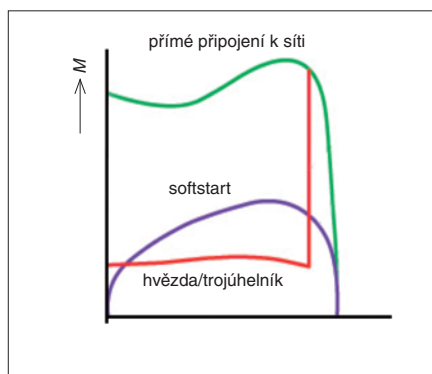


Moderní pohony s asynchronními motory a měniči frekvence

Jedním ze současných trendů v oblasti moderních regulovaných pohonů je snižování jimi spotřebovávané elektrické energie a zvyšování jejich účinnosti. Téměř šedesát procent elektrické energie spotřebovávají elektrické motory pro pohon mechanických zařízení. Jsou-li pohony neregulované, značná část této energie je neefektivně zmařena. Výrobci strojních zařízení proto stále častěji instalují před elektrické motory pro pohon jejich zařízení měniče frekvence. Stejně tak provozovatelé starších zařízení se intenzivně snaží vhodně nahradit dosavadní způsoby regulace řešením s měniči frekvence. Hlavními přednostmi tohoto řešení jsou kromě regulace otáček také rozběhy motorů, zabudované ochranné funkce a snížení mechanického opotřebení navazujících zařízení. Měníče frekvence tak lze najít v pračkách, pohonech garážových vrat a závor, v tepelných čerpadlech, dopravnících, jeřábech, extrudérech, drtičích, dmychadlech, kompresorech, odstředivkách, pecích, papírenských strojích a válcovnách, na čerpadlech a ventilátorech v domácnostech i v průmyslu a v mnoha dalších úlohách.

1. Měníč frekvence jako softstartér

Momentová charakteristika asynchronních motorů spouštěných přímým připojením na síť je znázorněna na obr. 1 zelenou křivkou. Charakteristické hodnoty jsou záběrný moment při nulové úhlové rychlosti, maximální moment jako nejvyšší bod a jmenovitý moment odpovídající jmenovitému otáčce motoru. Při sledování proudové křivky na obr. 2 nelze přehlédnout záběrný proud,

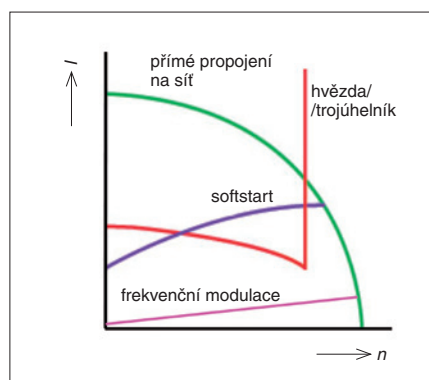


Obr. 1. Momentová charakteristika asynchronního motoru spouštěného přímým připojením na síť (M – moment, n – otáčky)

který je pěti- až sedminásobkem proudu jmenovitého. Rozběh motoru o velkém výkonu přímým připojením na síť tak způsobí úbytek napětí v síti. Na obr. 3 (momentové charakteristiky) je stejná situace při rozběhu motoru s použitím měniče frekvence. Proud (růžová příčka na obr. 2) narůstá lineárně na hodnotu jmenovitého proudu a starosti s několika násobným proudem při rozběhu motoru tak odpadá. Měníč frekvence je také považován za ideální softstartér.

Softstartér nebo přepínač hvězda-trojúhelník lze také použít k omezení záběrného

proudu (fialová a červená křivka na obr. 2). Zároveň je však třeba si uvědomit, že v tomto případě je také omežován moment (viz obr. 1) a u těžkých rozběhů, např. drtiče nebo naloženého dopravníku, by se pohon vůbec nemusel



Obr. 2. Proudové charakteristiky různých typů rozběhů asynchronních motorů (I – proud, n – otáčky)

rozeběhnout. Z obr. 3 je zřejmé, že při rozběhu s měničem frekvence je již v nulové úhlové rychlosti k dispozici dostatečný moment.

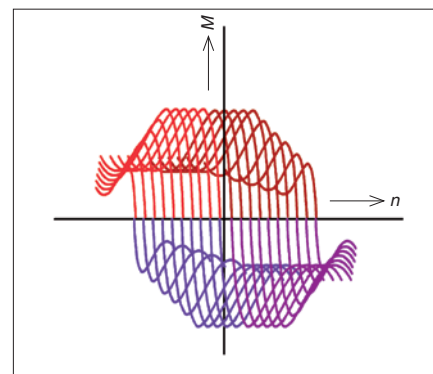
2. Potřeba regulace otáček

U mnoha zařízení je třeba řídit otáčky pro regulaci dopravovaného množství daného média (materiál na dopravnících, voda pro čerpadla či vzduch pro ventilátory). Na typickém příkladu časového využití čerpadel nebo ventilátorů v teplárnách (*operating profile* na obr. 4) je patrná velká proměnlivost v závislosti na čase. Ze všech dosud používaných metod regulace je právě metoda řízení otáček měniči frekvence nejvhodnější, neboť je při ní spotřebováváno nejméně elektrické energie. Příklad pro čerpadla je na obr. 5 a obr. 6, pro ventilátory na obr. 7. Ekonomické vyhodnocení (*payback period* na obr. 4) vychází velmi

příznivě právě u pohonů oběhových čerpadel, napáječek, kouřových i primárních a sekundárních ventilátorů kotlů. Obvyklá doba návratnosti je kratší než 1,5 až 2,5 roku. Naopak malé úspory jsou tam, kde zařízení běží trvale v blízkosti plného výkonu nebo pracuje do konstantního protitlaku.

3. Co je měnič frekvence

Měníč frekvence v současném pojetí je elektronický přístroj, který umožňuje měnit frekvenci sítě na požadovanou frekvenci. Měníče frekvence jsou určeny pro nejrůznější



Obr. 3. Momentová charakteristika asynchronního motoru s měničem frekvence (M – moment, n – otáčky)

použití, avšak v běžném technickém slovníku se jimi rozumějí měniče pro asynchronní motory. Tímto spojením získávají tyto střídavé točivé stroje schopnost hospodárně regulovat otáčky v širokém rozsahu.

