

ENGINEERING
TOMORROW

Danfoss

Příručka projektanta | VLT® AQUA Drive FC 200

Servis zařízení, návrh a projektové inženýrství pro **vodárenství a zpracování odpadních vod**

4 kroky

k bezpečné instalaci.
Danfoss podporuje
vaše plánování po-
mocí dlouholetých
zkušeností.

www.danfoss.com/drives

VLT®
THE REAL DRIVE

Odnímatelný kontrolní seznam na konci této příručky
vás čtyřmi kroky dovede k optimálnímu návrhu.



Obsah

Pomůcky k projektování	6
Část 1: Základy	8
Snižování nákladů a zvyšování komfortu	8
Regulace rychlosti šetří energii.....	9
Zvýšení nákladové efektivity	10
Dosažení potencionálních úspor v praxi	11
Část 2: Čtyři kroky k optimálnímu systému	12
Krok 1: Praktické aspekty systémů AC sítě.....	12
Určení skutečné síťové konfigurace	
Praktické aspekty elektromagnetické kompatibility (EMC)	13
Účinky elektromagnetického pole působí v obou směrech	
Odpovědnost nese provozovatel	
Dva možné významy snížení	
Rozlišení mezi rušením šířeným po kabelu a vyzařovaným rušením	14
Vazební mechanismy mezi elektrickými obvody	
Vodivé spojení	
Kapacitní spojení	
Vyzařované spojení	
Praktické aspekty kvality sítě	15
Nízkofrekvenční rušení sítě	
Ohrožení napájecích sítí	
Zajištění kvality zákonnými předpisy	
Jak dochází k rušení sítě	
Praktické aspekty nízkofrekvenčního rušení sítě	16
Důsledky rušení sítě	
Upozornění na podpětí	
Vyšší ztráty	
Jsou k dispozici měniče kmitočtu bez výskytu rušení?	
Analýza rušení sítě	
Praktické aspekty snížení rušení sítě.....	17
Doplňky pro snížení rušení sítě	
Tlumivky na vstupu nebo ve stejnosměrném meziobvodu	
Usměrňovač s 12, 18 nebo 24 pulzy na cyklus	
Pasivní filtry	
Výhody pasivních filtrů	
Nevýhody pasivních filtrů	
Aktivní filtry.....	18
Výhody aktivních filtrů	
Nevýhody aktivních filtrů	
Proud a spektrum zkreslení při plné zátěži	19
Tenký stejnosměrný meziobvod	
Active front end	
Výhody AFE	20
Nevýhody AFE	
Praktické aspekty vysokofrekvenčního rušení (RFI)	21
Rušení rozhlasového a televizního vysílání	
Normy a směrnice definující omezení	
Praktické aspekty 1. a 2. prostředí	22
Místo instalace je rozhodujícím faktorem	
Prostředí 1 (třída B): obytné prostředí	
Prostředí 2 (třída A): průmyslové prostředí	
Zvláštní prostředí	
Bez kompromisů	
Praktické aspekty opatření k ochraně před el. sítí.....	23
Korekce účinníku	
Přechodové jevy v napájecím napětí	
Praktické aspekty provozu s transformátorem nebo záložním generátorem	24
Maximální zatížení transformátorů	
Zatížení transformátoru	
Kvalita napájení	
Provoz se záložním generátorem	

Obsah

Krok 2: Praktické aspekty okolní teploty a prostředí.....	25
Správné místo instalace:	
<i>Umístění v rozvaděči nebo montáž na stěnu</i>	
Praktické aspekty krytí	26
Systém krytí podle normy IEC 60529	
Praktické aspekty konstrukce chlazení	27
<i>Shoda se specifikacemi teploty okolí</i>	
<i>Chlazení</i>	
<i>Relativní vlhkost</i>	
Praktické aspekty zvláštních požadavků	28
Agresivní ovzduší nebo plyny	
Působení prachu	29
<i>Snížená účinnost chlazení</i>	
<i>Chladicí ventilátory</i>	
<i>Filtrační rohože</i>	
Praktické aspekty prostředí s nebezpečím výbuchu	30
Prostředí s nebezpečím výbuchu	
Krok 3: Praktické aspekty motorů a kabeláže.....	31
Minimální třídy účinnosti pro motory	
<i>Povinné minimální účinnosti</i>	
<i>Třídy IE a Eff: velké rozdíly v detailech</i>	
<i>Dotčené třífázové motory</i>	
Praktické aspekty klasifikace IE motorů	32
<i>Plán pro implementaci MEPS</i>	
<i>Shoda se specifikacemi montážních rozměrů podle normy EN 50347</i>	
<i>Nákladová účinnost</i>	
Praktické aspekty motorů EC a motorů s permanentním magnetem	33
<i>Různé názvy stejné technologie</i>	
<i>Technologie</i>	
<i>Vysoká účinnost</i>	
<i>Koncepce Danfoss EC+</i>	
<i>Nadsynchronní provoz</i>	34
<i>Standardní krytí IEC</i>	
Praktické aspekty vhodnosti motoru pro provoz měniče kmitočtu	35
<i>Kritéria výběru:</i>	
<i>Nároky na izolaci</i>	
<i>Nároky na ložiska</i>	
<i>Teplotní zatížení</i>	
Praktické aspekty výstupních filtrů	36
Sinusové filtry a du/dt filtry	
<i>Funkce a úkoly sinusových filtrů</i>	
<i>Kdy se používají sinusové filtry?</i>	
<i>Dodatečné vybavení</i>	
Praktické aspekty motorových kabelů	37
<i>Jmenovité napětí</i>	
<i>Dimenzování kabelů</i>	
<i>Délka motorového kabelu</i>	
<i>Úspory energie</i>	
<i>Kabel s vhodným stíněním</i>	
Praktické aspekty uzemnění	38
Význam uzemnění	
<i>Elektricky vodivé materiály</i>	
<i>Systém uzemnění s konfigurací hvězda</i>	
<i>Kontaktní místa</i>	
<i>Povrch vodiče</i>	

Praktické aspekty stínění.....	39
Význam stínění	
<i>Stíněné kabely a vodiče</i>	
<i>Připojení stínění</i>	
<i>Mezery ve stínění</i>	
<i>Spojení se zemí.....</i>	40
<i>Napájecí kabel motoru</i>	
<i>Signálový kabel</i>	
<i>Typy stínění</i>	
Krok 4: Praktické aspekty výběru měniče kmitočtu	41
<i>Základní návrh</i>	
<i>Konstantní nebo proměnný moment</i>	
Praktické aspekty křivek zatížení pro různé aplikace	42
<i>Křivky charakteristik a aplikace</i>	
Praktické aspekty provozu s více motory (zvláštní případ)	43
<i>Provedení</i>	
<i>Vedení kabelů</i>	
Praktické aspekty opatření EMC.....	44
Uvedení teorie do praxe	
<i>Rušení rozhlasového a televizního vysílání</i>	
<i>Praktická doporučení</i>	
<i>Dva přístupy k RFI filtrům</i>	
Rušení sítě	45
<i>Stejnoseměrný meziobvod má vliv na rušení sítě</i>	
<i>Opatření k potlačení nežádoucího působení na síť</i>	
<i>Síťové tlumivky</i>	
<i>Usměrňovače s 12, 18 nebo 24 pulzy na cyklus</i>	46
<i>Pasivní filtry</i>	
<i>Aktivní filtry, Active Front End a Low Harmonic Drives</i>	
Praktické aspekty proudových chráničů.....	47
Proudové chrániče	
<i>Úroveň svodového proudu</i>	
Praktické aspekty uzemnění a ochrany motoru	48
Provedení uzemnění v praxi	
Ochrana motoru a PTC termistor motoru	
Praktické aspekty ovládání obsluhou a zobrazení dat	49
Jednoduchá koncepce provozu	
<i>Provoz pomocí lokálního řízení</i>	50
<i>Přehledné zobrazení</i>	
<i>Jednotná koncepce</i>	
<i>Integrace do dveří rozvaděče</i>	
Praktické aspekty řízení a konfigurace parametrů pomocí počítače	51
<i>Rozšířené možnosti</i>	
Praktické aspekty výměny dat	52
<i>Sběrníkové systémy</i>	
<i>Lepší řízení alarmu</i>	
<i>Zlepšená správa zařízení</i>	
<i>Snížení nákladů na instalaci</i>	
<i>Zjednodušené uvádění do provozu</i>	
Praktické aspekty dalších faktorů výběru	53
Řízení procesu	
Údržba	
Skládování	
VLT® AQUA Drive	54
Směrnice týkající se měničů kmitočtu	55
Rejstřík.....	56
Zkratky.....	59
Kontrolní seznam projektu	60
Poznámky	62

Pomůcky k projektování pro vysoce kvalitní a podrobný projekt Příručka projektanta pro vodárenství a zpracování odpadních vod

Příručka projektanta pro vodárenství a zpracování odpadních vod Danfoss je určena pro projekční firmy, veřejné úřady, asociace, tovární inženýry a elektroinženýry, kteří se aktivně zabývají technologiemi používanými ve vodárenství a zpracování odpadních vod. Je pojata jako komplexní pomůcka pro projektanty zařízení a projekční inženýry, kteří mají na starosti projektování systémů s proměnnými otáčkami využívajících měniče kmitočtu.

K tomuto účelu naši odborníci zkoordinovali obsah této příručky projektanta s projektanty z oboru, aby poskytovala odpovědi na důležité otázky a ukázala co největší možné výhody majitelům nemovitostí/developeurům nebo stavebním firmám.

Popisy v jednotlivých částech jsou záměrně stručné. Nemají sloužit jako obšírné vysvětlení technických záležitostí, ale k tomu aby zdůraznily relevantní záležitosti a specifické požadavky na projektování. Tímto způsobem poskytuje Příručka projektanta pro vodárenství a zpracování odpadních vod pomoc při projektování frekvenčně řízených pohonů a hodnocení produktů různých výrobců měničů kmitočtu.

Projektování pohonů s proměnnými otáčkami často přináší otázky, které nejsou přímo spojené se skutečnými úkoly měniče kmitočtu. Místo toho se týkají integrace těchto zařízení do pohonného systému a celého zařízení. Z tohoto důvodu je zásadní uvážit nejen měnič kmitočtu, ale také

celý pohonný systém. Tento systém se skládá z motoru, měniče kmitočtu, kabeláže a obecných okolních podmínek, které zahrnují napájení z el. sítě a okolní prostředí.

Projektování a upořádání systémů pohonů s proměnnými otáčkami mají rozhodující význam. Rozhodnutí učiněná projektantem zařízení nebo projektovým inženýrem v tomto stádiu jsou klíčová s ohledem na kvalitu pohonného systému, provozní náklady a náklady na údržbu, a spolehlivý, bezproblémový provoz. Dobře promyšlený projekt pomůže zabránit nežádoucím vedlejším účinkům během následného provozu pohonného systému.

Každý, kdo se zabývá projektováním měničů kmitočtu, by měl věnovat důkladnou pozornost obecným technickým podmínkám těchto zařízení.



Tato příručka projektanta a uvedené kontrolní seznamy představují ideální nástroje k dosažení co nejvyšší spolehlivosti projektu a tudíž přispějí k provozní spolehlivosti celého systému.

Příručka projektanta pro vodárenství a zpracování odpadních vod je rozdělená na dvě části. První část poskytuje základní informace o využívání měničů kmitočtů obecně. K tomu patří i otázky energetické účinnosti, nižších provozních nákladů a delší životnosti. Druhá část příručky vás provede čtyřmi základními kroky návrhu a projektu systému a poskytne vám tipy ohledně dodatečného doplnění možnosti regulace rychlosti ve stávajících systémech. Zabývá se faktory, kterým je nutné věnovat pozornost, aby bylo dosaženo

spolehlivého provozu systému – výběrem a dimenzováním síťového napájení, okolní teplotou a prostředím, motorem a kabeláží a výběrem a dimenzováním měniče kmitočtu – a poskytne veškeré informace týkající se těchto aspektů.

Také obsahuje kontrolní seznam na zadní straně příručky, který je možné použít k zaznamenání jednotlivých kroků. Pokud vezmete všechny tyto faktory v úvahu, můžete vytvořit optimální návrh systému, který zajistí trvalý spolehlivý provoz.



Část 1: Základy Snižování nákladů a zvyšování komfortu

Ve srovnání s mechanickými systémy regulace rychlosti může elektronická regulace rychlosti ušetřit spoustu energie a výrazně snížit opotřebení. Oba tyto faktory výrazně snižují provozní náklady. Čím častěji jsou pohonné systémy používány (nebo musí pracovat) při částečném zatížení, tím větší jsou potenciální úspory nákladů na energie a údržbu. Díky vysokým potenciálním úsporám energie se dodatečné náklady vynaložené na elektronickou regulaci rychlosti mohou vrátit během několika měsíců. Kromě toho mají moderní systémy nesmírně kladný vliv na mnoho aspektů systémových procesů a celkovou dostupnost systému.

Vysoký potenciál úspory energie

Při použití elektronické regulace rychlosti je možné přizpůsobit průtok, tlak nebo diferenciální tlak skutečnému požadavku. V praxi systémy pracují převážně v režimu částečného zatížení, nikoliv na plný výkon. V případě ventilátorů, čerpadel nebo kompresorů s charakteristikami proměnného momentu závisí rozsah úspory energie na rozdílu mezi provozem při částečném a plném zatížení. Čím je větší, tím kratší je doba návratnosti investice. Obvykle je kolem 12 měsíců.

Mezní hodnota proudu při startu

Spínání zařízení připojeného přímo k elektrické síti generuje špičkové proudy, které mohou být šestkrát až osmkrát větší než jmenovitý proud. Měniče kmitočtu omezují rozběhový proud na hodnotu jmenovitého proudu motoru. Tímto způsobem eliminují špičky spínacího proudu a zabraňují poklesům napětí způsobeným přechodným velkým zatížením napájecí sítě. Eliminování těchto špičkových proudů snižuje připojené zatížení systému čerpadel z hlediska dodavatele

elektrické energie, čímž se snižují provozní náklady a eliminuje se nutnost použití doplňkových regulátorů Emax.

Snížení opotřebení systému

Prostřednictvím měniče kmitočtu dochází k měkkému a plynulému rozběhu i zastavení motorů. Na rozdíl od motorů připojených přímo k el. síti nedochází u motorů připojených k měničům kmitočtu k nárazovým momentům nebo zatížení. Tím se snižuje namáhání celého hnacího ústrojí (motor, převodovka, spojka, čerpadlo/ventilátor/kompresor) a potrubního systému, včetně těsnění. Tímto způsobem regulace rychlosti výrazně snižuje opotřebení a prodlužuje životnost systému. Náklady na údržbu a opravy jsou nižší díky delším obdobím provozu a menšímu opotřebení materiálu.

Nastavení optimálního pracovního bodu

Účinnost systémů v oboru vodárenství a zpracování odpadních vod závisí na optimálním pracovním bodu. Tento bod se liší podle využití kapacity systému. Systém pracuje účinněji, když běží blíže k optimálnímu pracovnímu bodu. Díky schopnosti měnit otáčky dokáží měniče kmitočtu pohánět systém přesně v optimálním pracovním bodě.

Rozšíření regulačního rozsahu

Měniče kmitočtu umožňují motorům pracovat v „nadsynchronním“ rozsahu (výstupní kmitočet nad 50 Hz). To umožňuje krátce výrazně zvýšit výstupní výkon. Rozsah, v jakém je možný nadsynchronní provoz, závisí na maximálním výstupním proudu a odolnosti měniče kmitočtu vůči přetížení. V praxi čerpadla často pracují při frekvenci 87 Hz. Ohledně vhodnosti motoru pro nadsynchronní provoz je vždy nutné se obrátit na výrobce motoru.

Nižší provozní hlučnost

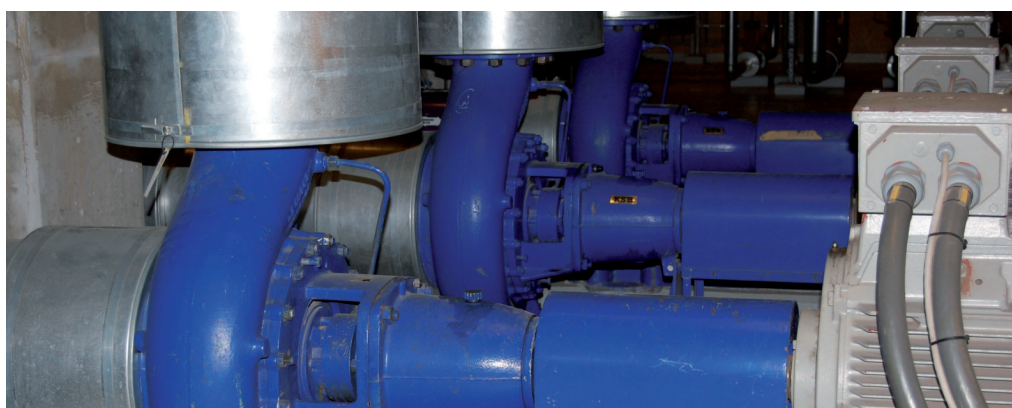
Systémy pracující při částečném zatížení jsou tišší. Provoz s regulací rychlosti výrazně snižuje hlučnost.

Prodloužení životnosti

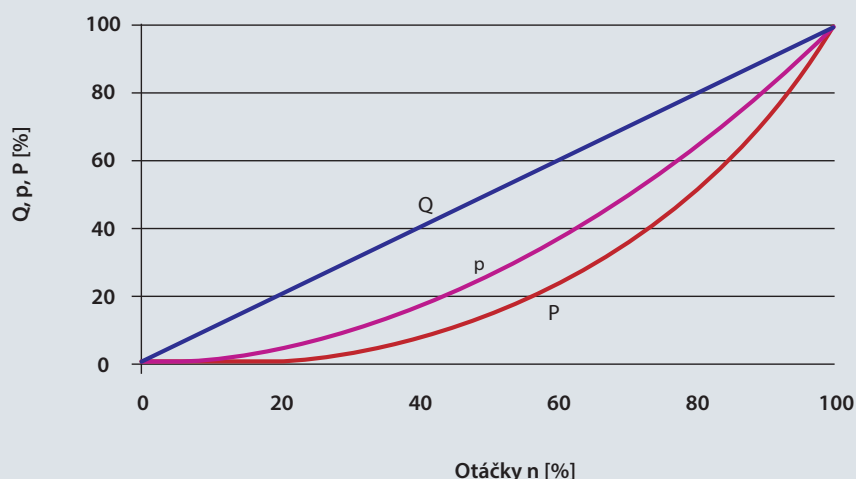
Hnací systémy pracující při částečném zatížení podléhají menšímu opotřebení, důsledkem čehož je delší životnost. Snížený, optimalizovaný tlak má rovněž kladný dopad na potrubí.

Dodatečné vybavení

Měniče kmitočtu lze obvykle poměrně jednoduše dodatečně zabudovat do stávajících pohonných systémů.



Regulace rychlosti šetří energii



Pravidla proporcionality u strojů s průtokem kapalin. Vzhledem k fyzikálním vztahům u strojů s průtokem kapalin závisí průtok Q , tlak p a výkon P přímo na otáčkách stroje.

