

Střídavý motor

Střídavý (stroj) motor je elektromotor připojený na střídavé napětí, které může být jednofázové, nebo vícefázové. V minulosti byly tyto motory používány výhradně v aplikacích, kde nebylo zapotřebí řídit otáčky. V dnešní době už mohou být tyto motory používány v různých aplikacích díky nástupu frekvenčních měničů.



Obr. 1 Střídavý motor třífázový

Jednofázové motory

Pro správnou funkci motoru je zapotřebí vytvořit točivé magnetické pole. To může být u jednofázových elektromotorů problém. Jelikož se třífázové motory točí díky třem fázově posunutým proudům (každý o 120° elektrických), tak musíme statorové vinutí doplnit o další pomocné fázově posunuté vinutí, resp. je to nezbytné pro rozběhnutí motoru. Kdybychom motor manuálně roztočili, začalo by se indukovat pohybové napětí i bez rozběhového vinutí. Proud rotoru potom vybudí magnetický tok rotoru, který je s polem statoru posunutý o méně, než 180° a vytvoří se točivý moment [1].

Pro samostatné roztočení motoru je tedy zapotřebí pomocná fáze, ta může být zapojena po celou dobu běhu, nebo se po rozběhu odpojí (např. odstředivým vypínačem). Získání fázově posunutých proudů mezi hlavním a pomocným vinutím dosáhneme pomocí posunutí fáze pomocného vinutí, například zapojením činného odporu, tlumivky, nebo kondenzátoru do odvodu. Motory s tímto řešením mají obtížný rozběh, což limituje zatížení při rozběhu [1].

Dalším řešením je jednofázový elektromotor se stíněným polem. V tomto případě statorové vinutí není uloženo v drážkách, ale je na vyniklých pólech. Každý pól má výřez, z něhož je jeden závit nakrátko spojený. Přivedením proudu na vinutí pólu se vytvoří magnetický tok, který je opačného smyslu než magnetický tok vzniklý na závitě nakrátko. Toto je potřebný impuls k rozběhu motoru. Jednoduše řečeno fázové zpoždění je realizováno jednoduchými měděnými smyčkami. Záběrný moment je malý. Tento druh rozběhu se používá například u ventilátoru [1].

Trojfázové motory

Tyto motory mají tři budicí vinutí. Každé je napájeno proudem, fázově posunutým vždy o 120° . To zapříčiní vznik točivého magnetického pole. Podle provedení rozlišujeme dvě základní provedení střídavého trojfázového motoru, a to synchronní motor a asynchronní (indukční) motor. O tom, který motor je který rozhoduje, zda se rotor otáčí současně (synchronně) s rotací magnetického pole, nebo jestli se zpožďuje (má tzv. skluz).

Asynchronní motor

Často nazýván jako indukční motor. V drtivé většině se objevuje pro třífázové napájení, ovšem malé motory mohou být jednofázové. V pohonech je velmi rozšířený pro své dobré vlastnosti, jako jsou výroba těchto motorů v širokém rozsahu výkonů a spolehlivost, která je dána jednoduchou konstrukcí. Další rozhodující skutečností je relativně nízká cena, jelikož jsou tyto motory velmi rozšířené a jsou

vyráběny sériově. Ovšem najdou se i nevýhody, mezi které patří poměrně složitá regulace. To je taky důvod, proč donedávna tyto motory pracovaly především na pozicích, kde není vyžadovaná regulace otáček. Dnes se však stále více firem zabývá výrobou a vývojem frekvenčních měničů.

Funkce spočívá v točivém magnetickém poli, které vzniká ve vzduchové mezeře mezi státorem a rotorem. Vzhledem k napájení motoru ze souměrné třífázové soustavy je i vinutí statoru trojfázové. Jednotlivé fáze jsou navzájem posunuty o 120° a vytváří magnetická pole. Na tyto pole reagují magnetická pole rotoru, a to zapříčiní jeho rotační pohyb. V zatíženém stavu však otáčky magnetického pole statoru a mechanické otáčky rotoru nemohou být stejné. Proto jsou mechanické otáčky rotoru nižší než otáčky magnetického pole statoru. To je nazýváno skluz [1], [2].