Pro úplnost je třeba se zmínit, že se pro stejné zařízení často používají též méně správné názvy frekvenční měniče nebo střídače.

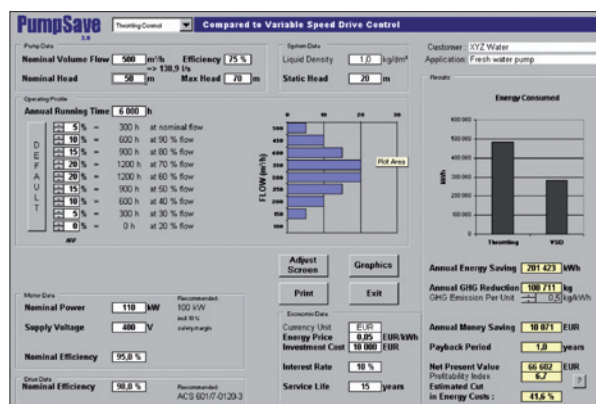
Měníče frekvence se skládají z výkonové části, zajišťující přeměnu parametrů napájecí sítě, a z řídicí elektroniky, která ovládá výkonovou část a umožňuje komunikaci s okolím. Řídicí elektronika moderních měničů často zvládne mnoho úloh, které by jinak musely být zahrnuty v nadřazeném řídicím systému.

3.1 Jak pracuje měnič frekvence

Fungování měniče frekvence lze nejlépe pochopit z blokového schématu na obr. 8. Je zřejmé, že síťové napětí projde odrušovací filtrem a usměrní se. Usměřňovač v běžných aplikacích je diodový. Ve stejnosměrném meziobvodu se napětí filtruje tlumivkou a kon-

denzátory a toto stejnosměrné napětí se přivede na vstup střídače, který opět vytvoří střídavou třífázovou síť, nyní však s proměnným napětím a frekvencí. Na výstup měniče frekvence je připojen asynchronní motor, jehož

lého století. Od té doby se výrazně vyvinula jak výkonová elektronika a její prvky (přechod od tyristorů k vypínatelným tyristorům GTO – *Gate Turn Off* a tranzistorům IGBT), tak i řídicí technika (integrovány ob-



Obr. 4. Provozní charakteristiky časového využití čerpadel

otáčky jsou přímo úměrné frekvenci. Vlastní měnič je v současné době osazován téměř výhradně spínacími tranzistory (IGBT – *Integrated Gate Bipolar Transistor*).

Regulační obvody zajišťují vlastní činnost měniče, optimalizují práci motoru a mají rovněž dohlížecí funkci. V případě výrazné odchylky některých parametrů (např. napětí, proudu, teploty aj.) od běžných provozních hodnot vydají varování a při dalším nebezpečném vývoji provozního stavu oznámí poruchu a měnič odstaví. Celé řízení je v současné době digitální a velmi spolehlivé. Aplikací programy lze obvykle vybírat (přepínat) z několika možností, což v vyspělých výrobcích umožňuje např. volbu ovládání z více míst, využití PID regulátoru, použití speciálního softwaru pro čerpadla a ventilátory nebo jeřáby, odstředivky apod. Měnič frekvence lze ovládat z panelu, kde je obvykle k dispozici několikařádkový alfanumerický displej a několik tlačítek. Běžně se však ovládání z panelu používá velmi zřídka a spíše se využívají buď analogové a digitální (tlačítkové) vstupy, nebo u rozsáhlejších projektů ovládání z nadřazeného řídicího systému po sběrnici (Profibus, Modbus apod.).

Z uvedených skutečností je tedy zřejmé, že zapojení měniče frekvence z hlediska uživatele je velmi jednoduché, neboť se v podstatě připojí pouze napájecí síť, poháněný motor a několikažilový ovládací kabel (popř. kabely).

3.2 Historie a současné parametry

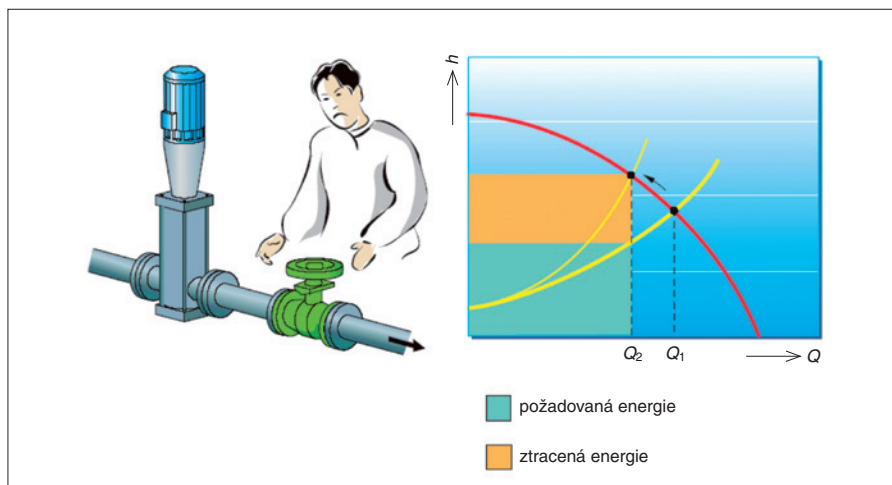
Pokusy hospodárně regulovat otáčky asynchronních motorů změnou frekvence byly uskutečňovány již před druhou světovou válkou, avšak nebyla k dispozici vhodná technika pro bezkontaktní spínání (využit bylo možné pouze řízené rtuťové usměrňovače). První průmyslově vyráběné měniče frekvence se objevily koncem šedesátých let minu-

ty byly nahrazeny mikroprocesory). Průběžně s tímto vývojem rostla sériovost výroby, výrazně vzrostla i spolehlivost, pohodlnost obsluhy a nastavení. Měniče pro několik motorů (např. výrobní linky) navíc absorbovaly i nižší úroveň nadřazeného řídicího systému, takže mohou pracovat i autonomně. Lze konstatovat, že v současné době jde o vývojově a technicky vyzrálé a spolehlivé výrobky.