Potenciál úspory energie při použití měniče kmitočtu závisí na typu poháněné zátěže a optimalizaci účinnosti čerpadla nebo pohonu měničem kmitočtu, a také na tom, po jakou dobu systém pracuje při částečném zatížení. Systémy v oboru vodárenství a zpracování odpadních vod jsou navrženy jen pro zřídka špičkové zatížení, proto jsou obvykle provozovány při částečném zatížení.

Odstředivá čerpadla a ventilátory nabízejí největší potenciál pro úspory energie. Spadají do třídy strojů s průtokem kapalin s křivkami proměnného momentu, u kterých platí pravidla proporcionality.

Průtok se zvyšuje lineárně se zvyšováním otáček (ot./min), zatímco tlak se zvyšuje kvadraticky a spotřeba energie kubicky.

Rozhodujícím faktorem pro úspory energie je kubický vztah mezi ot./min a spotřebou energie. Například,

čerpadlo pracující na polovině jmenovitých otáček spotřebuje pouze jednu osminu výkonu potřebného pro provoz při jmenovitých otáčkách. I malé snížení otáček tudíž vede k výrazné úspoře energie. Například 20% snížení otáček přinese 50% úsporu energie. Hlavní výhodou použití měniče kmitočtu je, že řízení otáček neplýtvá energií (na rozdíl od regulace pomocí škrticího ventilu nebo klapky), ale místo toho upravuje výkon motoru, aby odpovídal přesně aktuálnímu požadavku.

Další úspory energie je možné dosáhnout optimalizací účinnosti čerpadla nebo pohonu s provozem měniče kmitočtu. Charakteristika řízení napětí (V/f křivka) dodává do motoru správné napětí při každém kmitočtu (a tedy otáčkách motoru). Tímto způsobem regulátor zabrání ztrátám v motoru způsobeným nadměrným jalovým proudem.

Poznámka: Měníče kmitočtu Danfoss VLT® AQUA Drive optimalizují spotřebu energie ještě precizněji. Funkce Automatická optimalizace spotřeby (AEO) neustále upravuje aktuální napětí motoru tak, že motor běží s nejvyšší možnou účinností. Tímto způsobem měnič VLT® AQUA Drive vždy přizpůsobí napětí zjištěným aktuálním podmínkám zatížení. Další potenciální úspory energie činí dalších 3 až 5 %.



Zvýšení nákladové efektivity

Analýza provozních nákladů (LCC – Life Cycle Cost)

Ještě před několika lety zvažovali inženýři a provozovatelé zařízení při výběru systému čerpadel pouze náklady na pořízení a instalaci. Dnes je stále běžnější analýza veškerých nákladů. Pod označením „analýza provozních nákladů“ (LCC) se skrývá analýza, která zahrnuje veškeré náklady na systémy čerpadel během provozní životnosti.

Analýza provozních nákladů nezahrnuje jen náklady na pořízení a instalaci, ale také náklady na energii, provoz, údržbu, prostoje, ochranu životního prostředí a likvidaci. Na celkové provozní náklady mají rozhodující dopad dva faktory – náklady na energii a údržbu. Provozovatelé hledají za účelem snížení těchto nákladů pohony čerpadel s inovačním způsobem řízení.

Snížení nákladů na energii

Jedním z největších nákladových faktorů ve vzorci celkových provozních nákladů jsou náklady na energii. Toto platí zejména v případech, kdy systémy čerpadel pracují více než 2 000 hodin v roce.

$$LCC = C_{ic} + C_{in} + C_e + C_o + C_m + C_s + C_{env} + C_d$$

C_{ic} = počáteční náklady (pořizovací náklady)

C_{in} = náklady na instalaci a uvedení do provozu

C_e = náklady na energii

C_s = náklady na prostoje a ztrátu výroby

C_o = provozní náklady

C_{env} = náklady na ochranu životního prostředí

C_m = náklady na údržbu

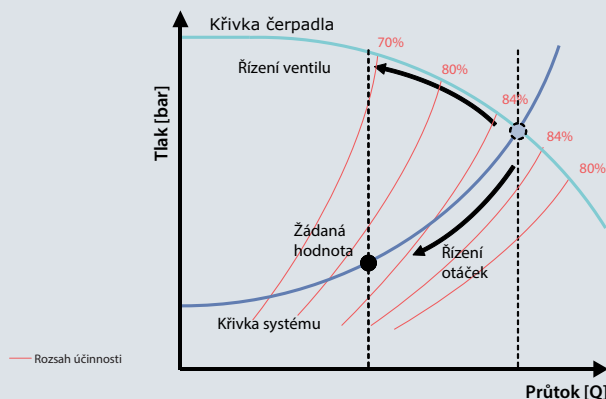
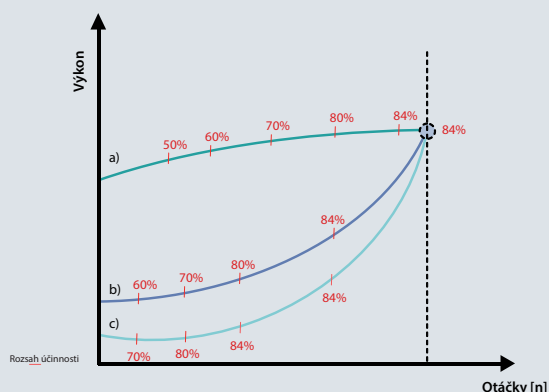
C_d = náklady na vyřazení z provozu a likvidaci

Výpočet nákladů na provozní náklady

Většina stávajících systémů čerpadel má značný nevyužitý potenciál úspory energie. Ten je způsoben tím, že většina pohonů čerpadel je předimenzována, protože byly navrženy pro nejhorší možné podmínky. Volumetrický průtok je často regulován škrticím ventilem. U tohoto způsobu regulace čerpadlo vždy pracuje při plné kapacitě, a tudíž zbytečně spotřebovává energii.

To se dá srovnat s jízdou v autě, při které by motor pracoval stále při maximálně sešlápnutém plynovém pedálu a rychlost by se regulovala brzdami.

Moderní, inteligentní měniče kmitočtu nabízí ideální prostředky pro snížení spotřeby energie a nákladů na údržbu.



- a) Řízení pomocí ventilů: snížení η
b) Řízení podle skutečných otáček: křivka η neodpovídá křivce systému
c) Optimální řízení otáček: křivka η se téměř shoduje s křivkou systému

Kromě křivek charakteristik čerpadla a systému ukazuje tento graf také několik úrovní účinnosti. Jak při řízení pomocí ventilů, tak při řízení otáček, se pracovní bod posouvá mimo rozsah optimální účinnosti.

Dosažení potencionálních úspor v praxi

Popisy v první části této příručky projektanta se zaměřují primárně na základy a možné úspory v oboru vodárenství a zpracování odpadních vod.

Mimo jiné se zabývají provozními náklady, snížením spotřeby energie, snížením nákladů na energii a snížením nákladů na servis a údržbu. Vaším úkolem je nyní vytvořit uvážlivý, inteligentní projekt, abyste tyto potenciální výhody proměnili v realitu.

Abyste toho docílili, provede vás druhá část této příručky ve čtyřech krocích procesem vytvoření projektu.

Následující sekce:

- Síťové systémy
- Podmínky okolního a životního prostředí
- Motory a kabeláž
- Měníče kmitočtu vám poskytnou veškeré informace o charakteristikách a datech, které potřebujete k výběru a dimenzování komponent, abyste zajistili spolehlivý provoz systému.

Tam, kde by bylo zapotřebí mít podrobnější znalosti, uvedeme kromě základních informací odkazy na další dokumenty.

Kontrolní seznam zahrnutý na konci této příručky, který je možné rozložit nebo odtrhnout, je také šikovnou pomůckou, která umožňuje odškrtnout jednotlivé kroky. Získáte tak rychlý a snadný přehled o všech relevantních faktorech projektu.

Když vezmete všechny tyto faktory v úvahu, dostanete se do ideální pozice, abyste dokázali naprojektovat spolehlivý a energeticky úsporný systém.



Část 2 : Čtyři kroky k optimálnímu systému

Krok 1: Praktické aspekty systémů AC sítě

Určení skutečné síťové konfigurace

K napájení elektrických pohonů se používají různé druhy elektrických sítí. Všechny ovlivňují do jisté míry EMC charakteristiky systému. Nejlepší je v tomto ohledu systém TN-S s pěti vodiči, zatímco nejméně žádoucí je izolovaný systém IT.

Systémy TN

Existují dvě verze této formy rozvodné sítě:

TN-S a TN-C.

TN-S

Jedná se o systém s 5 vodiči s odděleným nulovým vodičem (N) a ochranným vodičem (PE).

Poskytuje tudíž nejlepší vlastnosti z hlediska EMC a zabraňuje přenosu rušení.

TN-C

Jedná se o systém se 4 vodiči, přičemž nulový vodič a ochranný vodič jsou v celém systému společné.

Z důvodu použití kombinovaného nulového a ochranného vodiče nemá systém TN-C příznivé EMC charakteristiky.

Systémy TT

Jedná se o systém se 4 vodiči, s uzemněným nulovým vodičem a samostatným uzemněním pohonných jednotek.

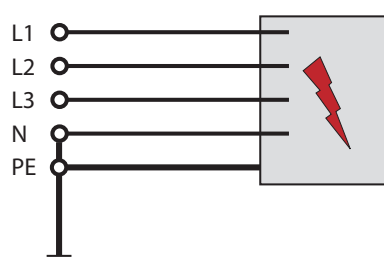
Pokud je uzemnění provedeno správně, má tento systém dobré EMC charakteristiky.

Systém IT

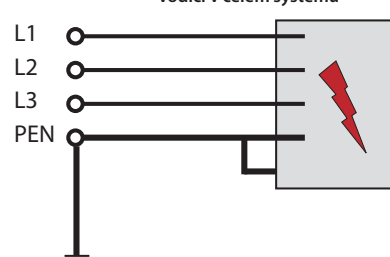
Jedná se o izolovaný systém se 4 vodiči, kde nulový vodič buď není uzemněný, nebo je uzemněný prostřednictvím impedance.

Poznámka: Při použití v síti IT je nutné zakázat veškeré EMC funkce měniče kmitočtu (filtry a podobně).

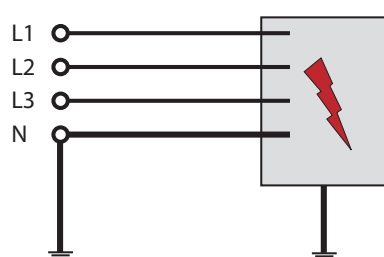
TN-S síť Samostatný nulový vodič (N) a ochranný vodič (PE)



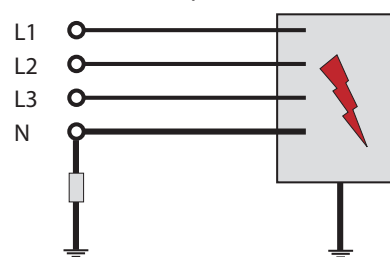
TN-C síť Kombinace nulového N vodiče a ochranného PE vodiče ve společném vodiči v celém systému



TT síť Samostatný vodič pro uzemnění a individuální uzemnění komponent



IT síť Izolovaný systém, kde nejsou komponenty uzemněny ani uzemněny s impedancí.



Druhy systémů elektrických sítí podle normy EN 50310/HD 384.3

Praktické aspekty elektromagnetické kompatibility (EMC)

Každé elektrické zařízení generuje elektrické a magnetické pole, které do jisté míry ovlivňuje jeho okolní prostředí.

Velikost a důsledky tohoto působení závisí na výkonu a konstrukci zařízení. V elektrických strojích a zařízeních mohou interakce elektrickými a elektronickými součástmi nepříznivě ovlivnit nebo zabránit bezporuchovému provozu. Proto je pro provozovatele, konstruktéry a inženýry těchto zařízení důležité pochopit mechanismus těchto interakcí. Jen tak je možné ve fázi projektu přijmout nápravná opatření bez vysokých finančních nákladů.

Náklady na vhodná opatření se totiž s každým stádiem procesu zvyšují.

Účinky elektromagnetického pole působí v obou směrech

Komponenty systému se navzájem ovlivňují: každé zařízení generuje rušení a je rušením ovlivněno. Kromě typu a objemu rušení generovaného zařízením je zařízení charakterizováno svou odolností vůči rušení od blízkých komponent.

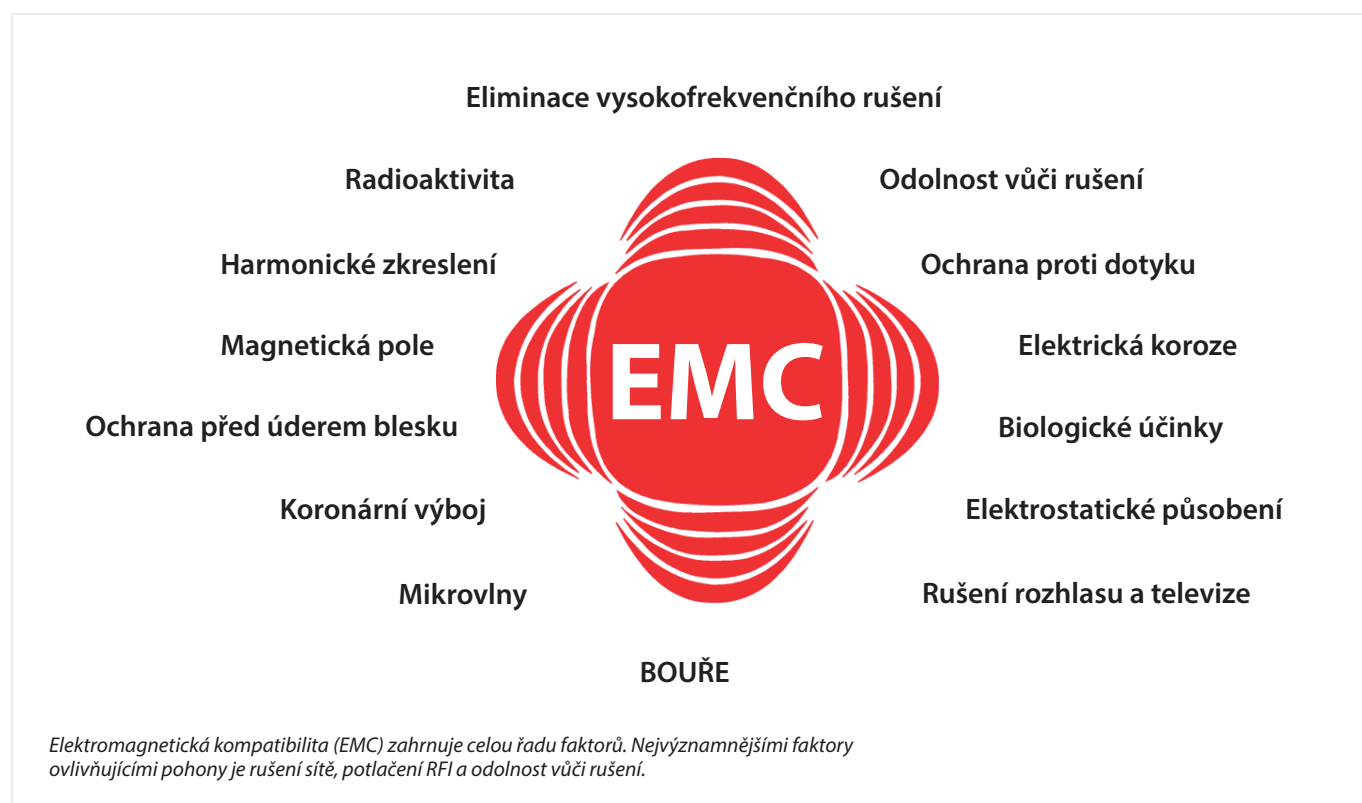
Odpovědnost nese provozovatel

Dříve musel výrobce komponenty nebo sestavy pro elektrické pohony realizovat opatření, která by splňovala požadavky zákonných norem. Se zavedením normy EN 61800-3 pro pohonné systémy s proměnnými otáčkami byla odpovědnost přenesena na koncového uživatele nebo provozovatele systému. Výrobce musí

nyní pouze nabídnout řešení, které z hlediska normy vyhovuje. Odstranění jakéhokoli rušení (jinými slovy, použití takových řešení) i výsledné náklady jsou odpovědností provozovatele.

Dva možné významy snížení

Uživatelé a provozovatelé zařízení mají dvě možnosti, jak zajistit elektromagnetickou slučitelnost. První spočívá v odrušení zdroje minimalizováním nebo eliminováním šíření rušení. Druhou možností je zvýšit odolnost rušeného přístroje nebo systému vůči rušení, a to tím způsobem, že se zabrání příjmu rušení nebo se výrazně sníží.



Praktické aspekty elektromagnetické kompatibility (EMC)

Rozlišení mezi rušením šířeným po kabelu a vyzařovaným rušením

Když je použito několik systémů, vždy se objevuje rušení. Odborníci rozlišují zdroj a přijímač rušení, což v praxi obvykle označuje zařízení, které rušení způsobuje, a zařízení, které je rušením ovlivněno. Rušení mohou potenciálně způsobovat veškeré typy elektrických a magnetických veličin. Rušení se může objevit například ve formě harmonických kmitočtů sítě, elektrostatických výbojů, rychlých fluktuací napětí, vysokofrekvenčního rušení nebo rušení polí. V praxi se harmonické kmitočty sítě často označují jako rušení sítě, vyšší harmonické nebo jednoduše harmonické.

Vazební mechanismy mezi elektrickými obvody

Pravděpodobně vás teď zajímá, jak se rušení přenáší. Jako forma elektromagnetických emisí může přenos v zásadě probíhat po vedení, v podobě elektrických polí nebo elektromagnetických vln. V technických termínech se to nazývá vodivé, kapacitní nebo induktivní spojení a vyzařované spojení, což znamená interakci mezi různými obvody, ve kterých elektromagnetická energie proudí z jednoho obvodu do jiného.

Vodivé spojení

Vodivé spojení vzniká v případě, kdy jsou dva nebo více elektrických obvodů vzájemně propojeny společným vedením, například kabelem pro vyrovnání potenciálů.

Kapacitní spojení

Kapacitní spojení je výsledkem rozdílů v napětí mezi obvody. Induktivní spojení se vyskytuje mezi dvěma vodiči, kterými protéká elektrický proud.

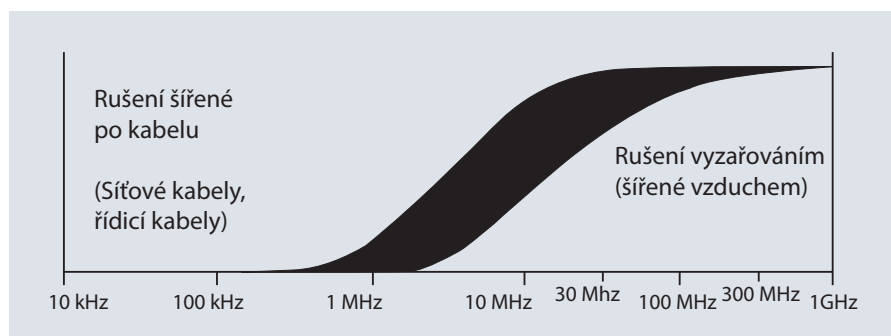
Vyzařované spojení

Vyzařované spojení vznikne v případě, kdy se přijímač rušení nachází ve vzdáleném elmg. poli vytvořeném zdrojem rušení.