Aby bylo jasné, jakým způsobem se dají řídit otáčky motoru je potřeba vyjádřit výpočet úhlové rychlosti. Jelikož se jedná o asynchronní motor, vyjádří se synchronní otáčky, tedy otáčky magnetického pole statoru (1), které ve spojení se skluzem dávají výsledné otáčky rotoru (2).

$$n_s = \frac{60 \cdot f_1}{p} \quad (1)$$

$$n = n_s - \frac{s \cdot n}{100} \quad (2)$$

kde: f_1 – napájecí frekvence (Hz), p – počet polpárů (-), s – skluz (%), n_s – otáčky magnetického pole statoru – synchronní otáčky (ot/min), n – otáčky rotoru (ot/min).

V rovnici (1) se ve jmenovateli udává počet polpárů. Jejich změnou tedy bude docházet ke změně otáček. Tento způsob je založený na přepínání jednotlivých statorových vinutí, které mají různý počet polpárů. Tato volba řízení otáček motoru však zvětšuje rozměry motoru, jelikož jednotlivá statorová vinutí jsou nad sebou umístěna ve statorových drážkách. Tímto způsobem lze dosáhnout libovolného počtu polpárů [2].

Při změně napájecího napětí se záběrný proud mění lineárně a maximální spolu se záběrovým momentem se mění kvadraticky. Hodnota skluzu zvratu se však nemění. Pracovní oblast asynchronního motoru v motorické oblasti se nachází v oblasti malých skluzů. Změna momentu motoru i velikost ustálené hodnoty rychlosti pohonu změnou napájecího napětí je možné, ale pouze v rozmezí od nulového skluzu, po skluz zvratu. Ten u asynchronních motorů činí pouze pár procent. Proto lze otáčivou rychlost pohonu měnit pouze v malém rozsahu. Lze tedy říci, že zvýšením hodnoty skluzu zvratu se zvýší i rozsah změny rychlosti pohonu. Toho lze docílit použitím motoru s velkým odporem rotorového vinutí nebo použít kroužkový motor s trvale zařazeným odporem do rotorového obvodu. Zvýšením odporu však dochází k maření většího množství energie v teplo. Při tomto způsobu řízení je tedy důležité chlazení. I přes nevýhody je toto řízení používáno například v malých oběhových čerpadlech. Jedná se o jednoduché a spolehlivé řízení rychlosti. Pro změnu napájecího napětí se používá nejčastěji třífázový měnič napětí [2].

Při pohledu na rovnici (1) můžeme vidět, že synchronní otáčky n_s jsou přímo úměrné pouze napájecí frekvenci f_1 . To je v dnešní době možné vzhledem k rozvoji výkonové a řídicí elektroniky. Používají se frekvenční měniče, podobné, jako u asynchronních motorů, ovšem napájecí zdroj musí být vybaven příslušnými obvody, jinak by se synchronní motor při konstantní frekvenci nerozběhnul. Otáčky se sice při rostoucí zátěži nemění, ale také nelze zatěžovat motor do nekonečna. Překročením maximálního momentu, který roste se zatěžovacím úhlem mezi státorem a rotorem, se motor zastaví a je ve stavu nakrátko, čímž odebírá velký proud [5].

Synchronní motor

Synchronní stroje mohou pracovat ve všech čtyřech kvadrantech $M - \omega$ diagramu. Tyto elektrické stroje byly nejprve používány pro výrobu střídavé elektrické energie. Dva důvody zapříčinily, že synchronní stroje se začaly používat jako elektromotory. Jedním z důvodů byla kompenzace jalového výkonu v síti, tedy snížení ztrát energie ve vedeních. Dalším důvodem byl narůstající zkratový výkon v místě připojení spotřebičů. Nejprve tyto motory byly určeny do provozu, kde nebylo předpokládáno jejich časté spínání. Měly pracovat s konstantní rychlostí a s poměrně stálým zatížením. Avšak díky výkonovým elektronickým měničům je možné rychlost synchronních motorů regulovat. Stator synchronního motoru je shodný se státorem asynchronního motoru, tedy obvykle vybaven střídavým trojfázovým vinutím. Rozdíl nastává u rotoru, ten je u menších motorů tvořen z permanentních magnetů a u větších motorů je soustava pólu buzena stejnosměrným proudem. Přivedením střídavého napájecího napětí do motoru se rotor začne otáčet synchronními otáčkami, tedy otáčí se shodně s točivým magnetickým polem statoru. Z toho vyplývá nulový skluz. Právě podle synchronního otáčení dostal motor své jméno. Synchronní motory dnes můžeme najít v průmyslu ve vysoko výkonových aplikacích. Příkladem mohou být velké vodní čerpadla, nebo kompresory. Můžeme je také najít ve vodních elektrárnách, kde pracují s výkony stovek megawattů [2].