Měniče frekvence se vyvíjejí ve výkonovém rozsahu

mají kabely menších průřezů). Výstupní frekvence může být až několik set hertzů, obvykle se využívá jen rozsah 0 až 100 Hz, což umožňuje se dvoupólovými motory regulovat otáčky od 0 do 6 000 min⁻¹.

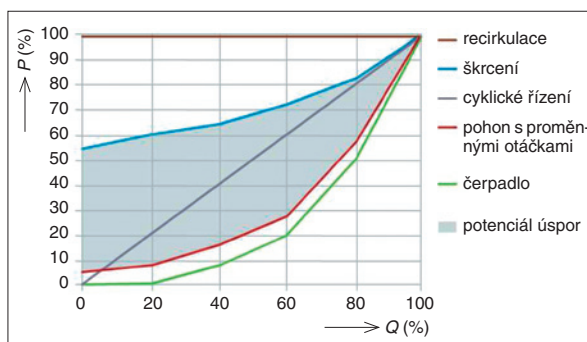
Z hlediska vnitřního řízení měniče frekvence se vyskytuje několik systémů, o kterých je třeba se zmínit. Nejjednodušší je skalární řízení, které je založeno na řízení poměru *U/f* a v podstatě vytváří síť proměnného napětí a frekvence nezávisle na motoru. Je proto dynamicky nejpomalejší, avšak pro jednoduché úlohy plně vyhovuje. Naopak velmi přesné a dynamické řízení je vektorové, které však obvykle vyžaduje otáčkovou zpětnou vazbu (např. tachogenerátor). V současné době byl vyvinut systém řízení *sensorless vector control*, který zapojení čidla otáček nevyžaduje. Jak pro skalární, tak pro vektorové řízení je typický prvek modulatoru, který řídí spínání prvků měniče s pravidelnou spínací frekvencí.



Obr. 5. Nehospodárná regulace průtoku škrcením (*Q* – průtok, *h* – výtlak)

hu od několika set wattů až po přibližně deset megawattů (obr. 9). Nejmenší jednotky bývá možné napájet i z jednofázové sítě 230 V, přičemž na výstupu je k dispozici síť 3× 230 V proměnné frekvence. Obvykle se však pro napájení používají standardní síť 3× 400 V, 3× 500 V, 3× 690 V s jednotkami o výkonu do 5,6 MW (výkony asi od 0,5 do 100 MW se realizují též vysokonapěťovými měniči –

V současné době asi nejdokonalejší řízení je tzv. přímé řízení momentu (DTC – *Direct Torque Control*). Základní myšlenka DTC je naznačena na obr. 10. Jádrem systému jsou hysterezní regulátory momentu a magnetického toku, které využívají optimalizovanou spínací logiku, čímž odpadá prvek modulatoru. Velmi důležitou částí řízení je přesný model motoru. V něm se vypočítá



Obr. 6. Úspory při regulaci měničem frekvence v porovnání s regulací škrcením (*P* – požadovaný výkon, *Q* – průtok)

skutečný moment, statový magnetický tok a otáčky hřídele z proudu měřeného ve dvou fázích motoru a ze stejnosměrného napětí v meziobvodu. Tyto výpočty jsou během jedné sekundy uskutečňeny 40 000krát, takže regulátor DTC přesně ví, jak se chová hřídel motoru. Přesnost modelu motoru závisí na tzv. identifikačním běhu, který proběhne při uvádění pohonu do provozu. Hlavními parametry modelu

motoru jsou indukčnosti a odpor statoru. Bere se v úvahu rovněž vliv magnetické indukce na velikost indukčnosti.

Referenční hodnoty momentu a toku jsou porovnávány se skutečnými hodnotami a řídicí signály jsou generovány dvouúrovňovou hysterezní logikou. V DTC není samostatný širkově pulzní modulátor (PWM – *Pulse Width Modulator*), který by řídil napětí a frekvenci. Řízení DTC je popisováno jako spínání *just in time*, každé sepnutí je potřebné a využité. U klasického řízení s PWM bývá 30 % sepnutí nevyužitých. Díky uvedeným vlastnostem umožňuje DTC mimořádně rychlou momentovou odezvu (pod 2 ms) a velmi rychlou reverzaci. Moment vykazuje značnou linearitu v celém rozsahu otáček, včetně nulových. Přesnost regulace otáček je velmi dobrá v celém otáčkovém rozsahu, a to i bez nutnosti použít zpětnovazební čidla otáček. Navíc při použití čidla otáček je takovýto pohon z hlediska regulace úhlové rychlosti roven stejnosměrnému pohonu (statická chyba otáček je 0,01 %), a splňuje tak nejpřísnější požadavky jak na dynamiku, tak na přesnost. Dalšími přednostmi řízení DTC jsou možnosti překlenutí krátkodobých výpadků napájecího napětí, letmý start, potlačení momentových rázů, snížení hlučnosti, optimalizace magnetického toku motoru, brzdění tokem a velký moment i v nulových otáčkách.

