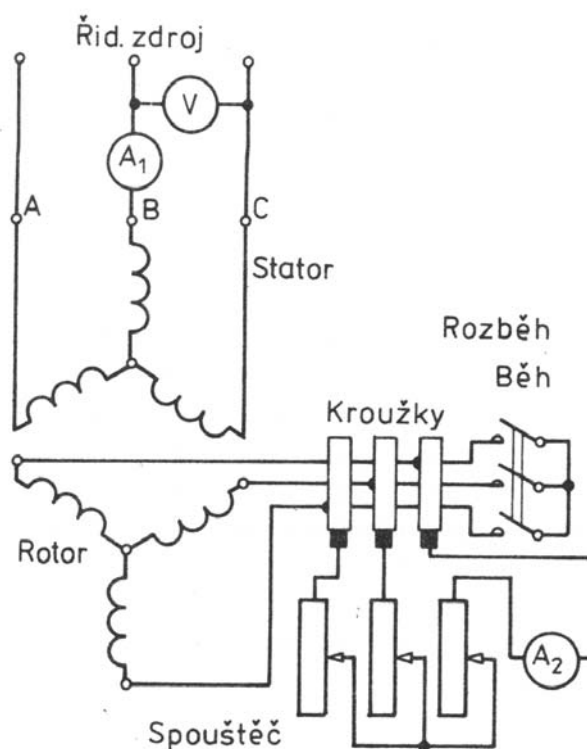


Obr. 8-2 Princip spouštění as. motoru přepínáním Y-A

Přepínač statorového vinutí musí být při spouštění ve spodní poloze, čímž jsou konce vinutí zapojeny do uzlu (vinutí do hvězdy). Potom připojíme síť a jakmile se motor výrazně rozeběhne, dáme přepínač do horní polohy (vinutí do trojúhelníku).

#### d. Spouštění asynchronních motorů s kotvou vinutou (kroužkovou)

U těchto motorů omezujeme záběrný proud vřazením odporníku (spouštěče) do rotorového obvodu (obr. 8-3). V tomto případě je trojfázové rotorové vinutí vyvedeno na kroužky a přes kartáče spojeno se spouštěcím odporem. Před připojením motoru na síť je třeba se přesvědčit, zda spouštěč je v základní poloze (maximální odpor) a páka odklápěče kartáčů v poloze "rozběh" (kartáče na kroužky přiklopeny). Po připojení sítě odpor postupně zmenšujeme při současném sledování statorového proudu na ampérmetru a po rozběhu dáme páku odklápěče do polohy "běh", čímž na kroužcích spojíme vinutí rotoru nakrátko a kartáče odklopíme.



Obr. 8-3 Schéma zapojení asynchronního motoru s kotvou vinutou

### 9.5 Měření momentové charakteristiky

Momentová charakteristika je závislost točivého momentu na otáčkách, nebo skluzu.

$$M = f(n), \quad M = f(s) \quad \text{při} \quad U_1 = \text{konst.} \quad \text{a} \quad f = \text{konst.}$$

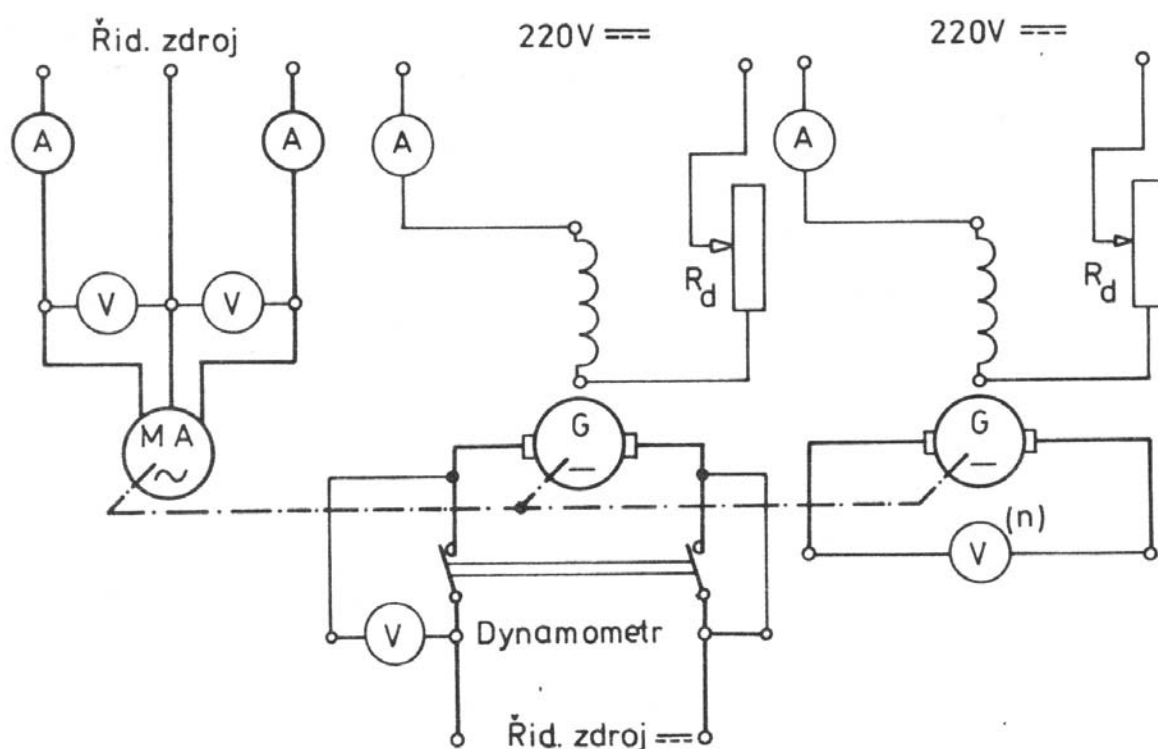
Při současném měření zjistíme rovněž závislost  $I_1 = f(n)$