Pro účely analýzy elmg. pole specifikuje norma jako hranici mezi vodivým spojením a vyzařovaným spojením 30 MHz. To odpovídá vlnové délce

10 metrů. Pod tímto kmitočtem se elmg. rušení šíří zejména prostřednictvím vodičů nebo pomocí elektrických nebo magnetických polí. Při kmitočtech nad 30 MHz působí vodiče a kabely jako antény a tím pádem vyzařují elektromagnetické vlny.

Difúzní dráhy rušení



Elektromagnetické rušení se objevuje v celém kmitočtovém rozsahu, ale dráhy šíření a forma difúze se liší.

Zdroj rušení

Části spínacího obvodu
Převodníky energie
Měniče kmitočtu
Zapalování
Bezdrátové telefony
Mobilní telefony
Počítače
Spínané zdroje napájení

Vazba rušivých veličin
např. vodivá, kapacitní, indukční
nebo elektromagnetická

Příjemce rušení

např.:
Řídicí systémy
Převodníky energie
Měniče kmitočtu
Obecné systémy přijímající vysokofrekvenční signály
Mobilní telefony
Datová/telefonní vedení

Přehled vazebních drah elektromagnetického rušení a typické příklady

Měniče kmitočtu a EMC

Vliv nízkých kmitočtů
(souvisících s vedením)



Rušení sítě/vyšší harmonické

Vliv vysokých kmitočtů
(souvisících s vyzařováním)



Rušení rozhlasu a televize
(emise elektromagnetických polí)

Praktické aspekty kvality sítě

Nízkofrekvenční rušení sítě

Ohrožení napájecích sítí

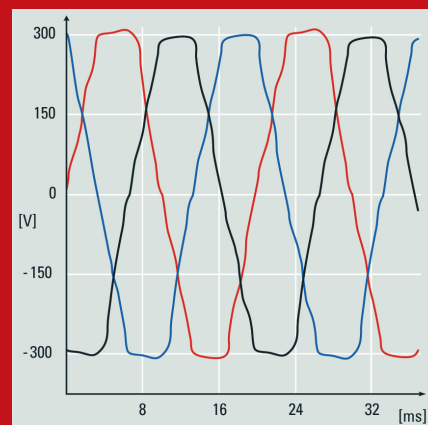
Síťové napětí dodávané energetickými podniky pro domácnosti, firmy a průmysl by mělo představovat napětí pravidelného sinusového průběhu s konstantní amplitudou a kmitočtem. To je ideální případ, který se dnes ve veřejných sítích už nevyskytuje. Příčinou jsou zčásti spotřebiče, které ze sítě odebírají proud nesinusového průběhu, nebo mají nelineární charakteristiku, jako např. počítače, televizory, spínané síťové zdroje, úsporné světelné zdroje a měniče kmitočtu. V budoucnu bude kvalita sítě dále klesat vlivem společné evropské energetické sítě, vyššího využití sítě a snížení investic. Odchylnosti od ideálního sinusového průběhu jsou tedy nevyhnutelné a v určitých mezích přípustné.

Projektanti a provozovatelé zařízení nemají žádnou povinnost udržovat rušení sítě na minimu. Ale jaké jsou meze a kdo je specifikuje?

Zajištění kvality zákonnými předpisy

V jakékoli diskusi o čistém a kvalitním síťovém napětí pomáhají normy, směrnice a předpisy. Základem pro objektivní posouzení kvality síťového napětí je ve většině evropských zemí zákon o elektromagnetické kompatibilitě zařízení. Evropské normy EN 61000-2-2, EN 61000-2-4 a EN 50160 definují mezní hodnoty síťového napětí ve veřejných a průmyslových sítích, které je třeba dodržet.

Normy EN 61000-3-2 a EN 61000-3-12 obsahují předpisy týkající se rušení sítě připojenými zařízeními. Provozovatelé zařízení musí při celkové analýze vzít v úvahu rovněž normu EN 50178 a připojovací podmínky energetických podniků. Základním předpokladem je, že dodržení těchto úrovní zajistí, že všechna zařízení a systémy připojené k distribučním systémům elektrické energie splní bez problémů svůj účel.

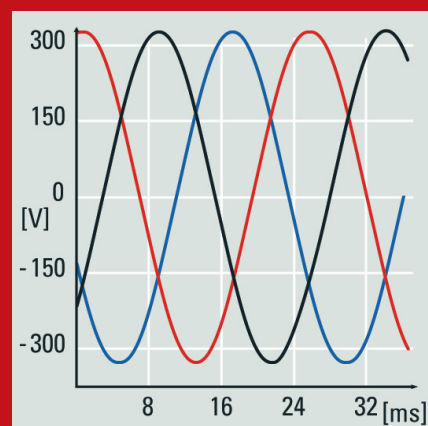


Měření ukazují charakteristické zkreslení křivky napětí sítě způsobené rušením z nelineárních spotřebičů.

Jak dochází k rušení sítě

Odborníci označují zkreslení sinusového průběhu v elektrických sítích způsobené pulzacemi vstupního proudu připojených spotřebičů jako „rušení sítě“ nebo „harmonické“. Také mu říkají harmonická složka v síti, což je odvozeno z Fourierovy analýzy, a odhadují ji až na 2,5 kHz, což odpovídá násobku základního kmitočtu 50 Hz.

Vstupní usměrňovače měničů kmitočtu vytváří takovéto typické rušení sítě harmonickými kmitočty. Když jsou měniče kmitočtu připojené k systémům s kmitočtem 50 Hz, lze pozorovat 3. (150 Hz), 5. (250 Hz) či 7. (350 Hz) harmonickou. Zde jsou účinky nejvýraznější. Celkový obsah harmonických představuje celkové harmonické zkreslení THD (Total Harmonic Distortion).



V našich sítích se s ideálním sinusovým průběhem napětí téměř nesetkáte.

Praktické aspekty rušení sítě nízkými kmitočty

Analýza rušení sítě

Aby se předešlo nadměrnému zhoršení kvality sítě, lze použít u systémů nebo zařízení generujících harmonické složky proudu různé metody snížení, zabránění a kompenzace. Programy pro analýzu sítě jako je software VLT® MCT 31 Harmonic Calculation lze použít k analýze systému již ve stádiu návrhu. Tímto způsobem mohou provozovatelé uvážit a vyzkoušet konkrétní opatření a zajistit dostupnost budoucího systému.

Poznámka: Společnost Danfoss má rozsáhlé a dlouhodobé zkušenosti v oblasti EMC. Tyto zkušenosti předáváme svým zákazníkům formou školení, seminářů, workshopů či v každodenní praxi prováděním analýzy EMC s podrobným vyhodnocením a výpočtem sítě.

Poznámka: Nadměrná harmonická složka zatěžuje zařízení pro korekci účinníku zařízení a může ho případně i zničit. Z tohoto důvodu by měly být instalovány tlumivky.



Software VLT® MCT 31 odhaduje harmonickou složku proudu a zkreslení napětí v aplikaci a určí, zda je nutné filtrování harmonických kmitočtů. Kromě toho je software schopen vypočítat efekt přidání vybavení pro utlumení rušení a zda systém odpovídá různým normám.

Důsledky rušení sítě

Harmonické kmitočty a fluktuace napětí jsou dvě formy nízkofrekvenčního rušení sítě šířeného po kabelu. Mají ve svém počátku jiný vzhled než v jakémkoli jiném bodě sítě, kde je připojené zatížení.

V důsledku toho je při vyhodnocování rušení sítě třeba vzít v úvahu napájení sítě, strukturu sítě a spotřebiče. Dopady na zvýšenou úroveň harmonických kmitočtů jsou popsány níže.

Upozornění na podpětí

- V důsledku deformace sinusového průběhu nelze napětí sítě správně změřit.
- Snížená kapacita sítě

Vyšší ztráty

- Harmonické spotřebují část činného, zdánlivého a jalového výkonu.
- Kratší životnost zařízení a komponent, například díky efektu ohřevu v důsledku rezonancí.
- Poruchy nebo poškození elektrických nebo elektronických zátěží (např. bzučení jiných zařízení). V nejhorším případě dokonce zničení.

- Nesprávná měření, protože pouze harmonickou složku proudu berou v úvahu jen přístroje a měřicí systémy měřící efektivní hodnotu proudu.

Existují měniče kmitočtu, které negenerují rušení?

Každý měnič kmitočtu generuje rušení sítě. Ovšem platná norma uvažuje frekvenční rozsah pouze do 2 kHz. Z tohoto důvodu někteří výrobci přesunuli rušení sítě do oblasti nad 2 kHz, kterou norma neřeší, a inzerují je jako zařízení „negenerující rušení“. Mezní hodnoty pro tuto oblast se v současnosti zkoumají.

Praktické aspekty snížení rušení sítě

Doplňky pro snížení rušení sítě

Obecně řečeno, rušení sítě od elektronických řídicích systémů lze omezit snížením amplitudy impulzních proudů. Tím dojde ke zlepšení účinníku λ (Lambda). Aby se předešlo nadměrnému zhoršení kvality sítě, lze použít u systémů nebo zařízení generujících harmonické složky proudu různé metody snížení, zabránění nebo kompenzace.

- Tlumivky na vstupu nebo ve stejnosměrném meziobvodu měničů kmitočtu
- Tenké stejnosměrné meziobvody
- Usměrňovače s 12, 18 nebo 24 impulzy na cyklus
- Pasivní filtry
- Aktivní filtry
- Active front end a VLT® Low Harmonic Drives

Tlumivky na vstupu nebo ve stejnosměrném meziobvodu

Již jednoduché tlumivky účinně snižují úroveň harmonických, které dodávají obvody usměrňovače zpět do sítě jako rušení. Výrobci měničů kmitočtu je obvykle nabízejí jako doplňky nebo možnosti pro dodatečnou instalaci.

Tlumivky je možno zapojit před měnič kmitočtu (na straně napájení) nebo do stejnosměrného meziobvodu za usměrňovač. Protože indukčnost má stejný účinek bez ohledu na umístění, tlumení rušení sítě je nezávislé na umístění tlumivky.

Každá možnost má své výhody a nevýhody. Tlumivky na vstupu jsou dražší, větší a generují vyšší ztráty než tlumivky v meziobvodu. Jejich výhodou je, že také chrání usměrňovač před přechodovými jevy v napájecím napětí. Stejnosměrné tlumivky jsou umístěny ve stejnosměrném meziobvodu. Mají větší účinnost, ale obvykle je není možné dodatečně vestavět. S těmito tlumivkami lze snížit celkové harmonické zkreslení z usměrňovače B6 z 80 %

THD bez tlumivek přibližně na 40 %. Bylo prokázáno, že tlumivky s U_k 4 % jsou účinné pro použití s měniči kmitočtu. Další snížení harmonických lze dosáhnout speciálně přizpůsobenými filtry.

Usměrňovač s 12, 18 nebo 24 pulzy na cyklus

Obvody usměrňovače s vysokým počtem impulzů na cyklus (12, 18 nebo 24) generují nižší úroveň harmonických. V minulosti se často používaly ve výkonných aplikacích.

Musí být ovšem napájeny ze speciálních transformátorů se sekundárním vinutím s posuvem více fází, které poskytují do usměrňovače veškerý potřebný výkon. Kromě složitosti a velikosti speciálního transformátoru spočívají nevýhody této technologie ve vyšších investičních nákladech na transformátor a měnič kmitočtu.

Pasivní filtry

Pokud je nutné dodržet zvláště přísné požadavky na omezení harmonického zkreslení, k dispozici jsou jako doplňky pasivní filtry rušení sítě. Vyrábí se z pasivních komponent, jako jsou cívky a kondenzátory.

Sériové rezonanční obvody, speciálně naladěné na harmonické kmitočty a zapojené paralelně k zátěži snižují celkové harmonické zkreslení THD na straně sítě na hodnoty 10 % či 5 %. Moduly filtrů lze použít pro jednotlivé

měníče kmitočtu nebo skupiny měničů kmitočtu. K dosažení co nejlepších výsledků je s filtrem harmonických kmitočtů nutné sladit filtr se vstupním proudem skutečně odebíraným měničem kmitočtu.

Z hlediska návrhu se pasivní filtry harmonických kmitočtů zapojují před měnič nebo skupinu měničů kmitočtu.

Výhody pasivních filtrů

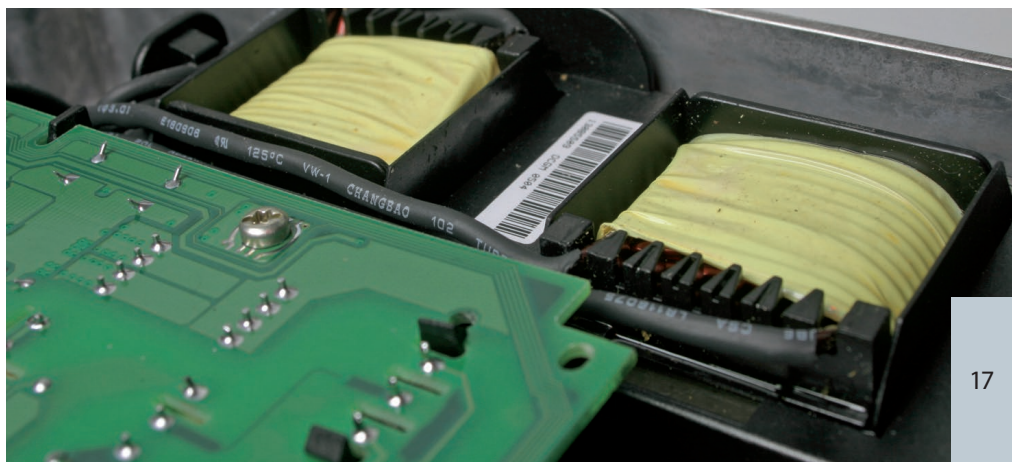
Tento typ filtrů poskytuje dobrý poměr cena/výkon. Při relativně nízkých nákladech lze dosáhnout omezení harmonických srovnatelného s použitím usměrňovačů s 12 nebo 18 impulzy na cyklus. Celkové harmonické zkreslení (THD) lze snížit na 5 %.

Pasivní filtry negenerují žádné rušení v kmitočtovém rozsahu nad 2 kHz. Protože jsou složeny výhradně z pasivních komponent, nedochází k žádnému opotřebení a jsou odolné vůči elektrickým poruchám a mechanickému zatížení.

Nevýhody pasivních filtrů

Vzhledem ke své konstrukci jsou pasivní filtry poměrně rozměrné a těžké. Filtry tohoto typu jsou velmi účinné v rozsahu zatížení 80–100 %. Nicméně kapacitní jalový výkon se zvyšuje se snížením zatížení a doporučujeme při provozu bez zátěže odpojit filtrační kondenzátory.

Poznámka: Měníče kmitočtu Danfoss VLT jsou standardně vybavené tlumivkami ve stejnosměrném meziobvodu. Snižují rušení sítě na THDi 40 %.



Praktické aspekty snížení rušení sítě

Aktivní filtry

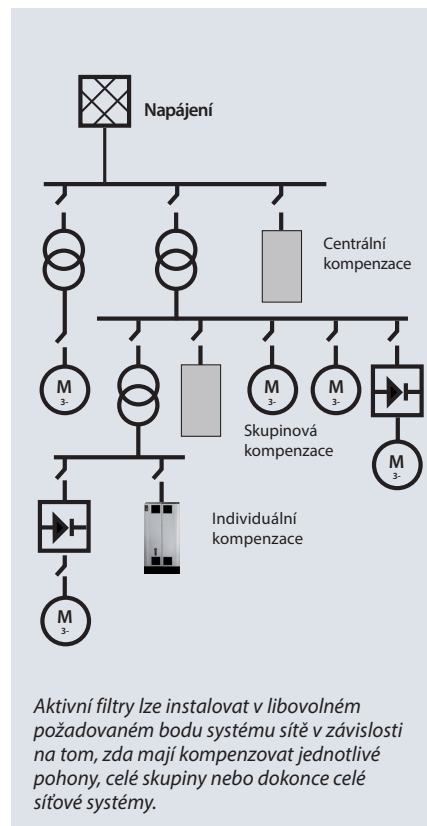
Pokud jsou požadavky ohledně rušení sítě ještě přísnější, používají se aktivní elektronické filtry. Aktivní filtry jsou reprezentovány elektronickými absorpčními obvody, které uživatel zapojí paralelně ke zdroji harmonických kmitočtů. Analyzují harmonickou složku proudu generovanou nelineární zátěží a dodávají kompenzační proud. Tento proud plně neutralizuje příslušnou harmonickou složku proudu v přípojném bodě. Stupeň kompenzace je nastavitelný. Tím lze harmonické téměř dokonale vykompenzovat, nebo (např. z ekonomických důvodů) alespoň do té míry, aby systém splňoval zákonem povolené hodnoty. Zde je opět nutné pamatovat na to, že tyto filtry pracují s hodinovými kmitočty a produkují rušení sítě v rozsahu 4–18 kHz.

Výhody aktivních filtrů

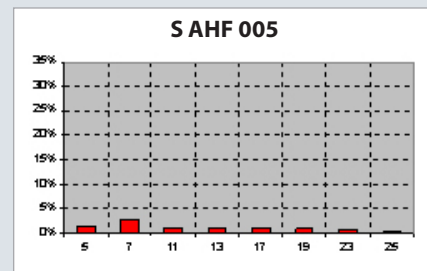
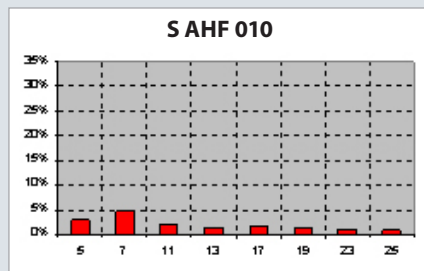
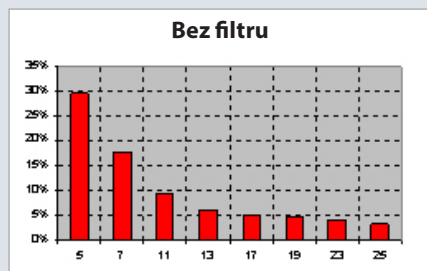
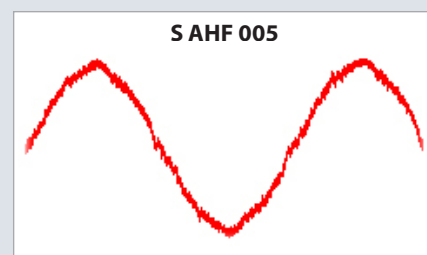
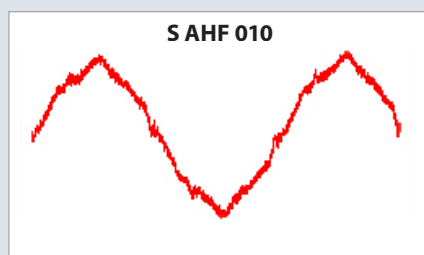
Provozovatelé mohou zakomponovat aktivní filtry do jakéhokoli místa systému sítě jako centrální opatření, podle toho, zda chtějí provádět kompenzaci jednotlivých měničů, celých skupin nebo dokonce celého distribučního systému. Není nutné zajistit samostatný filtr pro každý měnič kmitočtu. Celkové harmonické zkreslení poklesne na úroveň $THD \leq 4\%$.