3.3 Elektromagnetická kompatibilita

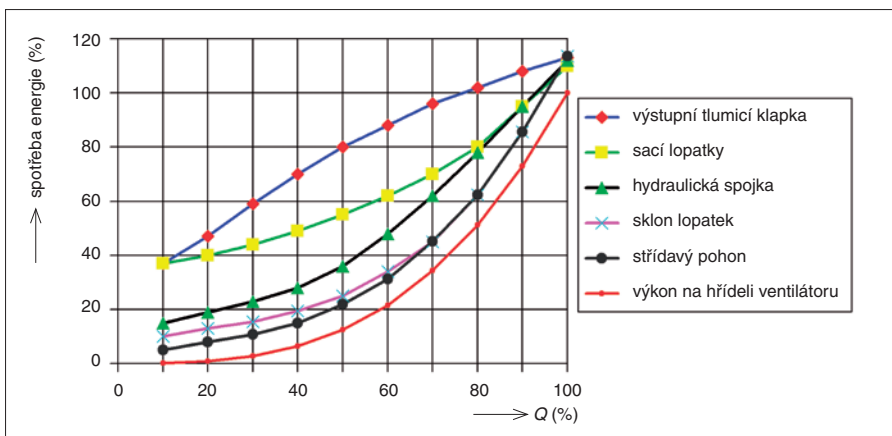
Elektromagnetická kompatibilita (EMC – *Electro Magnetic Compatibility*) zařízení zjednodušeně znamená, že zařízení smí generovat jen tak velké rušivé signály, aby neovlivňovaly jiná zařízení, a současně musí být toto zařízení natolik odolné, aby nebylo ostatními zařízeními samo rušeno. To je velmi přísně stanoveno normami. Výrobky (měniče frekvence) těmto normám musí vyhověvat, platí pro ně produktová norma ČSN EN 61800-3 *Systémy elektrických výkonových pohonů s nastavitelnou rychlostí – Část 3: Požadavky EMC a specifické zkušební metody*. Jelikož však jsou součástí větších zařízení, je bezpodmínečně nutné dodržovat návody k instalaci. Měníče frekvence jakožto přístroje s nelineárními polovodičovými prvky by mohly být zdrojem rušení.

Rozlišují se dva typy prostředí, a to průmyslové a obytné zóny. Hodnoty rušivých signálů pro obytné zóny jsou přísnější a jejich dodržení lze dosáhnout zabudovanými odrušovacími filtry, vlastním provedením měniče frekvence a použitím stíněného přívodního silového kabelu k motoru, včetně jeho správného připojení.

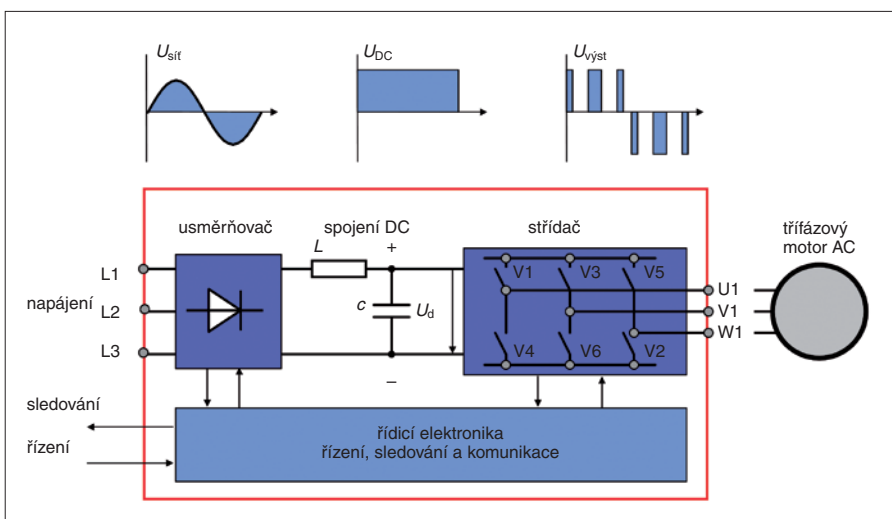
Uvedené skutečnosti se zatím týkaly vysokofrekvenčního (rádiového) rušení. Měníče frekvence však ze sítě odebírají nikoliv sinusový proud, ale proud blížící se obdélníkovému průběhu. U malých výkonů to obvykle nevádí, avšak např. u pohonů od asi 400 kW je třeba učinit opatření ke snížení vlivu měni-

Tab. 1. Vliv modifikací pohonu

Modifikace pohonu	Důsledek
větší motor	větší obsah harmonických proudů
větší zátěž motoru	větší obsah harmonických proudů
větší stejnosměrná nebo střídavá tlumivka	menší obsah harmonických proudů
větší počet pulzů usměrňovače	menší obsah harmonických proudů
větší délka napájecích kabelů	větší obsah harmonických napětí
větší transformátor	menší obsah harmonických napětí
menší impedance transformátoru	menší obsah harmonických napětí
větší zkratová kapacita zdroje	menší obsah harmonických napětí



Obr. 7. Spotřeba energie pro různé způsoby regulace u ventilátorů (P – příkon, Q – průtok)



Obr. 8. Princip měničů frekvence

če na napájecí síť. Měníče frekvence generují vyšší harmonické složky proudu, což vede k přídavným ztrátám v transformátorech, kabelech i v motorech a ke zhoršování kvality elektřiny v napájecích sítích. Snahou předních světových výrobců je potlačit emise vyšších harmonických složek proudu přímo tam,

kde vznikají. Generované harmonické složky proudu lze ovlivnit vhodnou konstrukcí měniče, kdy se zejména pro větší výkony volí vícepulzní zapojení vstupního usměrňovače, popř. měnič s aktivními prvky v usměrňovači. Dalším významným konstrukčním prvkem ovlivňujícím harmonické složky prou-

Tab. 2. Vliv různých způsobů potlačení harmonických

Metoda	THDi (%)
šestipulzní diodový usměrňovač bez úprav	70 až 80
+ 5 % tlumivky	33 až 40
+ 5 % tlumivky + filtr 5. harmonické	12 až 14
dvanáctipulzní vstupní usměrňovač, u_k transformátoru 5 %	10 až 12
předřazený pasivní filtr	5 až 10
osmnáctipulzní vstupní usměrňovač, u_k transformátoru 5 %	5 až 8
LHD (měnič s nízkým obsahem harmonických)	3,5 až 4,5

Tab. 3. Porovnání pro pohony 3x 30 kVxA (22 kW) s měniči frekvence

Metoda	THDi (%)	Objem (p. j.)	Cena (p. j.)	Ztráty 100 % (kW)	Ztráty 75 % (kW)	Ztráty 50 % (kW)
šestipulzní s tlumivkami	40	100	100	1,80	0,55	0,50
dvanáctipulzní	malý výkon pro transformátor se třemi vinutími					
šestipulzní se společným předřazeným filtrem	8	250	200	2,45	1,30	1,10
šestipulzní s tlumivkami a aktivním filtrem 50 A	4	250	240	3,10	1,60	1,50
LHD s aktivním vstupním usměrňovačem	4	110	185	2,90	1,10	0,75



Obr. 9. Sortiment měničů frekvence

du jsou tlumivky, a to buď na střídavé straně (AC), nebo ve stejnosměrném meziobvodu (DC). Stejnosměrná tlumivka může být menší a bývá levnější pro pohony menších výkonů. Střídavá tlumivka lépe potlačuje napěťové špičky ze sítě a bývá levnější pro pohony větších výkonů. V tab. 1 jsou popsány důsledky působení některých modifikací pohonu.