V našem případě budeme zjišťovat statickou momentovou charakteristiku, tj. průběh točivého momentu (jeho střední hodnoty) v závislosti na otáčkách, měřením v ustálených stavech na dynamometru. Jiný případ, kterým se nebudeme zabývat, je dynamická momentová charakteristika, podrobně ukazující průběh okamžité hodnoty točivého momentu včetně asynchronních, synchronních i pulzačních momentů.

Poznámka : Průběh dynamické momentové charakteristiky se u menších strojů měří přímo, např. tzv. tenzometrickým hřídelem, kterým je zkoušený motor spojen se zátěží. U velkých strojů, které nelze na zkušebně přímo zatížit, je jednou z metod zjištění dynamické momentové charakteristiky měření okamžité hodnoty úhlového zrychlení při rozběhu. U nezátíženého stroje je úhlové zrychlení úměrné akceleračnímu momentu  $M_a = J \, d\omega/dt$  ( $J$  je moment setrvačnosti rotujících hmot). Měřený stroj se mechanicky spojí s přesným tachodynamem, jehož výstupní napětí při rozběhu elektricky derivujeme RC čtyřpólem. Hodnota derivace je pak úměrná točivému momentu.

Odvození průběhu momentu, které vychází z náhradního schématu je provedeno v Lit./I/. Teoretický průběh závislosti  $M = f(s)$  má dvě charakteristické větve. V oblasti malých skluzů je průběh přibližně lineární, pro velké skluzy ( $1 > s > s_{zv}$ ) je přibližně hyperbolický. Vzhledem k tomu, že v náhradním schématu se jen obtížně postihují např. vlivy sycení a skinefektu, používají se při odvození mnohá zjednodušení. Z těchto důvodů má teoreticky odvozený průběh jen omezenou platnost.

Točivý moment je základní parametr, požadovaný od každého motoru. Proto jej vyšetřujeme obvykle v celém rozsahu provozních otáček resp. pro skluzy  $1 < s < 0$ . V našem případě moment proměříme nejen v této motorické oblasti, ale i v určitém pásmu oblasti generátorické  $s < 0$  a brzdné  $s > 1$ . Z těchto důvodů musí být dynamometr připojen ke zdroji říditelného napětí, aby mohl v průběhu měření měnit svoji funkci brzdy nebo motorického chodu. Zapojení dynamometru odpovídá cize buzenému dynamu při zatěžování do protinapětí a pro jeho připojení na stejnosměrný říditelný zdroj platí pravidla uvedená v kap. 5.1.3.



Obr. 9-6 Schéma zapojení pro měření momentové charakteristiky asynchronního stroje

Zapojení úlohy je na obr. 9-6. Použité rozsahy měřicích přístrojů i proudové zatížitelnosti regulačních odporů musí odpovídat jmenovitým hodnotám strojů. Před vlastním měřením je třeba ocejchovat tachodynamo způsobem uvedeným v kap. 4.7.c.