Nevýhody aktivních filtrů

Jednou z nevýhod jsou poměrně vysoké investiční náklady. Kromě toho nejsou tyto filtry účinné nad 25. úrovní harmonických. U technologie aktivních filtrů je potřeba vzít v úvahu také účinky generované samotnými filtry v oblasti nad 2 kHz. Pro zajištění čisté sítě bude možná zapotřebí podniknout další opatření.



Proud a spektrum zkreslení při plné zátěži



Filtry AHF (Advanced Harmonic Filter) snižují celkové harmonické zkreslení na 5 nebo 10 % při 100% zatížení.

Tenký stejnosměrný meziobvod

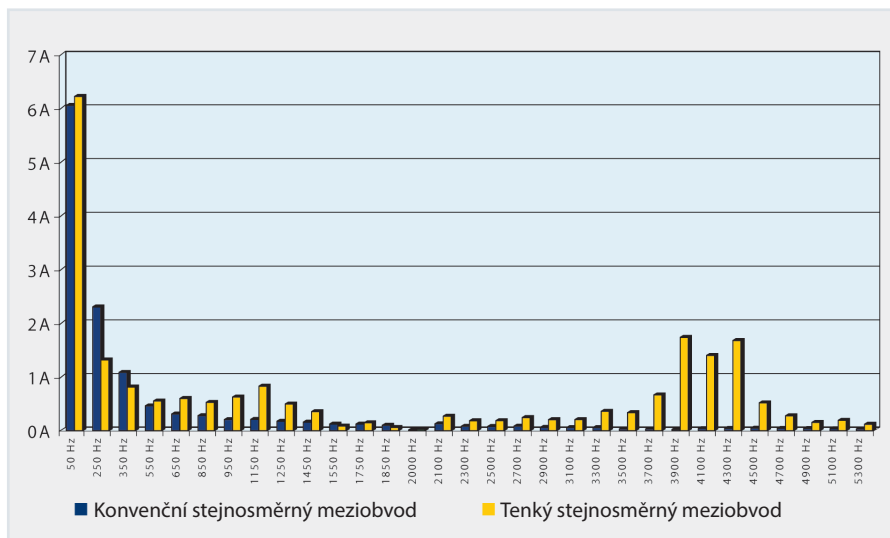
V posledních letech se začaly více objevovat měniče kmitočtu s „tenkým“ stejnosměrným meziobvodem. Při tomto přístupu výrobci výrazně snižují kapacity kondenzátorů stejnosměrného meziobvodu. Dokonce i bez tlumivky se tím snižuje pátá harmonická složka proudu na úroveň THD pod 40 %.

Nicméně to způsobuje rušení sítě ve vysokých kmitočtech, které by se jinak neobjevilo.

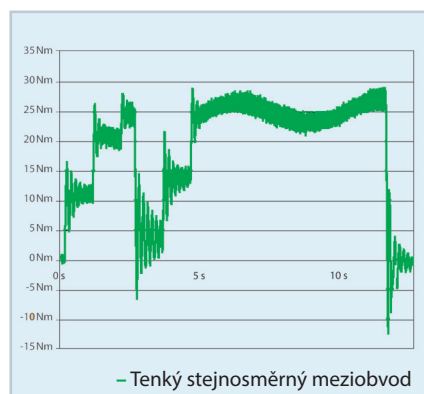
Vzhledem k širokému kmitočtovému spektru zařízení s tenkými stejnosměrnými meziobvody existuje větší riziko rezonancí s jinými komponentami připojenými k síti, např. zářivkami nebo transformátory. Návrh vhodných opatření je odpovídajícím způsobem časově náročný a velmi obtížný.

Kromě toho mají měniče s úzkými stejnosměrnými meziobvody slabiny na straně zátěže. U měničů tohoto typu mají variace zatížení za následek výrazně větší variace napětí. Důsledkem je, že mají větší tendenci oscilovat při výhybkách zatížení na hřídeli motoru. Problémem je také odlehčení zatížení. Během odlehčení zatížení motor funguje jako generátor s vysokými napěťovými špičkami. Díky tomu se zařízení s tenkými stejnosměrnými meziobvody zavírají rychleji než konvenční zařízení, aby se chránila proti zničení přetížením nebo přepětím.

Protože mají malou nebo nulovou kapacitanci, měniče s tenkými stejnosměrnými meziobvody se nehodí na překonání výpadků sítě. Tenký stejnosměrný meziobvod má zpravidla desetinou kapacitanci ve srovnání s konvenčním stejnosměrným meziobvodem.



Měníče s tenkými stejnosměrnými meziobvody generují vyšší úroveň harmonických, zvláště ve vyšších rozsazích kmitočtů.



Kromě rušení sítě kvůli vstupnímu proudu znečišťují měniče s tenkými meziobvody síť spínacím kmitočtem střídače na straně motoru. To je zřetelně vidět na straně sítě kvůli nízké nebo nulové kapacitanci meziobvodu.

Active Front End

Při popisu měničů AFE (Active Front End) se často používá označení LHD (Low Harmonic Drive). Je to však

poněkud zavádějící, protože měniče Low Harmonic Drive mohou pokrývat mnoho různých technologií a jak pasivní, tak aktivní tlumení. Měníče Active Front End jsou ve vstupních obvodech měniče vybavené spínači IGBT, které nahrazují konvenční usměrňovače. Tyto obvody používají polovodičová zařízení s rychlými spínacími charakteristikami, které upravují vstupní proud na přibližně sinusový a jsou velmi účinná při utlumení nízkofrekvenčního rušení sítě. Stejně jako měniče kmitočtu s tenkými stejnosměrnými meziobvody, které generují rušení sítě ve vysokých kmitočtech.

Měníč Active Front End představuje nejdražší řešení k redukci rušení sítě, protože se jedná o dodatečný, plně vybavený měnič kmitočtu, který je schopen dodávat do sítě kompenzační energii.

Doplňek low harmonic drive tuto možnost nenabízí a je odpovídajícím způsobem poněkud levnější.

Praktické aspekty snížení rušení sítě

Výhody AFE

Celkové harmonické zkreslení poklesne na úroveň THD <4 % v rozsahu od 3. do 50. harmonické složky proudu. U zařízení AFE je možný provoz ve čtvrtém kvadrantu, což znamená, že brzdný výkon motoru je možné vracet zpátky do systému sítě.

Nevýhody AFE

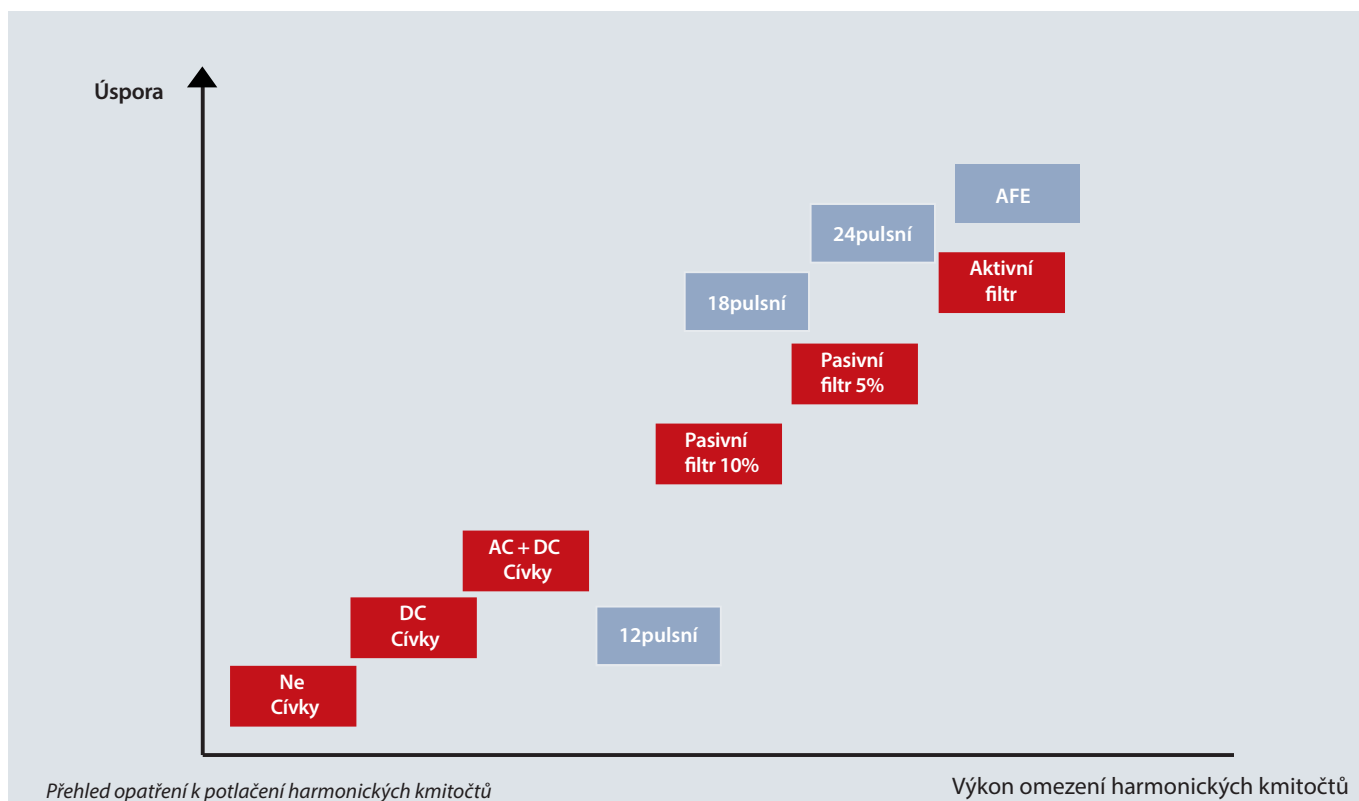
Technická náročnost zařízení je velice značná a vede k velmi vysokým investičním nákladům. V principu se zařízení AFE skládají ze dvou měničů kmitočtu, přičemž jeden napájí motor a druhý síť. Z důvodu zvýšené složitosti obvodů je účinnost měniče kmitočtu u provozu s motorem nižší. Ztrátový výkon může být o 40 až 50 % vyšší než u měničů s neřízenými usměrňovači.

AFE vždy potřebuje pro správný provoz vyšší napětí stejnosměrného meziobvodu. V mnoha případech je toto vyšší napětí předáváno do motoru, takže izolace motoru je více zatěžována. Když nejsou stejnosměrné meziobvody zařízení AFE odděleny, má porucha filtru za následek poruchu celého zařízení.

Další nevýhodou je hodinový kmitočet používaný zařízeními pro korekci vstupního proudu. Nachází se v intervalu 3 až 6 kHz. Kvalitní (a relativně složitá) zařízení odfiltrují tento hodinový kmitočet předtím, než dodá el. energii do systému. Současné platné normy a zákony se tímto kmitočtovým rozsahem nezabývají. Aktuálně dostupné analyzátoři sítě data z tohoto kmitočtového rozsahu obvykle nezískávají, a tudíž nelze účinky měřit.

Nicméně je možné najít ve všech zařízeních pracujících v dotčeném síťovém systému, například ve formě zvýšeného vstupního proudu napájecích zdrojů. Účinky budou znatelné až v pozdějších letech. Proto by se měli provozovatelé v zájmu provozní spolehlivosti vlastních systémů výrobců speciálně ptát na úrovně emisí a příslušná opatření.

Poznámka: Neexistuje žádné nařízení, které by udávalo, že sériově vyráběná zařízení musí splňovat limity definované normou EN 61000-3-12. Je tedy možné, aby měnič splňoval tyto limity pouze v kombinaci s doplňkovým filtrem.



Výkon omezení harmonických kmitočtů

Praktické aspekty vysokofrekvenčního rušení (RFI)

Rušení rozhlasového a televizního vysílání

Měniče kmitočtu generují různé kmitočty točivého pole při příslušných napětích motoru vlivem obdélníkových proudových impulzů různé šířky. Ve strmých hranách impulzů jsou obsaženy vysokofrekvenční složky. Kable motorů a měničů kmitočtu je vyzařují a přivádí je vedením do sítě.

Ke snížení tohoto typu rušení sítě používají výrobci RFI filtry (nazývané rovněž síťové filtry nebo EMC filtry).

Slouží jednak k ochraně zařízení před vysokofrekvenčním rušením šířeným po kabelu (odolnost vůči rušení), a dále ke snížení vysokofrekvenčního rušení vyzařovaného zařízením přes síťový kabel nebo vyzařováním síťového kabelu.

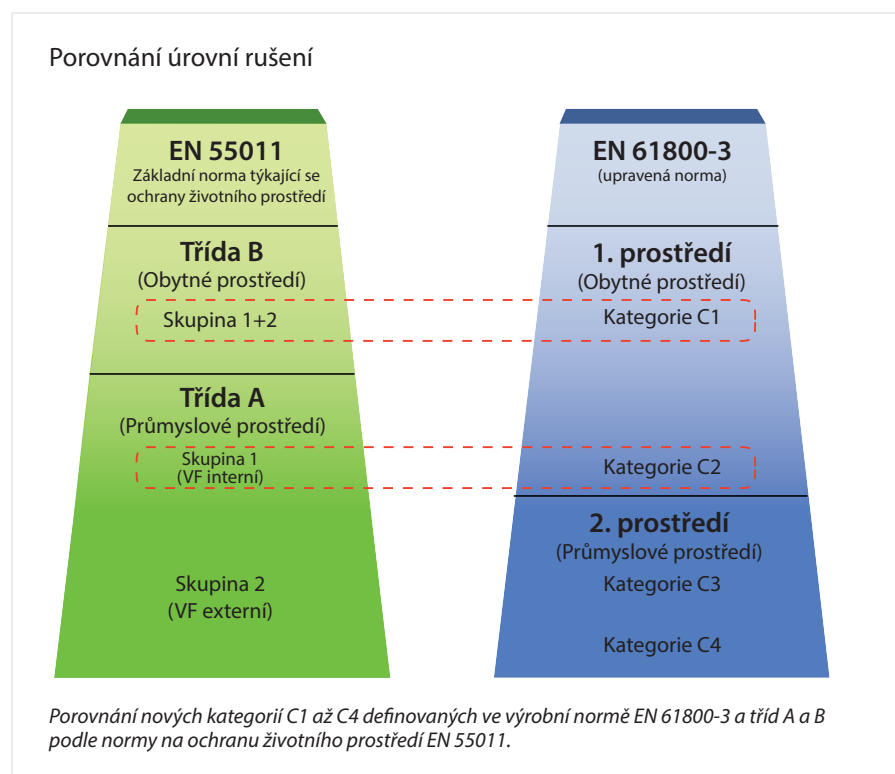
Filtry jsou určeny k omezení těchto emisí rušení na zákonem specifikovanou úroveň, což znamená, že by pokud možno měly být v zařízení standardně. Jako u síťových tlumivек je také u RFI filtrů třeba jednoznačně definovat jejich jakost.

Ve výrobní normě EN 61800-3 a kmenové normě EN 55011 jsou definovány konkrétní mezní hodnoty úrovní rušení.

Normy a směrnice definující omezení

Pro komplexní zhodnocení rušení rozhlasového a televizního vysílání je nutné použít dvě normy. První je norma týkající se prostředí EN 55011, která definuje limity podle základního prostředí: buď průmyslového (třídy A1 a A2), nebo obytného (třída B). Kromě toho jsou ve výrobní normě EN-61800-3 pro elektrické pohonné systémy, která začala platit v červnu 2007, definovány nové kategorie (C1 až C4) pro oblasti použití zařízení.

Ačkoli jsou z hlediska limitů srovnatelné s předchozími třídami, umožňují širší rozsah použití v rámci výrobní normy.



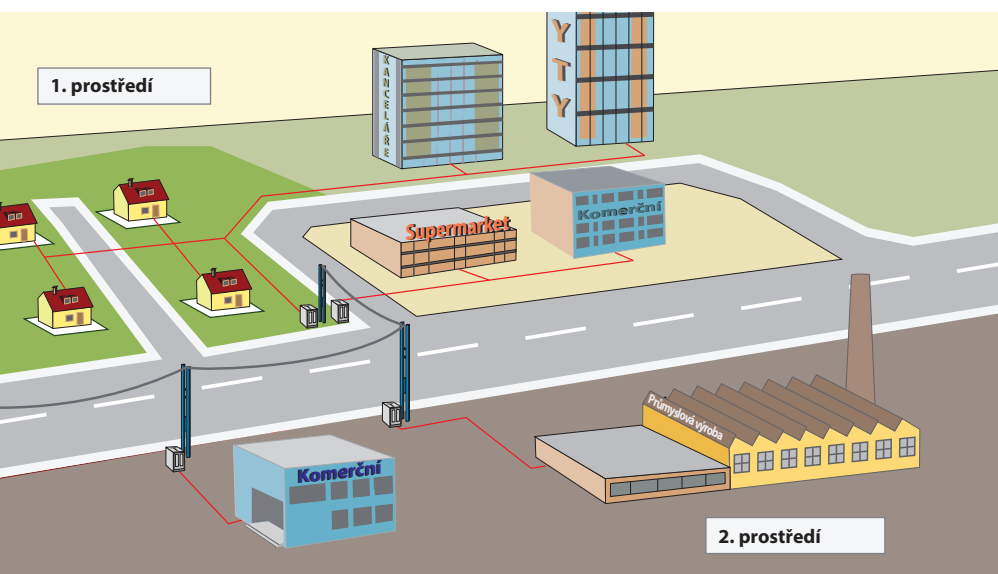
Výrobní norma EN 61800-3 (2005-07) pro systémy elektrických pohonů				
Klasifikace podle kategorie	C1	C2	C3	C4
Prostředí	1. prostředí	1. nebo 2. prostředí (rozhodnutí provozovatele)	2. prostředí	2. prostředí
Napětí/proud	<1 000 V			>1 000 V Vstupní >400 A Připojení k síti IT
Expertiza EMC	Žádné požadavky	Instalace a uvedení do provozu prováděné odborníkem na EMC		Je vyžadován EMC projekt
Limity podle normy EN 55011	Třída B	Třída A1 (plus varovná poznámka)	Třída A2 (plus varovná poznámka)	Hodnoty převyšují třídu A2

Poznámka:

Provozovatelé zařízení musí v případě potíží dodržovat požadavky normy EN 55011. Výrobci měničů musí dodržovat požadavky normy EN 61800-3.

Klasifikace nových kategorií C1 až C4 dle výrobní normy EN 61800-3

Praktické aspekty 1. a 2. prostředí



Klasifikace provozních prostředí 1. a 2. a speciálních prostředí, ze kterých může provozovatel volit.

elektrickou síť, ale která jsou vybavena vlastními distribučními transformátory na vysoké nebo střední napětí. Kromě toho jsou tyto oblasti takto definovány v katastru nemovitostí a jsou charakterizovány specifickými charakteristikami z hlediska elektro-magnetické kompatibility:

- přítomnost vědeckých, lékařských nebo průmyslových přístrojů
- spínání větších indukčních nebo kapacitních zátěží
- výskyt silných magnetických polí (např. v důsledku silných elektrických proudů)

Klasifikace prostředí platí jak uvnitř, tak vně budov.