3.4 Diodové usměrňovače

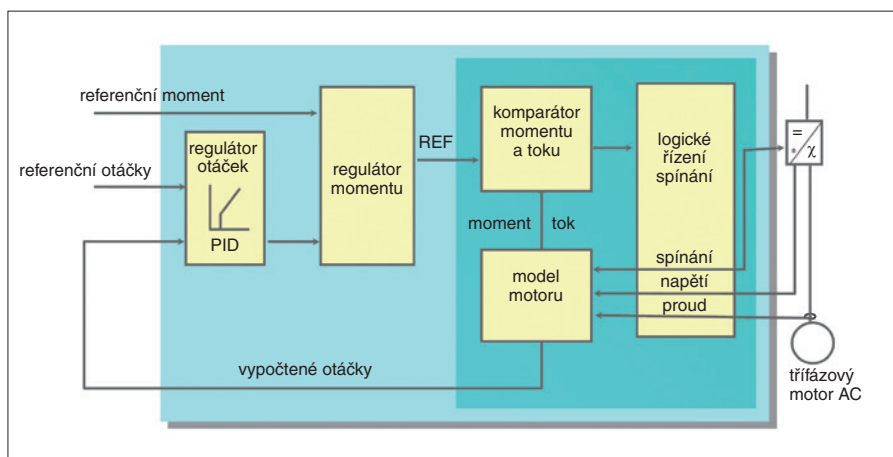
Nejrozšířenějším typem usměrňovače je šestipulzní diodový můstek ve spojení s kondenzátorem v meziobvodu DC a indukčností, která je buď na stejnosměrné, nebo střídavé straně, popř. je zcela vynechána. Šestipulzní usměrňovač je jednoduché a levné řešení, ale je zdrojem velkého množství harmonických složek proudu, zejména páté, sedmé a jedenácté.

Je-li použit dvanáctipulzní usměrňovač, jenž je tvořen dvěma šestipulzními usměrňovači zapojenými paralelně, použije se třívinitový napájecí transformátor, popř. dva dvouvinutové transformátory – v obou případech s fázovým úhlem posunutí 30°. Výhodou tohoto uspořádání je, že na straně zdroje jsou některé harmonické v protifázi, a tudíž se vzájemně ruší. V tomto spojení se výrazněji uplatňuje pouze jedenáctá a třináctá harmonická. O variantě měniče s dvanáctipulzním usměrňovačem se obvykle uvažuje přibližně od výkonu nad 500 kW. Paralelním spojením dvou dvanáctipulzních usměrňovačů napájených ze dvou třívinitových transformátorů se získá čtyřřadecipulzní usměrňovač. V tomto případě jsou nízké harmonické téměř eliminovány. Další varianty jsou zapojení osmanti- nebo šestatřicetipulzní.

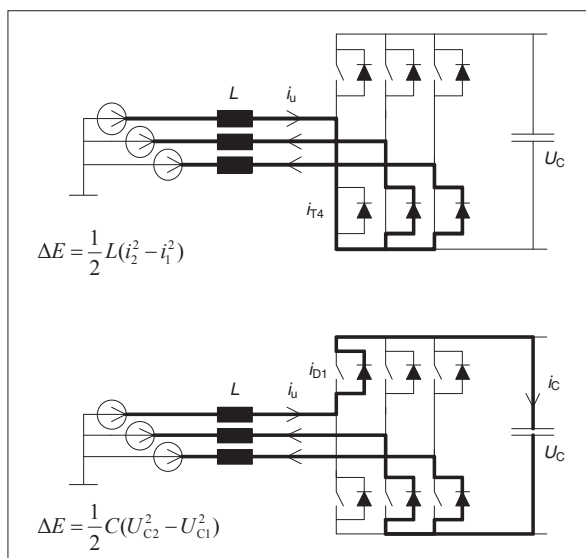
3.5 Usměrňovače s prvky IGBT

Řízení usměrňovače se spínacími prvky IGBT jednak umožňuje rekuperaci, jednak se tím získá možnost regulovat napětí v meziobvodu DC a účinník. Napájecí proud je téměř sinusový. Zajímavou novinkou v nabídce měničů frekvence ABB jsou měniče s nízkými emisemi harmonických (LHD – Low Harmonic Drive). Jsou variantou rekuperačních měničů s prvky IGBT v usměrňovači. Konstrukční měničů frekvence došli na základě sledování trhu a potřeb zákazníků k velmi zajímavému závěru: zákazníci často kupovali rekuperační měniče frekvence čistě z důvodu malého obsahu harmonických, aniž by využívali jejich funkci rekuperovat energii zpět do sítě. Rozhodli se proto vytvořit měnič, který by se vyznačoval malým obsahem harmonických bez možnosti rekuperace či brzdění. Výsledkem je velmi kompaktní produkt, který nepotřebuje transformátor s více vinutími ani filtry, ani další prvky pro potlačení harmonických.

LHD i rekuperační měniče frekvence s prvky IGBT v usměrňovači mají možnost zvyšovat napětí ve stejnosměrném mezi-



Obr. 10. Blokový diagram přímého řízení momentu (DTC)



Obr. 11. Spínání pro zvyšování napětí v meziobvodu DC

obvodu na základě spínání (obr. 11), kdy dochází k přechodné akumulaci energie v tlumivce (vektor nulového napětí) a následnému vybití do kondenzátoru (aktivní vektor napětí). V tomto případě lze pro regulaci otáček motoru na jmenovité napětí 500 V použít třeba měnič frekvence napájený ze sítě 400 V. Je však třeba měnič patřičně dimenzovat, např. pro motor 250 kW přepočtem vychází měnič 315 kW.