Asynchronní motor spustíme známým způsobem při podstatně sníženém napětí z říditelného zdroje a po rozběhu dáme u motoru s kotvou kroužkovou odklápeč kartáčů do polohy běh. Momentovou charakteristiku měříme při sníženém napětí, v našem případě přibližně  $0,35 U_{In}$ . Dynamometr nabudíme na jmenovitý proud a řízením stejnosměrného zdroje nastavíme na rozdílovém voltmetru nulovou výchylku. Nyní můžeme kotvu

dynamometru pomocí stykače připojit na říditelný zdroj a od tohoto okamžiku musíme řízení provádět pozvolně, aby v důsledku velkých napěťových rozdílů mezi dynamometrem a zdrojem nevznikaly mezi nimi značné vyrovnávací proudy.

Řízením stejnosměrného zdroje nejprve nastavíme na asynchronním motoru otáčky odpovídající přibližně  $s = 1,2$  (tj. záporné otáčky) v brzdě oblasti. Překontrolujeme proud motoru, zda výrazně nepřekračuje jmenovitou hodnotu a při udržování konstantního napětí asynchronního motoru čteme na povel otáčivou rychlost, moment dynamometru i proud měřeného stroje. Postupné odlehčování provádíme urychleně, neboť při pomalém otáčení je nedostatečná ventilace, stroj se intenzivně ohřívá, dochází ke změně jeho parametrů např. odporů vinutí, které ovlivňují moment a vlivem zvýšené teploty může dojít i k poškození izolace vinutí. Po brzdě oblasti pečlivě změříme záběrný moment a celou motorickou oblast s vyhledáním maximálního a minimálního momentu. V generátorické oblasti jsou otáčky stroje vyšší než otáčky synchronního točivého pole statoru a z hlediska spotřebičového systému mění moment i proud své znaménko. Z tohoto důvodu má graficky zobrazený proud nespojitost I. druhu. Momentovou charakteristiku měříme přibližně do skluzu  $s = -0,2$ , což odpovídá otáčkám  $1,2 n_n$ , na které byl rotor motoru mechanicky dimenzován. V generátorické oblasti, stejně jako v brzdě, pracuje dynamometr jako motor, má však jiný smysl otáčení. Při ukončení měření nejdříve stykačem odpojíme kotvu dynamometru od říditelného zdroje a asynchronní motor i dynamometr chodem naprázdno vychladíme. Teprve potom snížíme napětí střídavého říditelného zdroje na nulu.

Poznámka: Jestliže v brzdě, nebo motorické oblasti při velkých skluzech neprobíhá měření dostatečně rychle, nebo měříme při podstatně vyšším napětí, než je zde uvedeno, je nutné měření přerušovat. Asynchronní motor odpojíme od sítě a dynamometrem jej otáčíme. Tento postup je nutný pro zajištění stejné teploty měřeného motoru, zejména jeho rotoru. Jinak bychom mohli zjistit chybnou hodnotu momentu.

Momenty a proudy měřené při sníženém napětí přepočteme na jmenovité napětí  $U_{1n}$ , podle zjednodušených vztahů a vyneseme do charakteristiky podle obr. 9-7.

$$M_1 = M \left( \frac{U_{1n}}{U_1} \right)^2$$

$$I_1 = I \cdot \frac{U_{1n}}{U_1}$$

kde  $M(I)$  je moment (proud) změřený při sníženém napětí  
 $U_{1n} (U_1)$  jmenovité (měřené snížené) napětí.