Zvláštní prostředí

Zde mohou uživatelé rozhodnout, do jakého typu prostředí své zařízení zařadí. Předpokladem je, že oblast má vlastní transformátor středního napětí a je jednoznačně oddělená od ostatních oblastí. Uvnitř této oblasti provozovatel odpovídá za zajištění elektromagnetické slučitelnosti, která zajistí za stanovených podmínek bezchybnou funkci všech zařízení. Příkladem jsou speciální prostředí nákupních středisek, supermarketů, čerpacích stanic pohonných hmot, administrativních budov nebo skladů.

Bez kompromisů

Pokud je použit měnič kmitočtu, který nesplňuje parametry kategorie C1, zařízení musí být označeno varovným upozorněním. Tuto povinnost musí splnit uživatel nebo provozovatel. V případě rušení odborníci vždy zakládají eliminování rušení na limitech definovaných pro třídy A1/A2 a B v obecné normě EN 55011 podle provozního prostředí. Náklady na odstranění potíží s EMC nese provozovatel. Za správné přiřazení zařízení podle těchto dvou norem odpovídá v konečném důsledku sám uživatel.

Místo instalace je rozhodujícím faktorem

Limity pro jednotlivá prostředí jsou specifikovány normami, ale jak se zařízení přiřazují různým typům prostředí? Také zde poskytují normy EN 55011 a EN 61800-3 informace o systémech elektrických pohonů a jejich složkách.

1. prostředí/Třída B: Obytné prostředí

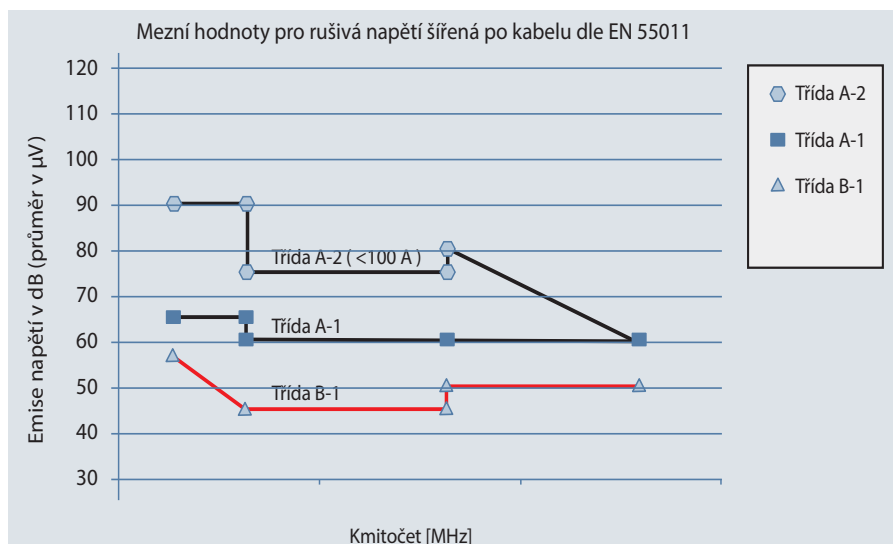
Všechna provozní místa přímo připojená k veřejné rozvodné síti nízkého napětí, včetně oblastí lehkého průmyslu, jsou klasifikována jako obytná nebo komerční prostředí.

Nejsou vybavena vlastními distribučními transformátory na vysoké nebo střední napětí pro samostatný síťový systém.

Klasifikace prostředí platí jak uvnitř, tak vně budov. Jako příklady mohou sloužit komerční prostory, obytné budovy a obytné prostředí, restaurace a rekreační zařízení, automobilová parkoviště, zábavní zařízení a sportovní zařízení.

2. prostředí/Třída A: Průmyslové prostředí

Průmyslová prostředí jsou provozní místa použití, která nejsou přímo napojena na veřejnou nízkonapěťovou



Praktické aspekty opatření k ochraně před el. sítí

Korekce účinníku

Zařízení pro korekci účinníku slouží k omezení fázového posunu (φ) mezi napětím a proudem a posouvá účinník blíže k hodnotě jedna ($\cos \varphi$). To je nezbytné, pokud je v elektrickém distribučním systému použito velké množství indukčních zatížení, například motorů nebo světel.

Podle konstrukce stejnosměrného meziobvodu měniče kmitočtu neodebírají ze systému sítě žádný jalový výkon nebo negenerují žádný fázový posun. Jejich $\cos \varphi$ je přibližně 1. Z tohoto důvodu je nemusí uživatelé motorů s řízením otáček brát při dimenzování zařízení pro korekci účinníku v úvahu. Nicméně proud odebíraný zařízením pro korekci účinníku stoupá, protože měniče kmitočtu generují harmonické. Zatížení kondenzátorů se zvyšuje s rostoucím počtem generátorů harmonických, a více se zahřívají. Z tohoto důvodu musí provozovatel do zařízení pro korekci účinníku umístit tlumivky. Tyto tlumivky dále zabrání rezonancím mezi induktancemi zatížení a kapacitancí zařízení pro korekce účinníku.

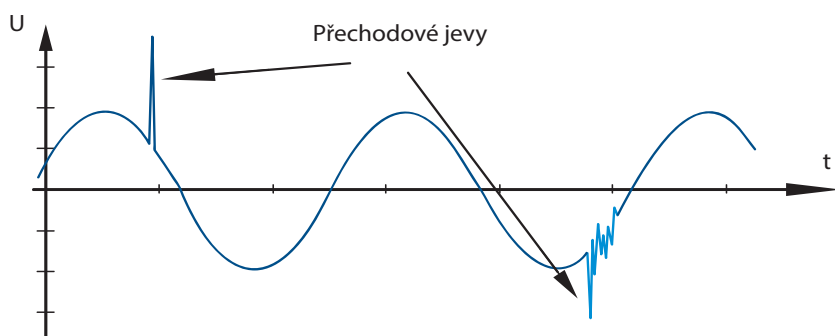
Převodníky s $\cos j < 1$ rovněž potřebují tlumivky v zařízení pro korekce účinníku. Uživatel musí vzít při dimenzování kabelů v úvahu vyšší úroveň jalového výkonu.

Přechodové jevy v napájecím napětí

Přechodové jevy jsou krátké napěťové špičky v řádu tisíců voltů. Objevují se ve všech typech energetických distribučních systémů, v průmyslovém i obytném prostředí.

Běžnou příčinou přechodových jevů jsou údery blesku. Jsou však také způsobeny spínáním velkých zátěží na síť nebo mimo síť nebo spínáním jiného zařízení, například zařízení pro korekci účinníku. Přechodové jevy mohou vyvolat rovněž zkraty, vypínání jističů v energetických distribučních systémech a induktivní vazbu mezi paralelně vedenými kabely.

Norma EN 61000-4-1 popisuje, jakou formu tyto přechodové jevy mají a kolik energie obsahují. Jejich škodlivé účinky lze omezit různými metodami. K zajištění ochrany proti vysokoenergetickým přechodovým jevům v první instanci slouží plynové bleskojistky a jiskřiště. Pro druhou úroveň ochrany používá většina elektronických zařízení k utlumení přechodových jevů napěťově závislé rezistory (varistory). Rovněž měniče kmitočtu využívají tuto metodu.



Údery blesku jsou nejčastější příčinou přechodových jevů v napájecím napětí ve vodárnách a čistíčkách odpadních vod.



Praktické aspekty provozu s transformátorem nebo záložním generátorem

Maximální zatížení transformátorů

Provozovatelé mohou v systémech nízkého napětí (400 V, 500 V a 690 V) používat pohony s regulací otáček až do výkonu cca 1 MW. Potřebné napájecí napětí je získáváno prostřednictvím transformátoru ze sítě středního napětí.

Ve veřejné rozvodné síti (prostředí 1: obytné prostředí) to je záležitostí energetické společnosti.

V průmyslových síťových systémech (prostředí 2: průmyslové prostředí; obvykle 500 V nebo 690 V) je transformátor umístěn v prostorách koncového uživatele, který je také odpovědný za dodávku energie do jeho zařízení.

Zatížení transformátoru

V případě transformátorů, které dodávají energii k napájení měničů kmitočtu, je nutné vzít v úvahu, že použití měničů kmitočtu a dalších usměrňovacích zátěží způsobuje generování harmonických, což dále zatěžuje transformátor jalovým výkonem.

To způsobí vyšší ztráty a další zahřívání. V nejhorším případě může dojít i ke zničení transformátoru. Inteligentní vektorové skupiny (několik transformátorů připojených společně) může také za určitých podmínek generovat harmonické.

Kvalita napájení

K zajištění kvality síťového napájení podle platných norem musíte vědět, jaké zatížení měničem kmitočtu transformátor zvládne.

Většina analytických programů, jako je software VLT® MCT 31 Harmonic Calculation, poskytuje přesnou indikaci, jaké zatížení měničem kmitočtu dokáže transformátor v konkrétním systému zvládnout.

Poznámka: Všechny měniče kmitočtu řady VLT® AQUA Drive mají standardně zabudované tlumivky na potlačení rušení sítě.

Provoz se záložním generátorem

Provozovatelé používají záložní napájecí systémy, když potřebují zajistit trvalý provoz zařízení napájených ze sítě i v případě poruchy napájení. Kromě toho se tato zařízení používají také tehdy, když dostupné připojení sítě neposkytuje dostatečný výkon. Je rovněž možný paralelní provoz s veřejnou rozvodnou sítí, aby se dosáhlo vyššího síťového výkonu. To je běžná praxe, když je zapotřebí také dodávka tepla, například u kombinovaných tepelných a napájecích jednotek. Ty využívají vysoké účinnosti, kterou je možné dosáhnout pomocí této formy konverze energie. Když je záložní napájení zajišťováno generátorem, impedance sítě je obvykle vyšší, než když je elektrická energie odebírána z veřejné sítě. Tím dochází ke zvýšení celkového harmonického zkreslení. Při správném návrhu mohou generátory pracovat v systému generátorů obsahujících harmonické.

V praxi to znamená, že když se systém přepne z napájení ze sítě na napájení z generátoru, harmonické zatížení se obvykle zvýší.

Projektanti a provozovatelé zařízení by měli vypočítat nebo změřit zvýšení harmonického zatížení, aby bylo zajištěno, že kvalita energie bude odpovídat předpisům, a tudíž se zabráni potížím a poruchám zařízení.

Je nutné zabránit asymetrickému zatížení generátoru, protože způsobí zvýšení ztrát a může vyvolat zvýšení celkového harmonického zkreslení. Střídavé uspořádání 5/6 vinutí generátoru utlumí 5. a 7. harmonickou složku, ale umožní zvýšení 3. harmonické složky. Střídavé uspořádání 2/3 omezí 3. harmonickou složku. Pokud je to možné, provozovatel by měl odpojit zařízení pro korekci účinníku, protože v systému může dojít k rezonancím.

Tlumivky nebo aktivní absorpční filtry mohou potlačit harmonické kmitočty. Paralelní odporové zatížení má také tlumivý efekt, zatímco kapacitní zatížení použité paralelně vytváří další zatížení způsobené nepředvídatelnými rezonancemi.

Pokud jsou tyto jevy vzaty v úvahu, síťový systém napájený z generátoru může napájet určitou část měničů kmitočtu při zachování zadané kvality napájení. Přesnější analýzu je možné provést pomocí softwaru pro analýzu sítě, například softwaru VLT® MCT 31 Harmonic Calculation.

Při provozu s generátory harmonických složek platí následující omezení:

Usměrňovače B2 a B6	→	max. 20 % jmenovitého zatížení generátoru
Usměrňovač B6 s tlumivkou	→	max. 20–35 % jmenovitého zatížení generátoru podle uspořádání
Řízený usměrňovač B6	→	max. 10 % jmenovitého zatížení generátoru

Výše uvedené údaje maximálního zatížení představují doporučené hodnoty založené na zkušenostech, které umožňují bezproblémový provoz zařízení.

Krok 2: Praktické aspekty okolní teploty a prostředí

Správné místo instalace

Maximální dobu provozu a dlouhou provozní životnost měničů kmitočtu je možné zajistit pouze při správném chlazení a čistém vzduchu.

Proto mají výběr místa instalace a podmínky instalace rozhodující vliv na životnost měniče kmitočtu.

Montáž do rozvaděče a montáž na stěnu

Neexistuje jednoznačná odpověď na otázku, zda je lepší umístit měnič kmitočtu do rozvaděče nebo na stěnu. Obě možnosti mají své výhody a nevýhody.

Umístění v rozvaděči poskytuje tu výhodu, že veškeré elektrické a elektronické komponenty se nachází blízko sebe a jsou chráněny krytím (rozvaděčem).

Rozvaděč je také dodáván jako plně sestavená jednotka pro instalaci v zařízení.

Nevýhodou je, že komponenty se mohou vzájemně ovlivňovat, protože jsou uvnitř rozvaděče blízko sebe, což znamená, že je třeba zvláště věnovat pozornost uspořádání rozvaděče splňujícímu požadavky na EMC. Kromě toho jsou vyšší investiční náklady na stíněné motorové kabely,

protože měnič kmitočtu a motor jsou obvykle výrazně dál od sebe než v případě místní instalace.

Montáž na stěnu je snadnější z hlediska splnění požadavků na EMC kvůli blízkému umístění měniče kmitočtu a motoru.

Stíněné motorové kabely jsou kratší a díky tomu představuje výrazně nižší náklady. Mírně vyšší náklady na měniče kmitočtu s krytím IP54 lze snadno pokrýt díky snížení nákladů na kabeláž a instalaci. Nicméně v praxi se kolem 70 % zařízení montuje do rozvaděče.

Poznámka:

Měniče kmitočtu Danfoss jsou k dispozici se třemi druhy ochranného krytí:

- IP00 nebo IP20 pro instalaci do rozvaděče
- IP54 nebo IP55 pro místní montáž
- krytí IP66 pro náročné okolní podmínky, jako je extrémně vysoká vlhkost (vzduchu) nebo vysoké koncentrace prachu nebo agresivních plynů.



Měniče kmitočtu lze instalovat centrálně (v rozvaděčích) nebo místně (v blízkosti motoru). Obě varianty mají své výhody i nevýhody.

Praktické aspekty krytí

Měniče s ochranou proti dotyku s krytím IP20 nebo 21 (vpravo) jsou určeny k montáži do rozvaděčů. Měniče s ochranou proti stříkající vodě s ochranným krytím IP54 nebo 55 (vlevo) jsou určeny k montáži na stěnu či do skříně.



Struktura krytí podle normy IEC 60529

		Proti proniknutí pevných cizích předmětů	Proti přístupu do nebezpečných částí
První číslice	0	(bez ochrany)	(bez ochrany)
	1	Průměr ≥ 50 mm	Hřbetem ruky
	2	Průměr 12,5 mm	Prstem
	3	Průměr 2,5 mm	Nástrojem
	4	Průměr $\geq 1,0$ mm	Vodičem
	5	Ochrana proti prachu	Vodičem
	6	Prachotěsný	Vodičem
		Proti vniknutí vody se škodlivými účinky	
Druhá číslice	0	(bez ochrany)	
	1	Vertikální pád z výšky	
	2	Pády pod úhlem 15°	
	3	Proud vody	
	4	Stříkající voda	
	5	Tryskající voda	
	6	Silně tryskající voda	
	7	Občasné ponoření	
	8	Dlouhodobé ponoření	
		Doplňující informace zvláště pro	
První číslice	A		Hřbetem ruky
	B		Prstem
	C		Nástrojem
	D		Vodičem
		Doplňující informace zvláště pro	
Další písmeno	H	Vysokonapětové zařízení	
	M	Pohyb během zkoušky ve vodě	
	S	Bez pohybu během zkoušky ve vodě	
	W	Povětrnostní podmínky	

Chybějící číslice se nahradí „X“.

Praktické aspekty konstrukce chlazení

Shoda se specifikacemi teploty okolí

Vnější klimatické podmínky a prostředí mají rozhodující vliv na chlazení všech elektrických a elektronických součástí v řídicí místnosti nebo rozvaděči.

Pro všechny měniče kmitočtu jsou specifikovány minimální a maximální okolní teploty. Tyto limity jsou obvykle určeny použitými elektronickými díly. Například pro elektrolytické kondenzátory, které jsou instalovány ve stejnosměrném meziobvodu, nesmí teplota okolí překročit určité meze kvůli závislosti kapacity těchto kondenzátorů na teplotě. Třebaže měniče kmitočtu fungují ještě při teplotách do $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, výrobci zaručují jejich správný provoz při jmenovitém zatížení teprve od $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. To znamená, že by se neměly používat v prostorách, které mohou zamrznout, například v neizolovaných místnostech.

Avšak ani maximální teplota by se neměla překračovat. Elektronické součásti jsou citlivé na teplo.

Podle Arrheniovy rovnice se zkracuje životnost elektronických součástí na polovinu na každých $10\text{ }^{\circ}\text{C}$, o které se překročí jejich provozní teplota. To se netýká jen zařízení instalovaných do rozvaděčů. Rovněž u zařízení ochranných tříd IP54, IP55 a IP66 nesmí teplota okolí překročit rozsahy uvedené v návodech k použití. To někdy vyžaduje klimatizaci místností nebo rozvaděčů použitých při instalaci. Vyloučení extrémních teplot okolí prodlužuje životnost měničů kmitočtu a tím i spolehlivost celého systému.

Chlazení

Měníče kmitočtu uvolňují energii ve formě tepla. Velikost ztrátového výkonu ve wattech je uvedena v technických údajích měničů kmitočtu. Provozovatelé by měli přijmout vhodná opatření k odvedení tepla uvolňovaného z měniče kmitočtu z rozvaděče, např. pomocí ventilátorů. Požadovaný průtok vzduchu je uveden v dokumentaci výrobce. Měníče kmitočtu je třeba namontovat tak, aby proud chladicího vzduchu mohl bez překážek proudit chladicími žebry zařízení.

Zvláště u zařízení IP20 v rozvaděcích existuje nebezpečí neadekvátního proudění vzduchu z důvodu komponent v rozvaděči umístěných blízko u sebe, které způsobují vytváření tepelných kapes. Správné montážní vzdálenosti, které je třeba vždy dodržet, najdete v návodech k použití.

Relativní vlhkost

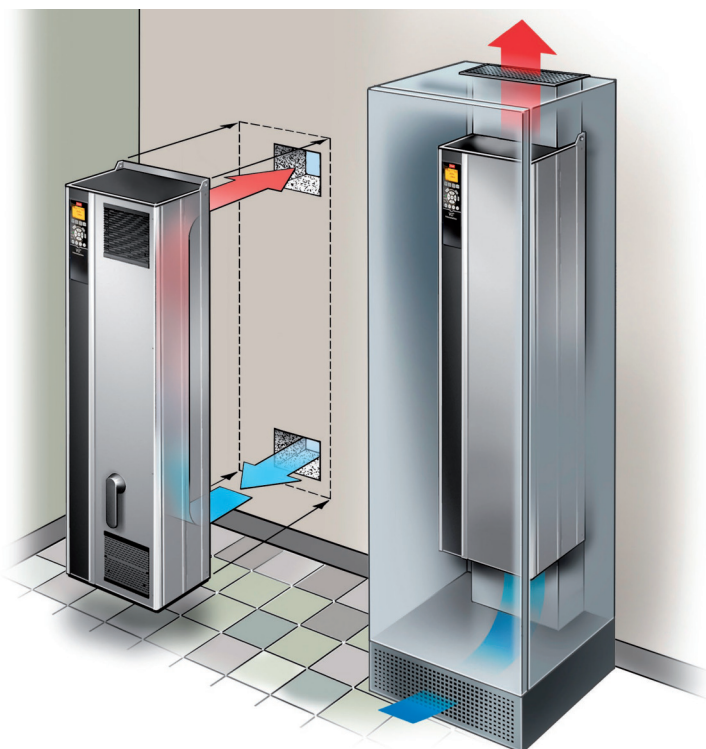
Ačkoliv měniče kmitočtu částečně fungují i při relativně vysoké vlhkosti vzduchu (měniče Danfoss až do 95% relativní vlhkosti), je třeba zamezit

kondenzaci. Riziko kondenzace existuje zvláště tehdy, když je měnič kmitočtu nebo některá z jeho komponent chladnější než okolní vlhký vzduch. V této situaci může na elektronických komponentách kondenzovat vlhkost ve vzduchu.