LHD i rekuperační měniče frekvence s prvky IGBT v usměrňovači navíc umožňují kompenzaci jalového výkonu, a to na základě pevného řízení výkonu (kVA_r) nebo

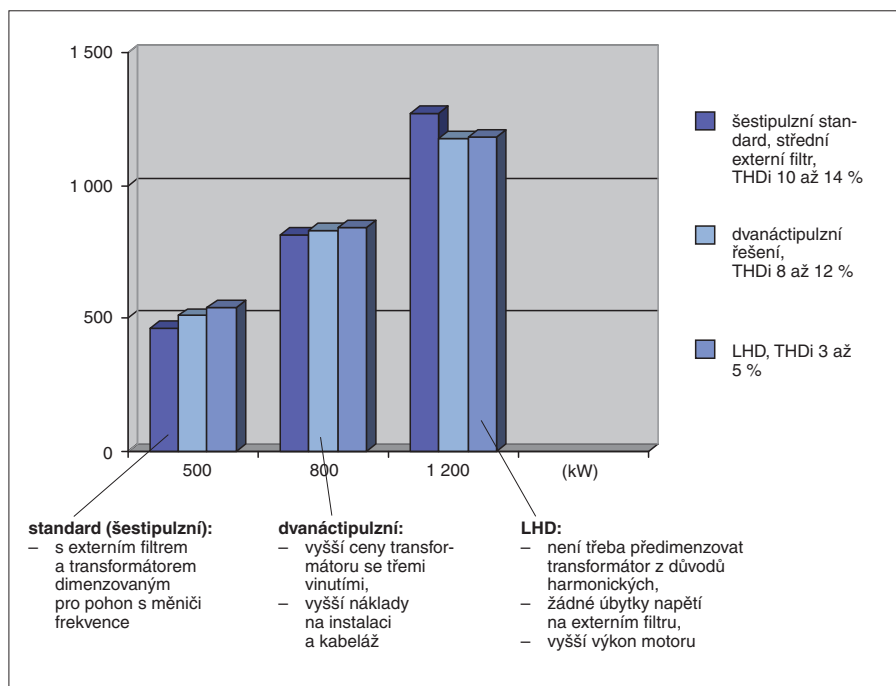
Tab 4. Inteligentní řízení čerpadel

<p>1. Řízení hladiny – Funkce řízení hladiny se uplatňuje především při plnění a vyprazdňování jímek odpadních vod. Software v měniči oproti běžným úlohám sleduje navíc hladinu v jímcce a náhodně mění její úroveň v rozsahu nastaveném uživatelem. Tím se zabráňuje usazování sedimentu na stěnách. Strmá akcelerační rampa při startu vytváří proplachovací efekt, který čistí potrubí. Díky IPC pracuje čerpadlo navíc v optimálním pracovním bodu na momentové křivce, takže je minimalizována jeho energetická spotřeba. Funkce řízení hladiny je použitelná pro jedno, dvě nebo tři čerpadla pracující paralelně.</p>
<p>2. Nepřímé měření průtoku – Funkce nepřímého měření průtoku umožňuje výpočet průtoku bez použití průtokoměru. K výpočtu je třeba zadat charakteristiku čerpadla z křivek uvedených výrobcem, průměry potrubí na vstupu a výstupu čerpadla a tlakový rozdíl mezi čidly tlaku.</p>
<p>3. Řízení několika čerpadel – Software IPC umožňuje různé způsoby řízení spolupráce více čerpadel, která jsou zapojena do společného výtlačného systému s proměnným požadovaným průtokem. Každé čerpadlo má svůj měnič frekvence. Měníče jsou spojeny optickou nebo jinou linkou a pracují v režimu <i>master-follower</i>. Při zvýšeném požadovaném odběru je spínáno vždy další a další čerpadlo. Software IPC obsahuje také tradiční řízení PFC (<i>Power Factor Correction</i>, kompenzace účinníku). Vestavěná logika dovoluje ovládat skupinu čerpadel pouze jedním měničem, který si podle požadovaného výkonu sám s příslušnými hysterezemi přepíná další jednotky, popř. je při poklesu zase odstavuje. Zajišťuje současně stejné opotřebení čerpadel a umožňuje i vynechat některé čerpadlo z cyklu (opravy, rezerva).</p>
<p>4. Řízení priority čerpadel – Systém řízení priority čerpadel nejen optimalizuje provoz jednotlivých čerpadel z časového hlediska vzhledem k jejich opotřebením apod., ale umožňuje také naprogramovat režim, kdy čerpadla s větším výkonem budou v činnosti při větším požadovaném průtoku, menší čerpadla při menším požadovaném průtoku. Opět je tím zaručen provoz čerpadel v optimálním režimu z hlediska účinnosti.</p>
<p>5. Zvýšení tlaku nebo hladiny před režimem usnutí – Při malém požadovaném průtočném množství přecházejí čerpadla do tzv. režimu usnutí. Software IPC umožňuje nastavit těsně před přechodem do tohoto režimu časově a procentně specifikované zvýšení tlaku nebo hladiny. Prodlužuje se tím doba usnutí, díky čemuž se spoří energie. Zároveň se zmenší počet zbytečných rozběhů a proplachne se potrubí.</p>
<p>6. Funkce anti-jam – Funkce anti-jam odstraňuje usazované nečistoty v čerpadle, a napomáhá tím preventivní údržbě. Je-li tato funkce aktivovaná, čerpadlo se začne točit vyššími otáčkami a potom se zastaví nebo reverzuje v předem daných cyklech.</p>

pevného řízení účinníku $\cos \varphi$ zadáním referenčního jalového výkonu Q prostřednictvím analogového vstupu nebo prostřednictvím sběrnice. V obou případech je třeba věnovat zvláštní pozornost dimenzování.