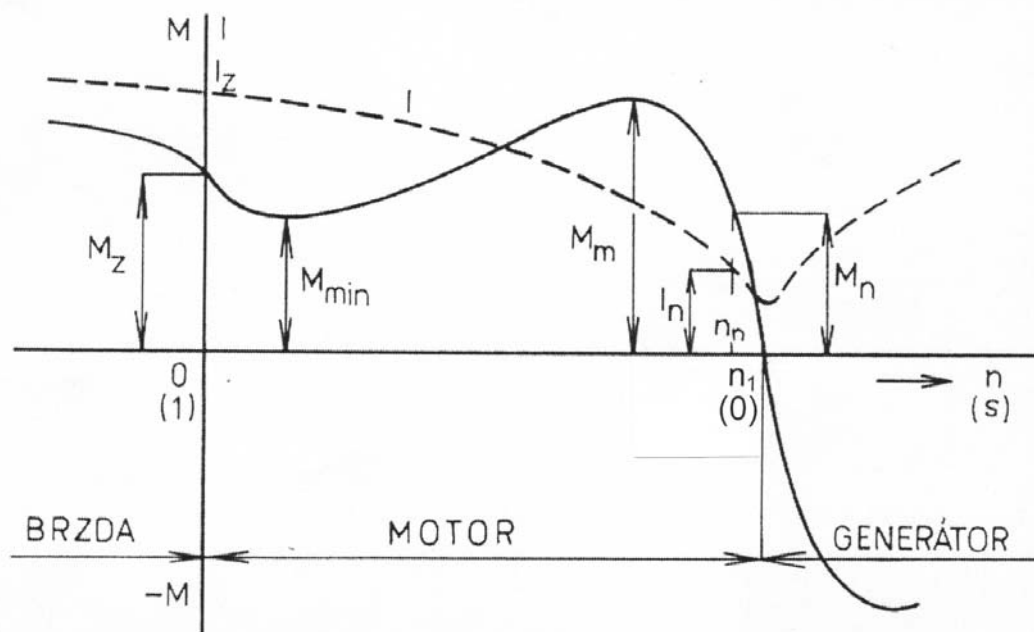
Jak již bylo uvedeno, při měření nakrátko platí přepočet pro vnitřní moment  $M_i = M + \Delta M_m$ . Při sníženém napětí pod  $0,5 U_{1n}$  se v důsledku výrazného snížení měřeného momentu uplatňuje složka ztrát mechanických. Přesnější postup vyžaduje v daném otáčkovém rozsahu změřit průběh ztrát mechanických a zahrnout je do přepočtu (pro názornost je průběh  $\Delta M_m$  vyznačen na obr. 9-7). Moment stroje je v motorické oblasti menší

o moment ztrát mechanických a v brzdě a generátorické oblasti větší o tento moment (v brzdě oblasti je v důsledku jiného smyslu otáčení  $\Delta M_m$  záporný a v generátorické oblasti se mění smysl vlastního měřeného momentu). Na základě provedené úvahy se přepočít momentu měřeného stroje na jmenovité napětí provádí podle zpřesněného vztahu:

$$M_1 = M_i \left( \frac{U_{1n}}{U_1} \right)^2 \pm \Delta M_m = (M \pm \Delta M) \left( \frac{U_{1n}}{U_1} \right)^2 \pm \Delta M$$

kde  $M_i$  je vnitřní moment as. stroje při sníženém napětí  
 $U_{1n} (U_1)$  jmenovité (měřené) napětí  
 $\Delta M_m$  moment mechanických ztrát. Horní (dolní) znaménko platí pro motor (brzdu a generátor).

Průběh  $M_i = f(n)$  je spojitá funkce otáček, proto se při měření projeví v bodě  $n = 0$  skoková změna  $2\Delta M_m$ . Tento skok může být ještě zvýrazněn, jestliže na dynamometr působí rušivé momenty podle kap. 4.6. Rušivé momenty mají rovněž při nulových otáčkách skokovou změnu  $2M_{kor}$ .



Obr. 9-7 Momentová charakteristika asynchronního motoru v různých režimech chodu

Jestliže je úkolem laboratorního cvičení provést měření momentové charakteristiky asynchronního motoru při jiném kmitočtu než 50 Hz, je motor napájen z polovodičového měniče kmitočtu nebo z laboratorního synchronního generátoru, u kterého řídíme otáčky tj. kmitočty a napětí. Měření provádíme v zapojení podle obr. 9-6, kde měřicí přístroje jsou doplněny kmitoměrem. Pro zachování stálého magnetického toku a tím i momentu odpovídajícího hodnotám při kmitočtu 50 Hz je třeba dodržet poměr  $U_1 / f_1 = konst.$  (tento poměr vyplývá z odvozených vztahů pro moment v Lit./1/). Pro rozmezí kmitočtů přibližně 25 až 65 Hz můžeme pro napájecí napětí zjednodušeně psát

$$U_{1X} = U_1 \frac{f_X}{50}$$

kde  $U_{1X}$  je napětí odpovídající kmitočtu  $f_X$   
 $U_1$  napětí kmitočtu 50 Hz, použitého pro měření momentové charakteristiky (přibližně  $0,35 U_{1n}$ )

Změřený moment přepočítáme na jmenovité napětí kmitočtu  $f_X$ . Toto jmenovité napětí se opět změní vzhledem k  $U_{1n}$  při 50 Hz ve stejném poměru jako kmitočty. Přepočtenou hodnotu momentu vyneseme do závislosti podle obr. 9-7, kde je třeba dodržet původní měřítko otáček.