Při opětovném zapnutí zařízení mohou vodní kapky způsobit v zařízení zkraty. K tomu obvykle dochází jen tehdy, když jsou měniče kmitočtu odpojeny od sítě. Z tohoto důvodu je rozumné instalovat ohříváč rozvaděče v situacích, kdy hrozí reálná možnost kondenzace z důvodu okolních podmínek. Alternativně může pomoci ke snížení rizika kondenzace použití měniče kmitočtu v pohotovostním režimu (se zařízením trvale připojeným k síti). Je ale nutné ověřit, zda je ztrátový výkon dostatečný, aby udržel obvody v měniči v suchém stavu.

Poznámka: Někteří výrobci specifikují minimální vzdálenosti po stranách, a také nahoře a dole. Dodržujte tyto specifikace.

Inteligentní konstrukce chlazení u měničů kmitočtu VLT® odstraňuje až 85 % tepelných ztrát ze skříně zařízení prostřednictvím chladicích kanálů.



Praktické aspekty zvláštních požadavků

Parametry okolního prostředí	Jednotky	Třída				
		3C1	3C2		3C3	
			Průměrná hodnota	Max. hodnota	Průměrná hodnota	Max. hodnota
Mořská sůl	mg/m ³	Ne	Slaná mlha		Slaná mlha	
Oxidy síry	mg/ m ³	0,1	0,3	1,0	5,0	10
Sirovodík	mg/ m ³	0,01	0,1	0,5	3,0	10
Chlor	mg/ m ³	0,01	0,1	0,03	0,3	1,0
Chlorovodík	mg/ m ³	0,01	0,1	0,5	1,0	5,0
Fluorovodík	mg/ m ³	0,003	0,01	0,03	0,1	3,0
Amoniak	mg/ m ³	0,3	1,0	3,0	10	35
Ozon	mg/ m ³	0,01	0,05	0,1	0,1	0,3
Dusík	mg/ m ³	0,1	0,5	1,0	3,0	9,0

Klasifikace podle normy IEC 60721-3-3; průměrné hodnoty jsou předpokládané dlouhodobé hodnoty. Maximální hodnoty jsou přechodové špičkové hodnoty, které se neobjevují déle než 30 minut denně.

Agresivní ovzduší nebo plyny

Agresivní plyny, například sirovodík, chlor nebo čpavek, jsou často přítomné v čističkách odpadních vod nebo plaveckých bazénech. Kontaminace chladicího vzduchu může způsobit postupný rozklad elektronických komponent a spojů na deskách plošných spojů v měničích kmitočtu. Zvláště náchylná jsou k tomu elektronická zařízení v elektrických systémech nebo rozvaděcích. Dojde-li k takovéto kontaminaci okolního vzduchu, měl by projektant či provozovatel zajistit instalaci měniče na takovém místě, kde je kontaminace spolehlivě vyloučena (v jiné budově, zapouzdrěném rozvaděči

s výměníkem tepla, apod.), nebo by měl objednat takové přístroje, jejichž desky jsou opatřeny ochranným lakem odolným vůči agresivním plynům.

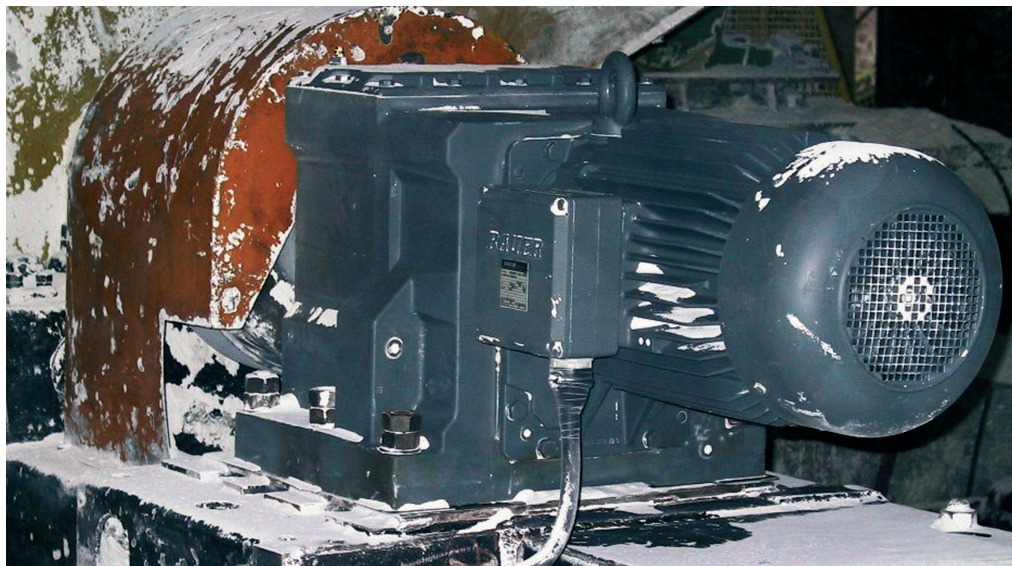
Zjevným příznakem agresivity okolního vzduchu je koroze mědi. Pokud se měď v krátkém čase zbarví tmavě, vytvoří puchýře nebo se dokonce rozloží, je nutné použít desky plošných spojů nebo zařízení s dodatečným lakováním. Specifická média a koncentrace médií, vůči kterým dokáže lakování odolávat, jsou popsány v mezinárodní normě IEC 60721-3-3.

Poznámka: Je nutné zvážit ve fázi návrhu a projektu, kudy bude přiváděn chladicí vzduch do elektronického zařízení.

Například v čističce odpadních vod nepřivádějte vzduch z přítokové oblasti a u plaveckého bazénu nepřivádějte vzduch z oblasti úpravy vody.

Poznámka: Měniče VLT® AQUA Drive jsou standardně opatřeny lakováním třídy 3C2.

Na vyžádání je k dispozici také lakování třídy 3C3.



Působení prachu

Instalace měničů kmitočtu v prostředích s vysokými koncentracemi prachu je v praxi často nevyhnutelná. Tento prach se usazuje všude a pronikne i do nejmenších mezer. Tím jsou postiženy nejenom místně namontované měniče (instalované na stěnách nebo ve skříních), které jsou opatřeny ochranným krytím IP55 nebo IP66, ale i měniče s ochranným krytím IP21 nebo IP20 namontované v rozvaděčích.

Při instalaci měničů kmitočtu v takovém prostředí je nutné brát v úvahu tři níže popsané aspekty.

Snížená účinnost chlazení

Prach se usazuje na povrchu zařízení a v jeho vnitřním prostoru na deskách a elektronických komponentách. Tyto usazeniny fungují jako izolační vrstvy a zabraňují přenosu tepla z komponent do okolního vzduchu. Tím se snižuje chladičí kapacita. Komponenty

se zahřívají. To způsobuje zrychlené stárnutí elektronických komponent a zkracuje se životnost dotčených měničů kmitočtu. Stejný jev nastane při usazení prachu na chladiči na zadní straně měniče kmitočtu.

Chladičí ventilátory

Proud vzduchu potřebný k chlazení měničů kmitočtu se vytváří chladičími ventilátory umístěným většinou v zadní stěně zařízení. Rotory ventilátorů jsou uloženy v malých ložiscích, do kterých vniká prach a působí v nich jako brusný prostředek. Důsledkem jsou výpadky ventilátorů vlivem poškozených ložisek.

Filtrační rohože

Především výkonné měniče kmitočtu jsou vybaveny chladičími ventilátory, které odvádí horký vzduch z vnitřního prostoru zařízení ven. Od určité velikosti jsou tyto ventilátory vybave-

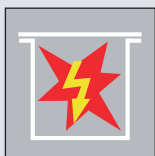
ny filtračními rohožemi, které zabráňují vniknutí prachu do zařízení. Při provozu ve vysoce prašném prostředí se tyto filtrační rohože rychle zanáší prachem a ventilátory tím pádem nemohou správně ochlazovat komponenty uvnitř měniče kmitočtu.

Poznámka: Za výše popsaných podmínek doporučujeme vyčistit měnič kmitočtu během pravidelné údržby. Vyfoukejte prach z chladiče a ventilátorů a vyčistěte filtrační rohože.

Praktické aspekty prostředí s nebezpečím výbuchu

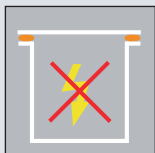
Prostředí s nebezpečím výbuchu

Ex d: Ochrana proti výbuchu



Při ochraně proti vznícení třídy d je zařízení konstruováno tak, aby bylo zajištěno, že pokud se v chráněné oblasti vytvoří jiskra (např. uvnitř krytí), nesmí opustit chráněnou oblast.

Ex e: Zvýšení bezpečnosti



Při ochraně proti vznícení třídy e spočívá ochrana v tom, že brání použití takové energie, aby mohla vytvořit jiskřinu.

Poznámka: Nikdy neinstalujte měnič kmitočtu přímo v oblasti s rizikem výbuchu. Instalace se musí provést mimo takovou oblast v rozvaděči. Doporučuje se rovněž použití sinusového filtru na výstupu měniče kmitočtu, protože filtr potlačuje rychlost růstu du/dt a špičkového napětí U_{peak} . Délku kabelu k motoru je třeba volit co možná nejkratší kvůli poklesu napětí v kabelu.

Poznámka: Měniče kmitočtu Danfoss VLT® AQUA Drive s doplňkem MCB 112 jsou vybaveny termistorovým snímačem certifikovaným PTB, který monitoruje potenciálně nebezpečná prostředí. Pokud se použijí měniče VLT® se sinusovými výstupními filtry, nejsou nutné stíněné kabely k motoru.

Pohonné systémy pracují často v prostředí s nebezpečím výbuchu. Jedním příkladem je přítoková oblast v čističce odpadních vod. Pokud se měniče kmitočtu používají k řízení otáček pohonů v takových oblastech, zařízení musí splňovat speciální podmínky. Základem je Směrnice EU 94/9/EC, která je označována jako Směrnice ATEX. Popisuje používání a provoz vybavení a ochranná zařízení v prostředí s nebezpečím výbuchu. Tato směrnice harmonizuje předpisy a požadavky v rámci EU týkající se provozu elektrických a elektronických zařízení v prostředí s nebezpečím výbuchu, například s výskytem prachu nebo plynů.

Pokud měniče kmitočtu řídí motory v prostředí s nebezpečím výbuchu, musí být tyto motory vybaveny sledováním teploty pomocí teplotních snímačů s termistory. Je možné použít motory s ochranou proti vznícení třídy d nebo e. Tyto třídy ochrany proti vznícení se liší tím, jak se brání vznícení výbušného média. V praxi se měniče kmitočtu jen zřídka používají s motory třídy e. Tato kombinaci musí být schválena jako jednotka, což vyžaduje složité a nákladné testování typu. Nicméně institut PTB v Braunschweigu (Německo) vyvinul nový schvalovací postup, který učiní používání regulátorů otáček s motory třídy e v budoucnu mnohem atraktivnějším.

Nová koncepce požaduje pouze schválení samotného motoru a dále specifikuje speciální požadavky na monitorování teploty během procesu certifikace pomocí typové zkoušky EC. Například, k obvyklému monitorování pomocí certifikovaného PTC termistoru je požadováno omezení proudu závislé na otáčkách, aby bylo kompenzováno snížené chlazení motorů s vlastní ventilací s řízením proměnných otáček.

Ačkoli k tomu není zapotřebí samostatné schválení motorů třídy d, zařazení kabelů do oblasti d je velmi složité. Nejčastěji se používají motory s třídou ochrany de. V tomto případě má motor sám třídu ochrany proti vznícení d, zatímco propojovací prostor je implementován ve shodě s třídou ochrany proti vznícení e. Omezení propojovacího prostoru e se sestává z maximálního napětí, které je možné do prostoru přivádět. Díky modulaci výstupního napětí šířkou pulzů má většina měničů kmitočtu špičková napětí, která převyšují povolené limity třídy ochrany proti vznícení e. V praxi se ukázalo, že účinným způsobem pro potlačení vysokých špičkových napětí je použití sinusového filtru na výstupu měniče kmitočtu.



Označování zařízení pro provoz v potenciálně výbušném prostředí podle Směrnice ATEX (94/9/EC)

Krok 3: Praktické aspekty motorů a kabeláže

Třídy minimální účinnosti motorů

Povinné minimální účinnosti

Klasifikace účinnosti se začala používat v roce 1998 jako výsledek dobrovolné iniciativy výboru SEMEP (European Committee of Manufacturers of Electrical Machines and Power Electronics).

Počínaje létem 2011 podléhají třífázové asynchronní motory v EU povinným standardům minimální účinnosti (MEPS). Předpisy EU postupně zpřísňují požadavky na účinnosti motorů až do roku 2017.

Tyto třídy minimální účinnosti, označované také jako minimální energetické standardy (MEPS), jsou založeny na mezinárodně uznávaných třídách účinnosti IE (IE = International Efficiency) definovaných v normě

IEC 60034-30. V některých případech jsou předepsané limity pro tyto třídy srovnatelné s třídami Eff běžně používanými v Evropě.

Třídy IE a Eff: velké rozdíly v detailech

Ačkoliv jsou mezní hodnoty dvou norem srovnatelné, liší se v základních metodách pro určení účinnosti. Účinnost tříd Eff je založena na stanovení individuálních ztrát (IEC 60034-2:1996), metodě staré 100 let. Naproti tomu je účinnost tříd Eff stanovena pomocí přesnější metody.

Výsledky naměřené pomocí metody používané pro třídy IE jsou obvykle o 2 až 3 % horší než u staré metody u výkonů do 10 kW a přibližně o 1 %

horší u výkonů 100 kW a vyšších. Norma bere tyto rozdíly v úvahu při harmonizaci tříd IE a Eff.

Kromě tříd IE1 až IE3 definovaných normou IEC 60034-30 definuje koncept normy IEC 60034-31 novou třídu: IE4. Třídy IE1 až IE3 jsou primárně orientovány na motory napájené ze sítě, zatímco třída IE4 rovněž bere v úvahu aspekty relevantní pro motory s proměnnými otáčkami.

Třída IE4 není v současnosti povinná; používá se pouze pro srovnání s ostatními třídami účinnosti.

IEC 60034-30	Třídy účinnosti
IE1 (standardní účinnost)	Srovnatelná s Eff2
IE2 (vysoká účinnost)	Srovnatelná s Eff1
IE3 (špičková účinnost)	Přibližně o 15–20 % lepší než IE2

Třídy účinnosti IE1–IE3 jsou definovány v mezinárodní normě IEC 60034-30. Třídy Eff jsou založeny na dobrovolné dohodě EU s CEMEP z roku 1998.

Dotčené třífázové motory

Shoda s požadavky MEPS je povinná pro následující typy třífázových motorů:

- doba zatížení S1 (spojité zatížení) nebo S3 (přerušované zatížení) s dobou zatížení větší než 80 %
- počet pólů 2 až 6, jmenovitý výkon 0,75 až 375 kW
- jmenovité napětí až 1 000 V

Zavedení MEPS má za cíl pomoci snížení spotřeby energie. Nicméně ve zřídka případech může mít tento přístup za následek zvýšení spotřeby energie. Z tohoto důvodu je v Nařízení EU č. 640/2009 uvedena řada technicky smysluplných výjimek pro různé oblasti použití.

Zahrnují:

- Motory používané v prostředí s nebezpečím výbuchu (dle definice ve Směrnici 94/9/EC) a brzdné motory.
- Speciální motory určené pro použití za jedné z níže uvedených provozních podmínek:
 - teploty okolí vyšší než 40 °C;
 - teploty okolí nižší než 15 °C (0 °C pro vzduchem chlazené motory); provozní teploty vyšší než 400 °C;
 - teploty chladicí vody nižší než 5 °C nebo vyšší než 25 °C;
- provoz v nadmořských výškách nad 1 000 m;

- motory, které jsou kompletně integrované do produktu, např. motorové převodovky, čerpadla nebo ventilátory, nebo takové (např. ponorná čerpadla), které jsou za provozu plně ponořeny do kapalného média.

V Evropě není motor motorové převodovky považován za integrální součást a měří se samostatně. Podobný způsob se používá pro speciální motory. Základní motor se ohodnotí a jeho třída účinnosti se pak přenáší na jeho varianty.

Praktické aspekty klasifikace IE motorů

Plán pro implementaci MEPS

Plán nařízení EU předpokládá postupné zvyšování požadavků na účinnosti motorů. Po naplánovaných datech budou muset všechny třífázové motory podléhající nařízení prodávané v Evropě splňovat požadavky specifikované třídy účinnosti.

Motory IE2 napájené měniči jsou rovněž akceptovány jako alternativa MEPS plánované třídy IE3. Shodu s

požadavky třídy IE3 nebo alternativou IE2 s měničem je nutné zajistit na místě instalace.

	Výkon	MEPS	Alternativa MEPS
Od 16. června 2011	0,75 – 375 kW	IE2	-
Od 1. ledna 2015	0,75 – 7,5 kW	IE2	-
	7,5 – 375 kW	IE3	IE2 s měničem
Od 1. ledna 2017	0,75 – 375 kW	IE3	IE2 s měničem

Plán pro implementaci MEPS

Shoda se specifikacemi montážních rozměrů podle normy EN 50347

Synchronní třífázové motory splňující požadavky třídy IE2 a IE3 jsou často větší než motory s nižší účinností. To může vést k potížím při nahrazování starších motorů.

Většina motorů IE2 splňuje výšku hřídele a montážní rozměry standar-

dizované normou EN 50347, ale konstrukční formát je často delší. V mnoha případech menší 50Hz motory třídy IE3 Premium nesplňují montážní

požadavky normy EN 50347. Provozovatelé zařízení tomu musí věnovat pozornost při výměně motorů. Alternativa k IE3: IE2 plus měnič.

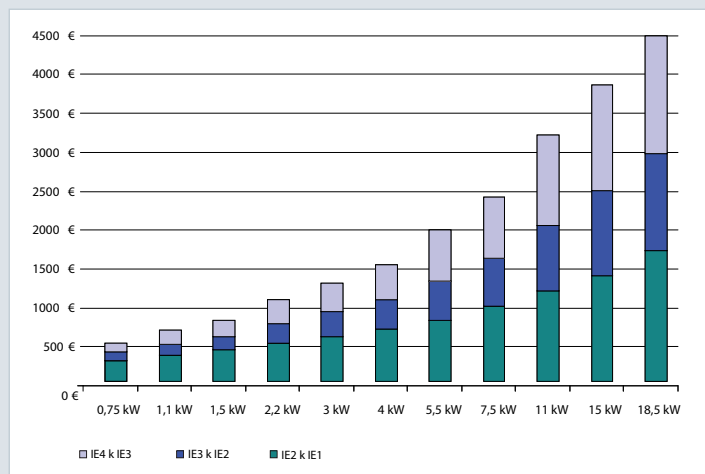
	Motor		
	IE1	IE2	IE3
Výška hřídele (EN 50347)	Ano	Ano	Větší
Upevňovací rozměry (EN 50347)	Ano	Ano	Větší
Délka motoru	Ano	Delší	Větší

Aktuálně se předpokládá, že synchronní třífázové motory třídy IE2 a IE3 nebudou splňovat montážní požadavky normy EN 50347.