Zajímavé je porovnání obsahu harmonických, zastavěného objemu, poměrných cen a ztrát při plném a částečném zatížení pro různé příklady řešení regulovaného pohonu, včetně různých prostředků pro eliminaci zpětných vlivů na napájecí síť (tab. 2 a tab. 3).

Je zřejmé, že vzhledem ke složitější konstrukci vychází LHD draž než klasický šestipulzní měnič frekvence. Vezmou-li se ale v úvahu další hlediska, může pořízení LHD vést ke značným úsporám. Na obr. 12 je ekonomické porovnání pro větší výkony. Stežejní roli zde hraje transformátor. Pro jeho dimenzování v kilovoltampérech (kV·A) obvykle vychází činitel 1,32krát výkon v kilowattch (kW) pro měniče se šesti- nebo dvanáctipulzním zapojením vstupního usměrňovače. Pro měniče LHD stačí násobit činitelem 1,16, na-



Obr. 12. Porovnání řešení měničů šestipulzního, dvanáctipulzního a LHD pro větší výkony

vic není zapotřebí třívinitové provedení. Při porovnání cen i za instalaci, kabeláž a externí filtry, včetně ztrát, jsou výsledky pro výkon např. 1 200 kW více než zajímavé. Z uvedených skutečností je zřejmé, že je vždy třeba zvážit všechny aspekty místní instalace a na základě požadovaných parametrů zvolit správné řešení regulovaného pohonu.

4. Zatížitelnost motoru napájeného měničem frekvence

Při správném dimenzování regulovaného pohonu s měniči frekvence je vždy nutné vycházet z charakteru zátěže (kvadratický zátěžný moment či konstantní zátěžný moment), z požadovaného rozsahu regulace otáček, přetížení a pracovního cyklu. Při regulaci otáček směrem dolů klesá dovolený moment motoru především z důvodu ztráty výkonu jeho vlastního ventilátoru. Použije-li se cizí chlazení, je pokles méně výrazný. Nad jmenovitou rychlostí motoru zase dochází k odbuzování (nedostatečné magnetické pole) a moment hyperbolicky klesá (obr. 13). Vždy je proto třeba kontrolovat i maximální možný rozsah regulace otáček. Je třeba také vzít v úvahu přídavné ztráty v motoru způsobené napájením z měniče frekvence a možné působení ložiskových proudů. Od určitých výkonů a od předepsaných napěťových hladin se proto vybavují jak motor, tak měnič potřebnými doplňky, jako jsou zesílená izolace vinutí, izolované ložisko na N-konci, filtry du/dt nebo filtry souhlasného napětí.

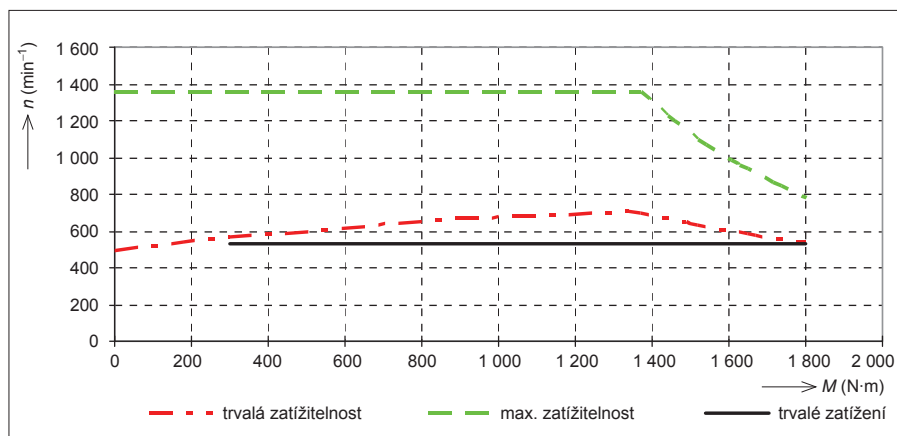
5. Dlouhé kabely k motorům

Ač je proud tekoucí do motoru sinusový, napětí je složeno z velmi ostrých napěťových pulzů. Tyto pulzy namáhají izolaci motoru a toto namáhání je závislé i na délce kabelu k motoru. Proto je jejich délka omezena a je přesně dána podle typu měniče frekvence. Při použití výstupní tlumivky maximální možná délka kabelu k motoru roste. Tento problém se odstraňuje použitím tzv. sinusového filtru (tlumivky a kondenzátory). Dalším souvisejícím problémem jsou i ložiskové proudy. Proto se používá jedno ložisko izolované od štítu motoru.

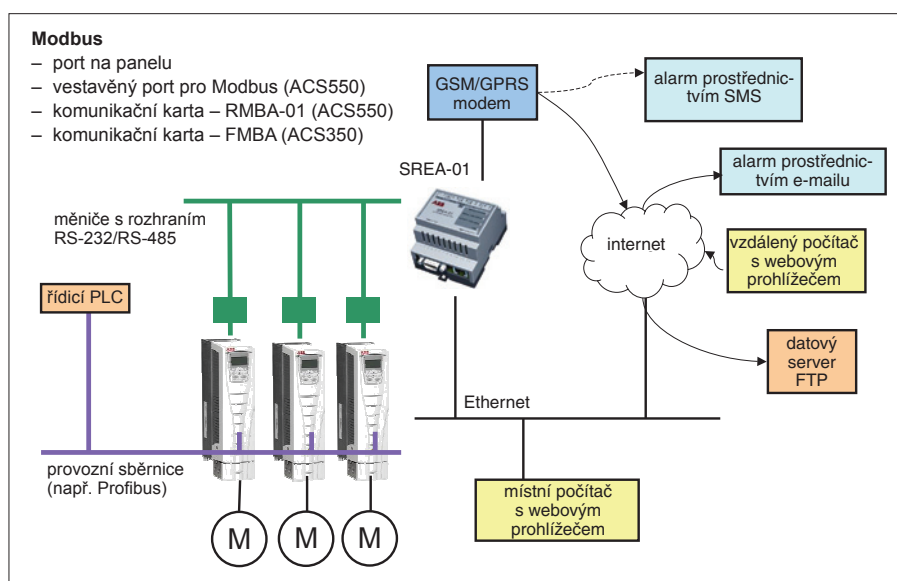
6. Instalace a uvedení do provozu

Měníče frekvence se dodávají v různých modifikacích. Z hlediska krytí to mohou být moduly určené k zabudování do rozváděčů a závěsné nebo skříňové jednotky. Ty mohou mít základní krytí (IP21, IP22) nebo krytí vyšší (IP32, IP42), popř. vysoké (IP54). Z tohoto hlediska je zvláště náročné prostředí s možností výskytu uhlénoh (vodivého) prachu – zde je třeba uplatnit dodatečná opatření.