Obvody pro řízení střídavých motorů

Zde jsou uvedena praktická řešení používaná pro řízení otáček střídavých motorů.

Střídače

Jsou to obvody pro převod stejnosměrného napětí či proudu na střídavé. Nejčastěji se vyskytují, jako člen nepřímých napěťových střídačů, ovšem své zastoupení mají i jinde, například jsou střídače součástí zdroje, který má napájet střídavé spotřebiče z baterie. Nejsnáze si lze střídač představit jako uskupení spínačů, které střídavě připojují k zátěži zdroj stejnosměrného napájení. S nastavenou frekvencí spínání se mění i frekvence výstupního signálu [8].

Střídače mohou být napěťového nebo proudového typu. Tyto dva typy se liší použitými spínacími prvky. Napěťový střídač používá tranzistory (bipolární, unipolární, IGBT, ...), kdežto proudové střídače využívají tyristory, které jsou označovány jako GTO (z anglického Gate Turn Off). Ty však měly značné výkonové ztráty, takže je v dnešní době nahradily tzv. IGCT (z anglického Integrated Gate Commutated Thyristor). Díky vypínatelným polovodičovým součástkám se střídače v elektrických obvodech rozšířily. Kdysi se používaly proudové střídače pro svoji jednoduchost při vypínání tyristoru a vyšší odolnost vůči zkratu. V dnešní době se vyrábějí především napěťové střídače [3], [8].

Střídavé měniče napětí

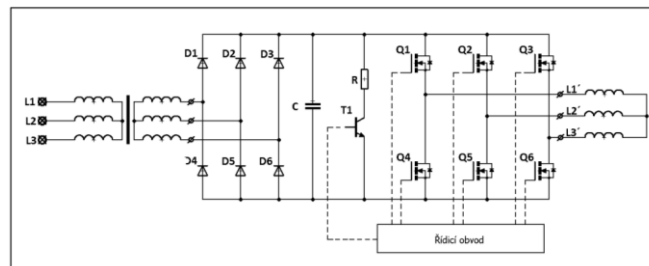
Jde o způsob řízení rychlosti otáček jednofázového i trojfázového střídavého motoru. Princip spočívá ve změně efektivní hodnoty napětí, čehož je dosaženo použitím spínacích prvků, jako jsou triaky, antiparalelně zapojené tyristory nebo kombinace diod. Tyto prvky se otevírají v případě přivedení řídicího impulsu. Doba, po kterou je prvek otevřen určuje efektivní hodnotu napětí. Jedná se tedy o způsob řízení pomocí změny napětí, přičemž se zachovává hodnota frekvence. Z hlediska řízení motoru lze těmito obvody řídit motory malých až středních výkonů.

Nepřímý měnič kmitočtu

V předchozích kapitolách bylo uvedeno, že rychlost je možné měnit velikostí napájecí frekvence. K tomu slouží právě měniče kmitočtu. V současné době se jedná o nejpoužívanější metodu řízení rychlosti asynchronních motorů. Celý měnič se skládá z usměrňovače, stejnosměrného obvodu a střídače. Vzhledem k přítomnosti stejnosměrného obvodu je frekvence vstupního a výstupního signálu na sobě zcela nezávislá. Nepřímé měniče kmitočtu jsou vyráběny ve frekvenčním rozsahu od desetin

Hz až po stovky Hz. Usměrňovač se volí diodový, dříve se používaly tyristorové usměrňovače, ovšem hodnotu výstupního napětí je již možné měnit pomocí PWM [3], [8].

Jak již bylo zmíněno v kapitole popisující střídače, může se vyskytovat střídač napěťový, nebo proudový. V závislosti na zvoleném typu se mění i stejnosměrný obvod mezi usměrňovačem a střídačem. V případě použití napěťového střídače se používá paralelně připojený velký kondenzátor, který plní funkci zdroje špičkové energie. Paralelně přiřazený odpor je zde pro maření energie, jelikož energie, která je do měniče dodávána v případě generátorického brzdění, by u kondenzátoru způsobila rychlý a značný nárůst napětí, dále nastává problém s neschopností diodového usměrňovače přijmout zpět energii. Jestliže je použit proudový střídač, tak se ve stejnosměrném sériovém obvodu nachází tlumivka. Proudový střídač potřebuje konstantní proud, a právě tlumivka zajišťuje jeho vyhlazení [8].



Obr. 2 Nepřímý měnič kmitočtu s napěťovým střídačem [8]