Nákladová účinnost

Oprávněnou otázkou při zavádění motorů IE je: jak jsou cenově dostupné? Vyšší účinnosti je zčásti dosaženo zakomponováním většího dílu aktivních materiálů do motorů. Podle velikosti motoru lze předpokládat, že motor s lepší třídou účinnosti bude stát přibližně o 10 až 20 % více.

V praxi se tyto dodatečné náklady často rychle vrátí zpět. Následující schéma ukazuje úspory nákladů na energii u motoru IE v porovnání s motorem IE z následující třídy. Tato zjednodušená analýza je založena na nepřetržitém provozu při jmenovitém zatížení, po dobu 60 000 provozních hodin, a ceně elektrické energie 8 eurocentů za kilowatthodinu.



Výhoda z hlediska nákladů na energii motoru IE v porovnání s další třídou IE

Poznámka: Úplný text nařízení EU č. 640/2009 je možné bezplatně stáhnout z webu www.eur-lex.europa.eu.

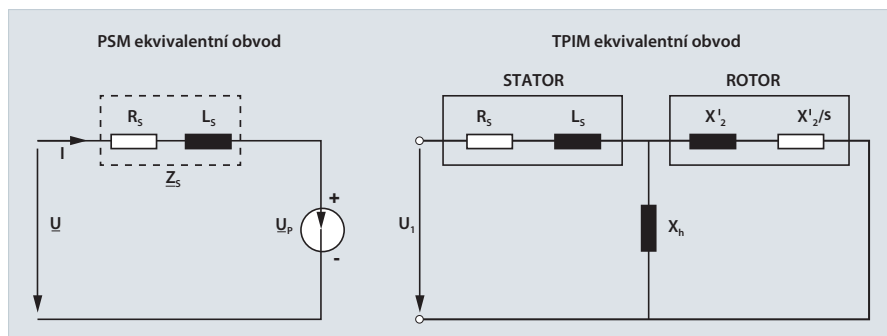
Praktické aspekty motorů EC a motorů s permanentním magnetem

Různé názvy stejné technologie

Je velmi složité zvýšit účinnost třífázového indukčního motoru (TPIM). Proto jsou dobrou alternativou synchronní motory s permanentním magnetem. Ve srovnání s indukčními motory nabízí podobnou účinnost (např. IE 3) a jsou výrazně kompaktnější.

V praxi se uživatelé setkávají s různými podkategoriemi těchto motorů s různými názvy. Zkratky PM (permanentní magnet) a PMSM (synchronní motor s permanentním magnetem) se často používají v průmyslu, zatímco označení EC (elektronicky komutované) a BLDC (stejnoseměrný bezkontaktní) se často používají v oblasti automatizace budov.

Různorodost a rozmanitost názvů pro označování motorů s permanentním magnetem lze ilustrovat pomocí motorů EC. Motory EC se obvykle používají jako servomotory nebo krokové motory v průmyslových aplikacích. V malém, kompaktním provedení pokrývají výkony přibližně až do 300 wattů. Nejčastějším napájecím napětím je 24 V. Situace je ovšem odlišná u ventilátorových systémů v automatizaci budov. Tam se jednofázové a třífázové motory EC používají v kompaktních ventilátorových jednotkách pro aplikace s výkony v řádu jednotek kilowattů.



Srovnání zjednodušených ekvivalentních obvodů ukazuje, že u motorů PM/EC prakticky nedochází ke ztrátám na rotoru. Výsledkem je vyšší úroveň účinnosti v porovnání s třífázovými motory.

Technologie

Díky zabudovaným permanentním magnetům nepotřebují trvale vybuzené motory samostatné excitační vinutí. Potřebují ovšem elektronický regulátor generující točivé pole. Provoz s připojením přímo k síti obecně není možný, nebo je v mnoha případech možný jen se sníženou účinností. Aby byl schopen pohánět motor, musí být regulátor (např. měnič kmitočtu) trvale schopen určit aktuální polohu rotoru. Používají se k tomu dvě metody, buď se zpětnou vazbou ohledně aktuální polohy rotoru poskytované snímačem nebo inkrementálním čidlem, nebo bez zpětné vazby.

Vysoká účinnost

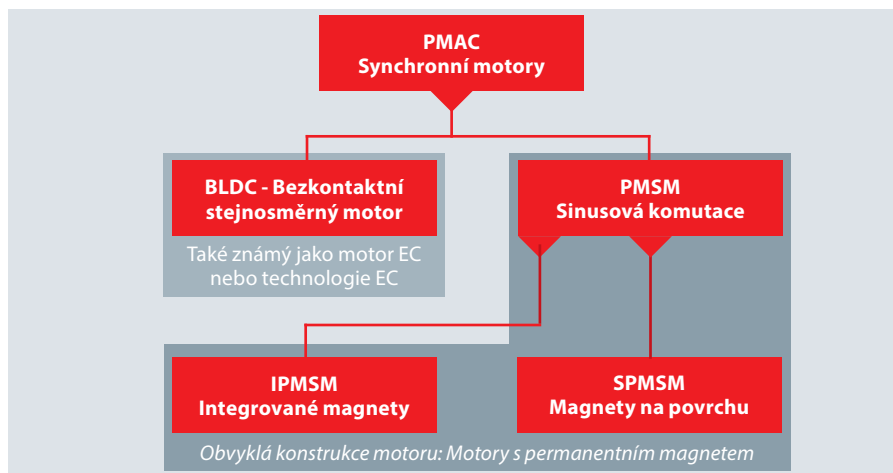
Použitím permanentních magnetů v rotoru se prakticky eliminují ztráty v motoru na rotoru. Výsledkem je zvýšení účinnosti.

Koncepce Danfoss EC⁺

umožňuje použít motory s permanentním magnetem se standardními rozměry IEC s měniči kmitočtu Danfoss VLT[®]. Společnost Danfoss integrovala potřebný řídicí algoritmus do stávající řady měničů VLT[®]. To znamená, že z hlediska obsluhy nedochází k žádným změnám. Po zadání příslušných údajů o motoru uživatel těží z vysoké účinnosti motoru s technologií EC.

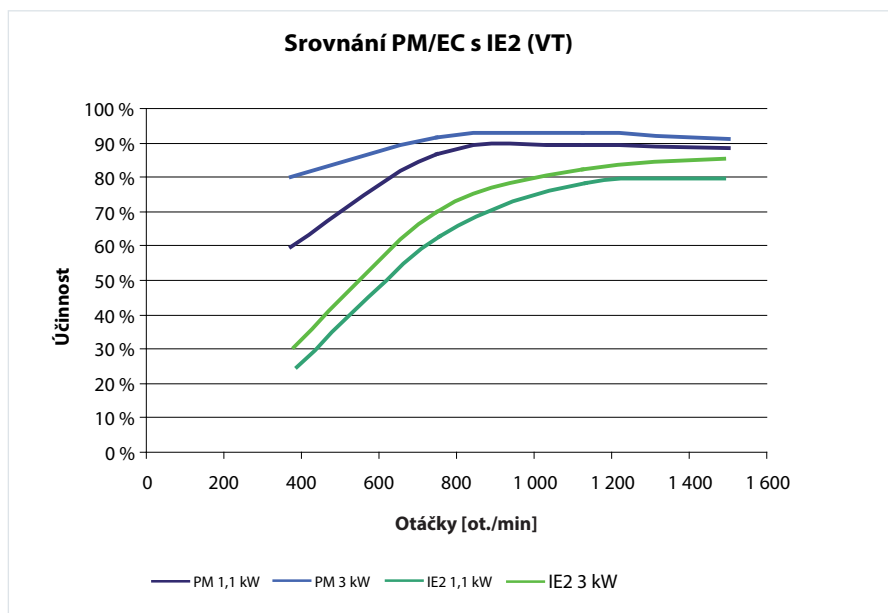
Výhody koncepce EC⁺

- Volný výběr technologie motoru: PM nebo asynchronní se stejným měničem kmitočtu
- Instalace a provoz zařízení zůstávají beze změn.
- Nezávislost výrobce ohledně výběru všech komponent
- Vynikající účinnost systému díky kombinaci jednotlivých komponent s optimální účinností
- Je možná dodatečná instalace do stávajících systémů.
- Celá řada jmenovitých výkonů pro standardní motory a motory s permanentním magnetem



PMAC = střídavý motor s permanentním magnetem; BLDC = bezkontaktní stejnosměrný; PMSM = synchronní motor s permanentním magnetem; IPMSM = vnitřní PMSM (integrované magnety); SPMSM = povrchový PMSM (magnety na rotoru)

Praktické aspekty motorů EC a motorů s permanentním magnetem



V diagramu jsou zobrazeny hodnoty naměřené nezávislým institutem. Ztráty požadované řídicí elektroniky jsou zahrnuty v údajích.

Aby se využila vysoká účinnost motorů s permanentním magnetem ve stávajících průmyslových aplikacích, jsou dnes motory s permanentním magnetem k dispozici ve standardních krytích motorů IEC. To umožňuje nahradit starší modely třífázových indukčních motorů (TPIM) ve stávajících systémech motory s vyšší účinností. Také to umožňuje strojírenským a výrobním firmám používat motory s vyšší účinností bez nutnosti konstrukčních změn stávajících strojů.

Z důvodů kompatibility jsou komerčně dostupné obě formy motorů s permanentním magnetem.

Možnost 1: Stejná velikost skříně

Motor PM/EC a TPIM mají stejnou velikost skříně.

Příklad: 3kW TPIM je možné nahradit motorem EC/PM stejné velikosti.

Možnost 2: Stejný jmenovitý výkon

Motor PM/EC a TPIM mají stejný výkon. Teoreticky je možné vyrobit motor PMSM menší než motor TPIM o srovnatelném výkonu. V závislosti na velikosti skříně je hustota výkonu motoru PM/EC přibližně 1,5- až 2krát větší než u motoru TPIM.

Příklad 1: 3kW motor TPIM je možné nahradit motorem EC/PM se stejnou velikostí skříně jako má 1,5kW motor.

Příklad 2: 3kW motor TPIM je možné nahradit motorem EC/PM se stejnou velikostí skříně a výkonem 6 kW.

K pohonu motoru PM/EC je ovšem vždy zapotřebí měnič kmitočtu.

Nadsynchronní provoz

Teoreticky je možné provozovat motory EC nebo motor s permanentním magnetem nad jmenovitým kmitočtem nebo jmenovitými otáčkami, pokud to výrobce povoluje. U motoru TPIM se to nazývá nadsynchronní provoz nebo provoz se zeslabením pole. Zeslabení pole umožňuje motoru pracovat ve vyšších otáčkách, ale s nižším výstupním momentem na hřídeli. Na rozdíl od motorů TPIM lze u motorů EC nebo u motorů s permanentním magnetem dosáhnout zeslabení pole pouze pomocí vhodných signálů měniče kmitočtu. Stejně jako u motorů TPIM se tím sníží výstupní moment na hřídeli.

Je nutné kontaktovat výrobce motoru a zjistit, zda je daný motor vhodný pro nadsynchronní provoz.

Pokud jde o měnič kmitočtu, nepředstavuje tento typ provozu žádný problém, pokud nepřekročí zpětná EMS (ElectroMotiveForce) generovaná motorem EC nebo motorem s permanentním magnetem povolené

napětí stejnosměrného meziobvodu měniče kmitočtu.

Například motor se zpětnou EMS 200 V při 1 000 ot./min je možné provozovat při otáčkách do 3 192 ot./min s měničem kmitočtu s maximálním povoleným napětím stejnosměrného meziobvodu 900 V. Přestože lze motor používat ještě při vyšších otáčkách, v této oblasti již hrozí riziko elektrického selhání měniče, protože napětí bude vyšší než 900 V. K tomu může dojít například v případě výpadku napájení.

Standardní krytí IEC

V mnoha aplikacích se používají třífázové indukční motory, jejichž instalační rozměry a velikosti skříně splňují požadavky normy IEC EN 50487 nebo IEC 72.

Nicméně až dosud se pro většinu motorů s permanentním magnetem používaly jiné typy konstrukce. Typickým příkladem jsou servomotory. Se svou kompaktní konstrukcí a dlouhými rotory jsou optimalizovány pro vysoce dynamické procesy.

Praktické aspekty vhodnosti motoru pro provoz měniče kmitočtu

Kritéria výběru

U motorů řízených měniči kmitočtu je vždy nutné vzít v úvahu následující aspekty:

- Nároky na izolaci
- Nároky na ložiska
- Teplotní zatížení

Nároky na izolaci

Provoz motoru s frekvenční regulací více zatěžuje vinutí motoru než při přímém připojení k elektrické síti. Primárně je to způsobeno strmými hranami impulzů (du/dt) a kabelem motoru, tj. délkou, typem, vedením kabelu a podobně.

Strmé hrany impulzů jsou výsledkem rychle spínajících polovodičových zařízení ve stupni střídače měniče kmitočtu. Pracují s vysokým spínacím kmitočtem v rozsahu 2–20 kHz a s velmi krátkými spínacími časy z důvodu napodobení sinusového průběhu.

V kombinaci s motorovým kabelem jsou strmé hrany impulzů odpovědné za následující jevy v motoru:

- Vysoké napěťové impulzy U_{LL} na svorkách motoru zvyšují namáhání izolace mezi vinutími.

- Vyšší napěťové impulzy mezi vinutími a plechy $\dot{U}_{LE}$ zvyšují namáhání izolace slotu.
- Vyšší napětí mezi vinutími $\dot{U}_{wdg}$ významně zvyšují namáhání izolace vodiče ve vinutích.

Nároky na ložiska

Za nepříznivých okolností se může stát, že motory s frekvenční regulací s poškozenými ložisky vypadnou v důsledku ložiskových proudů.

Ložiskový proud poteče tehdy, když se na mazací drážce ložiska vyskytne elektrické napětí, které je dostatečně vysoké na to, aby prorazilo izolaci mazacího prostředku. Pokud se takovýto případ vyskytne, upozorní na tuto situaci hluk, který se ozývá z poškozených ložisek. Mezi ložiskové proudy patří vysokofrekvenční cirkulační proudy, zemní proudy a EMD proudy (jiskrová eroze).

Následující faktory určují, který z těchto proudů může způsobit poškození ložisek:

- Síťové napětí na vstupu měniče kmitočtu
- Strmost hran impulzů (du/dt)
- Druh motorových kabelů
- Elektrická stínění

- Uzemnění systému
- Velikost motoru
- Uzemňovací systém pouzdra motoru a hřídele motoru

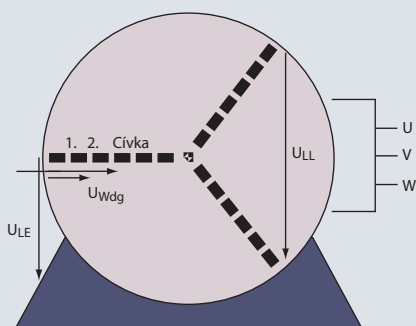
Ložiskové proudy je možné snížit realizací následujících opatření:

- instalací výstupních filtrů (výstupní tlumivky, du/dt filtry nebo sinusové filtry),
- instalací elektricky izolovaných ložisek,
- řádným uzemněním všech kovových komponent systému pomocí nízkaimpedančních spojení,
- stíněnými kabely motoru,
- instalací filtru potlačujícího stejnosměrný proud.

Teplotní zatížení

Provoz s měničem kmitočtu zvyšuje ztrátový výkon v motoru. Další harmonická složka způsobí ztráty v železe a tepelné ztráty ve statoru a rotoru. Velikost ztrát závisí na amplitudě a kmitočtu harmonické složky proudu měniče kmitočtu. Další tepelné ztráty v rotoru závisí na geometrii slotu. Ztráty v železe a tepelné ztráty v motoru nejsou závislé na zatížení. Další ztráty v motoru způsobí vyšší tepelné zatížení izolace vinutí. U moderních měničů kmitočtu je však dodatečný ohřev standardních motorů (do velikosti skříně 315) srovnatelný s dodatečným ohříváním způsobeným tolerancemi napětí sítě, a je tudíž zanedbatelný. Výrobci někdy specifikují faktor odlehčení pro transstandardní motory (velikost skříně 355 a vyšší).

Pokud měnič není schopen vygenerovat úplné síťové napětí při jmenovitém kmitočtu sítě, doporučujeme vybrat motor s izolací třídy F. Provoz motoru při napětí nižším než při přímém připojení na síť zvyšuje teplotu motoru až o 10 K.



Napěťové impulzy se objevují na svorkách motoru (U_{LL}) a mezi vinutími a svazkem plechů (U_{LE}). Dochází také k napětovému namáhání mezi vinutími (U_{wdg}).

Poznámka: Vyžádejte si od výrobce motoru potvrzení, že je motor určen pro provoz s měničem kmitočtu, a potvrzení o povoleném rozsahu provozních otáček za minutu (minimální a maximální otáčky).

Poznámka: Ložiskové proudy jsou důsledkem činnosti celého systému složeného z měniče kmitočtu, motoru, kabelu a uzemnění. Norma IEC 60034-17 doporučuje podniknout preventivní opatření při výškách hřídele 315 mm (přibližně 132 kW) a vyšších.

Praktické aspekty výstupních filtrů



Sinusové filtry a du/dt filtry

Mezi doplňkové výstupní filtry patří sinusové a du/dt filtry. Na rozdíl od sinusových filtrů mají du/dt filtry za úkol pouze snížení strmosti hran impulzů. Jejich konstrukce je jednodušší než u sinusových filtrů (nižší indukance a kapacitance), a jsou tudíž levnější.

Sinusové filtry, nazývané též motorové filtry nebo LC filtry, je možné volitelně používat na výstupní straně měničů kmitočtu. Vyhlažují obdélníkové napěťové impulzy na výstupu a převádí je na téměř sinusové výstupní napětí.

Funkce a úkoly sinusových filtrů

- Snížení rychlosti růstu napětí (du/dt) na svorkách motoru
- Snížení špičkového napětí $\hat{U}_{LL}$
- Snížení hlučnosti motoru

- Možnost použití delších motorových kabelů
- Zlepšení charakteristik EMC
- Pokud jsou sinusové filtry použity s měniči kmitočtu Danfoss, umožňují provoz s nestíněnými motorovými kabely v souladu s požadavky normy EN 61800-3, kategorie RFI C2.

Kdy se používají sinusové filtry?

- U čerpadel pracujících v mokřem prostředí
- S velmi dlouhými motorovými kabely (včetně situací, kdy to je zapotřebí kvůli paralelnímu provozu)
- U studnových čerpadel
- S motory postrádajícími kvalitní izolaci mezi vinutími
- Kdykoli nejsou použity standardní motory (zeptajte se výrobce motoru)

Dodatečné vybavení

Když provozovatel systému upgraduje staré motory, které byly předtím připojené přímo k el. síti – jejich převedením na otáčkově řízený provoz a dodatečnou instalací měniče kmitočtu – vždy bude rozumné použít sinusový filtr, kromě případu, kdy je v technickém listu motoru uvedeno, že vinutí je určeno pro provoz s měničem kmitočtu.