Při specifikaci měniče je třeba také uvést způsob jeho ovládání. Měníč se nainstaluje přesně podle návodu. Důraz je kladen na správné připojení stíněného kabelu k motoru, nesouběh „zarušených“ kabelů s ovláda-



Obr. 13. Dimenzování pohonu pro konstantní zátěžný moment (n – otáčky, M – moment)



Obr. 14. Diagnostika na dálku

ciemi apod. Ovládací kabely jsou obvykle dva – pro analogové signály a pro digitální. Analogové signály se používají k zadávání požadované rychlosti (4 až 20 mA) a k informaci o provozních hodnotách na velín (obvykle otáčky a proud). Digitální vstupy se používají k řízení startu, stopu, k přepnutí na druhé místo ovládání, zapojení čidla teploty motoru apod. Tyto vstupy u vyspělejších výrobců bývají programovatelné. Podobně je tomu s digitálními výstupy, obvykle reléovými. Ty jsou většinou naprogramovány na signály *připraven, chod, porucha*.

Uvedení do provozu obvykle zajišťuje servisní organizace dodavatele, avšak není problém, aby měnič uvedl do chodu seznámený pracovník s elektrotechnickou kvalifikací.

Po uskutečnění kontroly izolačního odporu a správnosti zapojení se z panelu nastavují parametry, jako jsou základní údaje o síti a motoru, rozběhové a brzdné rampy, limity, chování v mezních situacích apod. Vyspělé produkty umožňují tyto parametry nastavit i z notebooku, přičemž parametry jsou seřazeny do skupin a výrobcem předprogramová-

ny. To výrazně urychluje uvedení do provozu. Některé typy měničů mají i tzv. aplikační makra, z nichž nejdůležitější je PID regulátor. Tento regulátor umožňuje regulovat přímo v měničích některou veličinu (např. rozdíl tlaků) zavedením signálu z čidla do dalšího analogového vstupu. Po nastavení parametrů měniče a popř. volbě aplikačního makra následuje vyzkoušení z ovládacího panelu a poté přepnutí na dálkové ovládání pomocí vstupů nebo sériové linky.

Při provozu je na panelu zobrazován stav provozních veličin. Při dosažení mezních hodnot nebo poruchy se na displeji automaticky zobrazí příslušné varování. S rozvojem digitální techniky již není problém, aby měnič komunikoval s obsluhou také v českém jazyce.

7. Přístup na dálku

Díky měničům frekvence jako regulačnímu prvku je umožněna vzdálená diagnostika a ovládání technologie prostřednictvím GSM nebo internetu (obr. 14).

Implementace diagnostických prvků v oblasti elektrických regulovaných pohonů vede zejména na odloučených pracovištích (větrné mlýny, čističky odpadních vod, zavlažovací stanice, povrchové doly) ke zvýšení produktivity, optimalizaci výkonu a ke zkrácení doby potřebné k opravě. Velkou výhodou je také snadný přístup a archivace důležitých elektrických i neelektrických veličin.

8. Specializované programové vybavení

Měniče frekvence bývají přednastaveny přímo od výrobce, takže je lze snadno přizpůsobit běžným úlohám. Výrobci měničů však také vyvíjejí specializované programové vybavení, které umožní plně přizpůsobit funkce měniče konkrétnímu použití. Často jsou funkce, které by jinak musel řešit externí řídicí PLC, implementovány přímo do měniče frekvence, což přináší výrazné úspory.

8.1 Řízení čerpadel

Příkladem může být inteligentní řízení čerpadel. ABB ve spolupráci s předními světovými výrobci čerpadel již více než čtyřicet let postupně vyvíjí specializované programové vybavení měničů frekvence. Inteligentní řízení čerpadel významně šetří elektrickou energii, snižuje opotřebení mechanických dílů a působí preventivně proti ucpávání čerpadel a potrubí. Inteligentní řízení čerpadel IPC (*Intelligent Pump Control*) poskytuje šest funkcí pro řízení čerpadel, uvedených v tab. 4 (první dvě jsou navíc patentovaná řešení).

8.2 Software pro jeřáby

Dalším příkladem je specializovaný software pro řízení jeřábů, který zahrnuje všechny potřebné typické funkce pro tuto úlohu, jako jsou zdvih břemene, manipulace s kočkou jeřábu a úseky jízdy jeřábu. Zabudováno je také ovládání a regulace brzd. V důsledku toho jsou odstraněny prodlevy či rizika nebo chyby při komunikaci, eliminováno je také „trhání“ břemene.

9. Další výhody použití měničů frekvence

Z hlediska napájecí sítě je předností, že proud je odebírán s účinnkem blízkým jedné. Z toho vyplývá příznivá okolnost – není třeba instalovat kompenzaci účinnku. Z energetického hlediska má měnič frekvence obvykle účinnost přibližně 98 %. Z hlediska použití jsou nejdůležitější energetické úspory, proto se měniče frekvence běžně instalují. Nezanedbatelné jsou však i jiné vlastnosti – zcela klidný rozběh, snadná, rychlá a přesná regulace, možnost nadřazeného řízení, vysoký dosažitelný moment (150 %, někdy i 200 % jmenovitého momentu), malé opotřebení poháněného zařízení, redukováný hluk aj.

Ing. Naděžda Pavelková, ABB s. r. o.