Při renovacích je často výhodné vyměnit staré, neefektivní motory za nové, úsporné motory. V takových případech nebude samostatný sinusový filtr zapotřebí. Nové motory se obvykle velmi rychle zaplatí díky snížení nákladů na energii.

	du/dt filtr	Sinusový filtr	Soufázový filtr
Namáhání izolace motoru	Snížené – lze použít delší motorové kabely	Snížené – lze použít delší motorové kabely	Žádné snížení
Namáhání ložisek motoru	Mírně snižuje	Snížené krátké rušivé impulzy, ale nikoli synchronní proudy	Omezené synchronní proudy
Elektromagnetická kompatibilita	Odstraňuje harmonické kmitočty v motorovém kabelu. Žádné změny třídy EMC	Odstraňuje harmonické kmitočty v motorovém kabelu. Žádné změny třídy EMC	Omezení vysokofrekvenčních emisí (vyšších než 1 MHz). Žádné změny třídy EMC
Max. délka motorového kabelu, vyhovuje EMC	Závisí na výrobci FC 202: max. 150 m stíněný	Závisí na výrobci FC 202: max. 150 m stíněný nebo max. 300 m nestíněný	Závisí na výrobci FC 202: max. 150 m stíněný
Max. délka motorového kabelu, nevyhovuje EMC	Závisí na výrobci FC 202: max. 150 m nestíněný	Závisí na výrobci FC 202: max. 500 m nestíněný	Závisí na výrobci FC 202: max. 300 m nestíněný
Hluk motoru při spínacím kmitočtu	Žádný vliv	Omezený	Žádný vliv
Relativní velikost (k měniči)	15–50 % (závisí na výkonu)	100 %	5–15 %
Pokles napětí	0,5 %	4–10 %	Žádný

Praktické aspekty motorových kabelů

Jmenovité napětí

V motorovém kabelu vznikají napěťové špičky, které představují až trojnásobek napětí stejnosměrného meziobvodu měniče kmitočtu. Tyto špičky silně zatěžují kabel motoru a izolaci motoru. Zatížení je vyšší tehdy, když na výstupu měniče není zapojen žádný du/dt nebo sinusový filtr.

Z tohoto důvodu by měla být specifikace jmenovitého napětí motorových kabelů nejméně $U_0/U = 0,6/1$ kV. Kabely této třídy vydrží zpravidla zkoušku vysokým napětím o hodnotě nejméně 3 500 V AC, většinou ale 4 000 V AC, a v praxi se osvědčily jako odolné vůči průrazu.

Dimenzování kabelů

Potřebný průřez motorového kabelu závisí na výstupním proudu měniče kmitočtu, teplotě okolí a typu instalace kabelu. Předimenzování průřezu kabelu kvůli harmonickým není nutné.

Proudové kapacity pro volbu a dimenzování kabelů a vodičů jsou obsažené v normě EN 60204-1 a VDE 0113-1 pro průřezy až do 120 mm². Pokud jsou nutné větší průřezy kabelů, užitečné informace jsou obsaženy v normě VDE 0298-4.

Délka motorového kabelu

V oblasti vodárenství a zpracování odpadních vod se často používají dlouhé motorové kabely. Měníče kmitočtu a čerpadla jsou často instalovány dále než 100 m od sebe. V takových případech je při dimenzování kabelů potřeba vzít v úvahu pokles napětí v kabelu.

Systém je třeba projektovat tak, aby i při dlouhých motorových kabelech šlo do motoru celé výstupní napětí. Délka motorového kabelu, který může být připojen ke standardnímu měniči kmitočtu, je obvykle 50 až 100 metrů. I při takových délkách kabelu nedokážou produkty některých výrobců poskytovat motoru plné výstupní napětí.

Pokud uživatelé potřebují kabely delší než 100 m, existuje pouze několik výrobců, kteří splní tento požadavek se standardními produkty. Jinak je třeba použít doplňkové tlumivky nebo výstupní filtry.

Úspory energie

Pokles napětí v motorovém kabelu a výsledný rozptyl tepla je téměř úměrný délce kabelu a závisí rovněž na kmitočtu.

Proto byste měli používat co nejkratší kabel a dimenzovat průřezy jen tak, jak je elektricky nutné.

Kabel s vhodným stíněním

Stíněné kabely by měly být pokryty stíněním alespoň z 80 %. Příklady vhodných druhů kabelů:

- Lapp Ölflex 100-CY
- Helu Y-CY-JB
- Helu Topflex-EMV-UV-2YSLCYK-J

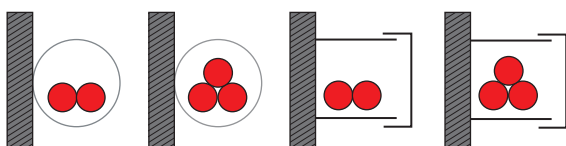
Poznámka: Ohledně délky kabelů, které je možné připojit k měniči kmitočtu, a očekávaného poklesu napětí, se informujte u výrobce.

Ke standardnímu měniči kmitočtu VLT® AQUA Drive je možné připojit stíněný kabel o délce max. 150 m nebo nestíněný kabel o délce max. 300 m a dostat do motoru plné napětí.

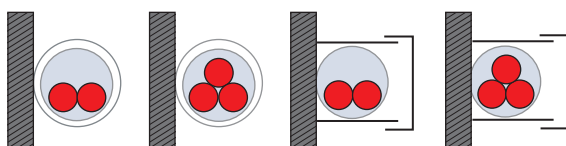
Jmenovitý proud [A] PVC kabelu při teplotě okolí 40 °C

mm ²	B1	B2	C	E
1	10,3	10,1	11,7	12,4
1,5	13,5	13,1	15,2	16,1
2	18,3	17,4	21,0	22,0
4	24,0	23,0	28,0	30,0
6	31	30,0	36,0	37,0
10	44,0	40,0	50,0	52,0
16	59,0	54,0	66,0	70,0
25	77,0	70,0	84,0	88,0

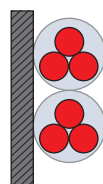
Výtah z normy EN 60204-1 týkající se jmenovitého proudu různých průřezů kabelů



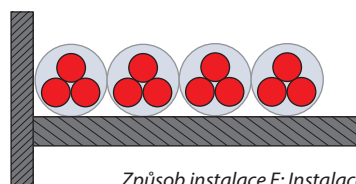
Způsob instalace B1: Vodiče v kabelovodu nebo v uzavřených kabelových vedeních



Způsob instalace B2: Vícežilový kabel nebo vícežilový opláštěný kabel v kabelovodu nebo v uzavřených kabelových vedeních



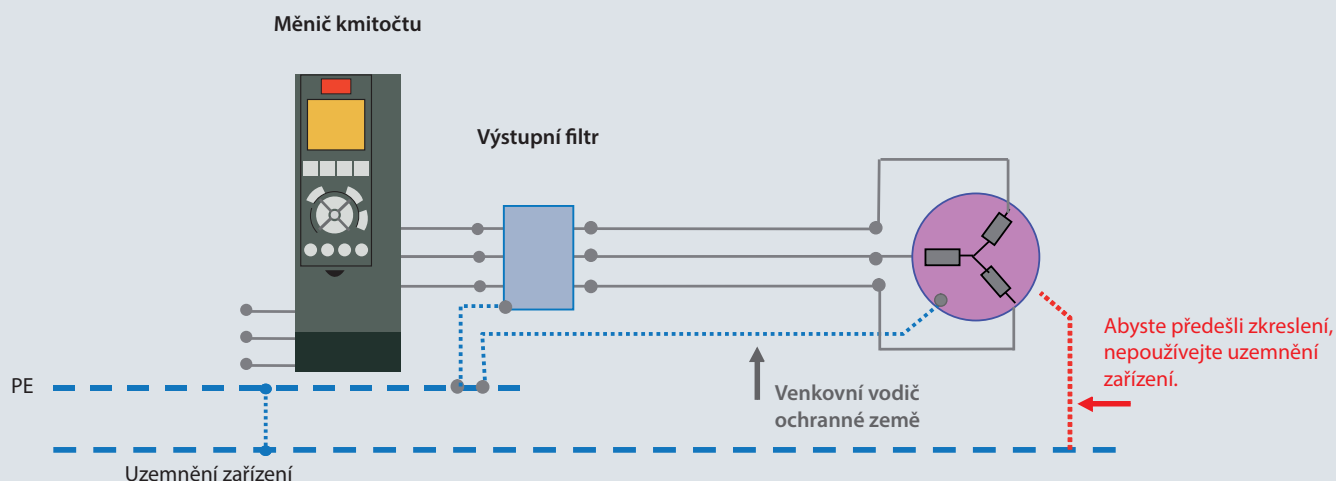
Způsob instalace C: Přímá instalace na stěnách nebo ve stěnách, na stropě nebo ve stropě, nebo v kabelových lávkách



Způsob instalace E: Instalace ve volném prostředí nebo v kabelových lávkách

Praktické aspekty uzemnění

Význam uzemnění



Pro každý systém nebo zařízení je nutné vytvořit plán uzemnění.

Uzemnění je všeobecně naprosto nezbytné, aby se dodržely zákonné předpisy EMC a směrnice pro zařízení s nízkým napětím. Uzemnění je předpokladem účinného využití dalších opatření, např. stínění a filtrů. Další opatření nemají bez kvalitního uzemnění smysl. Z tohoto důvodu je nutné uzemnění zkontrolovat a ověřit správnou implementaci EMC předtím, než bude použito stínění nebo filtry, a jako první krok odstraňování závad.

Elektricky vodivé materiály

Provozovatelé musí dbát na to, aby kovové plochy byly uzemněny pomocí vodičů s nízkou impedancí. Z hlediska EMC není rozhodujícím faktorem průřez vodiče, ale jeho povrch, protože vysokofrekvenční proudy tečou díky povrchovému jevu po povrchu. Schopnost odvádět svodové proudy je limitována částí s nejmenším povrchem vodiče. Uzemněné povrchy mají stínicí účinek a snižují amplitudu okolních elektromagnetických polí.

Systém uzemnění s konfigurací hvězda

Všechny uzemněné body a komponenty je třeba spojit co nejkratší cestou s centrálním zemnicím bodem, např. lištou pro vyrovnání potenciálů. Tím vzniká uzemňovací systém, který spojuje hvězdicovým způsobem všechna přípojná místa se zemnicím bodem. Tento zemnicí bod je třeba jednoznačně definovat.

Kontaktní místa

Po odstranění nátěru a koroze je potřeba provést připojení ke kontaktním bodům pomocí velké oblasti povrchu. Ozubené podložky jsou pro tento účel vhodnější než rovné podložky. Je třeba přednostně používat pocínované, pozinkované nebo kadmiované komponenty, nikoliv barvené komponenty. V konektorech je nutné zajistit více kontaktů pro připojení stínění.

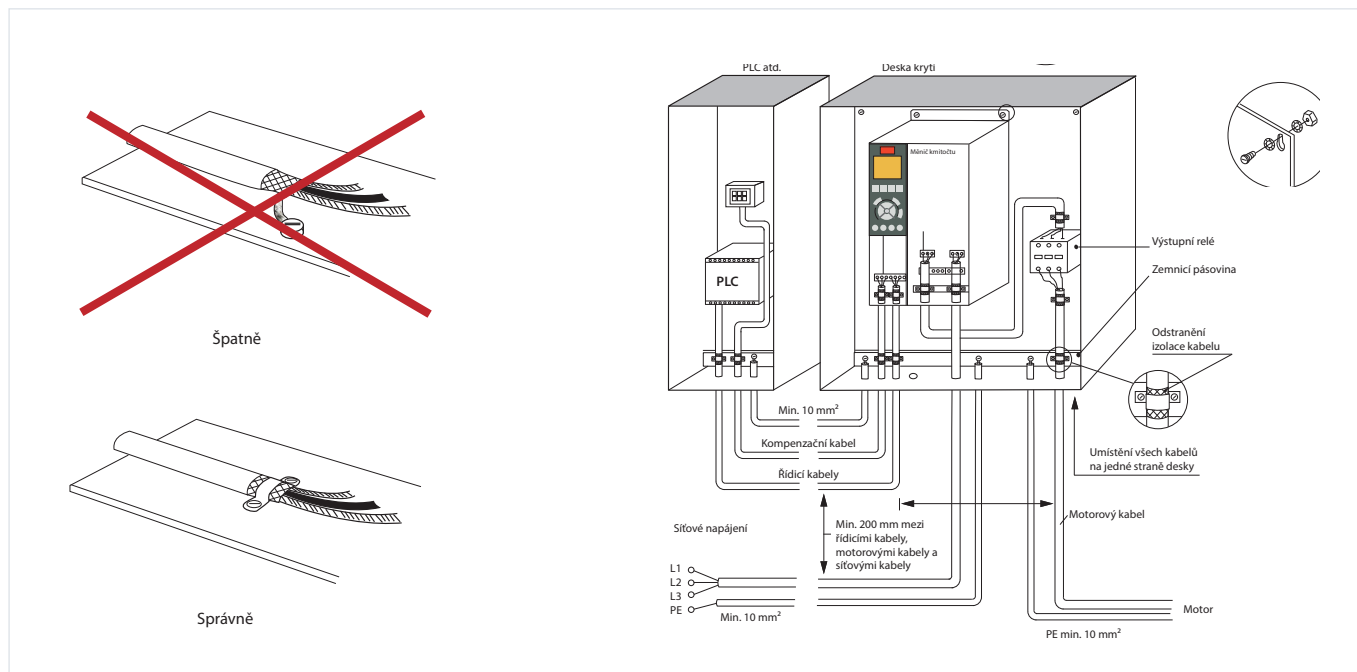
Povrch vodiče

Velké vodivé plochy k odvádění vysokofrekvenčních proudů je možné získat pomocí jemně stáčeného kabelu, např. vysoce pružného přístrojového kabelu nebo speciálními uzemňovacími páskami nebo kabely. Dnes se v praxi často používají opletené uzemňovací pásy; nahrazují neohebné vodiče používané v minulosti. Tyto pásy mají výrazně větší povrch se stejným průřezem.

Poznámka: Uzemnění systému má podstatný vliv na plynulý, bezproblémový provoz zařízení. Je třeba zabránit vzniku zemních smyček. Zásadním předpokladem je dobré vyrovnání potenciálů. Vhodný plán uzemnění připravte již ve stádiu návrhu a projektu.

Praktické aspekty stínění

Význam stínění



Stínění slouží ke snížení vyzařovaného rušení (které může ovlivnit sousední systémy nebo komponenty) a ke zlepšení odolnosti jednotlivých zařízení vůči rušení (odolnost vůči rušení od externích zdrojů).

Implementace stínění do stávajících systémů (např. výměna kabelu nebo další krytí) je možná pouze za vynaložení značných výdajů. K dodržení zákonem stanovených mezních hodnot dodává zpravidla výrobce měničů kmitočtu odpovídající informace zahrnující také informace o dalších nezbytných opatřeních, např. stíněných kabelech.

Měniče kmitočtu generují na výstupu impulzy se strmými hranami. Tyto impulzy obsahují vysokofrekvenční komponenty (zasahují do řádu GHz), které způsobují nežádoucí vyzařování z motorového kabelu. Proto je nutné použít stíněné motorové kabely. Smyslem stínění je „zachycovat“ vysokofrekvenční komponenty a odvádět je zpátky do

zdroje rušení, v tomto případě měniče kmitočtu.

Stíněné kabely a vodiče

Ani dobré stínění, které zaručí dodržení předepsaných mezních hodnot, záření nevyloučí. V oblasti blízkého pole lze očekávat elektromagnetická pole, kterým musí komponenty a systémové moduly v tomto prostředí odolávat bez jakéhokoli zhoršení parametrů jejich provozu. Norma zde vyžaduje dodržení mezních hodnot v dané vzdálenosti (např. třída B znamená úroveň rušení 30 dB ve vzdálenosti 10 m). Z hlediska povolených mezních hodnot rozlišuje norma mezi použitím v 1. (obytné prostředí) a 2. prostředí (průmyslové prostředí). Podrobné informace jsou uvedeny v části „Místo instalace je rozhodujícím faktorem“ této příručky na straně 22.

Připojení stínění

Stínění kabelu musí být připojeno kolem dokola, aby bylo dosaženo účinného stínění. K tomuto účelu

lze použít (zemnicí) kabelová hrdla splňující požadavky EMC nebo zemnicí kabelové svorky. Ty úplně obalují stínění a připojují ho k zemi na velké ploše. Stínění musí být vedeno přímo k zemnicímu bodu a připevněno svorkami na velké ploše, a připojení musí být na obou koncích kabelu co nejkratší.

Všechny ostatní metody připojení snižují účinnost stínění. Uživatelé často stínění na konci kabelu stočí a spojí ho přes svorku s kostrou. Tento způsob připojení vytvoří vysokou přenosovou impedanci pro vysokofrekvenční signálové komponenty, což způsobuje vyzařování rušení ze stínění, místo aby se vracelo zpátky do zdroje. V důsledku toho může být stínicí účinek snížen až o 90 %.

Mezery ve stínění

Prerušení stínění, např. svorky, spínače nebo jističe, je třeba přemostit vodiči s co nejnižší impedancí a co největší plochou.

Praktické aspekty stínění

Spojení se zemí

Spojení stínění s kostrou má zásadní vliv na jeho účinnost. Z tohoto důvodu je nutné umístit pod montážní šrouby krytí ozubené podložky nebo rozdělené podložky a lakované povrchy musí být očištěny, aby byl zajištěn kontakt s nízkou impedancí. Například eloxovaná hliníková krytí poskytují neadekvátní uzemnění, jestliže jsou pod upevňovacími šrouby použity rovné podložky. Uzemňovací vedení by měla být vytvořena z kabelu o velkém průřezu nebo ještě lépe z uzemňovacího kabelu s více jádry. Pokud se u motorů s nízkým výkonem použijí kabely o průřezu menším než 10 mm^2 , je třeba propojit motor s měničem samostatným PE vodičem o průřezu nejméně 10 mm^2 .

Napájecí kabel motoru

Aby se dodržely limity vysokofrekvenčního rušení, je třeba propojit měniče kmitočtu s motory pomocí stíněných kabelů se stíněním připojeným k vybavení **na obou koncích**.

Signálový kabel

Vzdálenost mezi motorovým kabelem a signálovým kabelem musí být větší než 20 cm, síťový kabel a motorový kabel by měly být vedeny co nejvíce odděleně. Efekty rušení se výrazně snižují s rostoucí vzdáleností. U menších vzdáleností jsou důležitá další opatření (např. dělicí pásy). Jinak by mohlo dojít ke spojení nebo přenosu rušení.

Stínění řídicích kabelů musí být na obou koncích připojená stejně jako stínění motorových kabelů. Ve výjimečných případech je možné v praxi použít jednostranné uzemnění. To se však nedoporučuje.

Typy stínění

Výrobci měničů kmitočtu doporučují použít ke stínění kabelů mezi měničem kmitočtu a motorem stíněný kabel. Pro jeho volbu jsou důležité dva faktory: pokrytí stíněním a druh stínění.

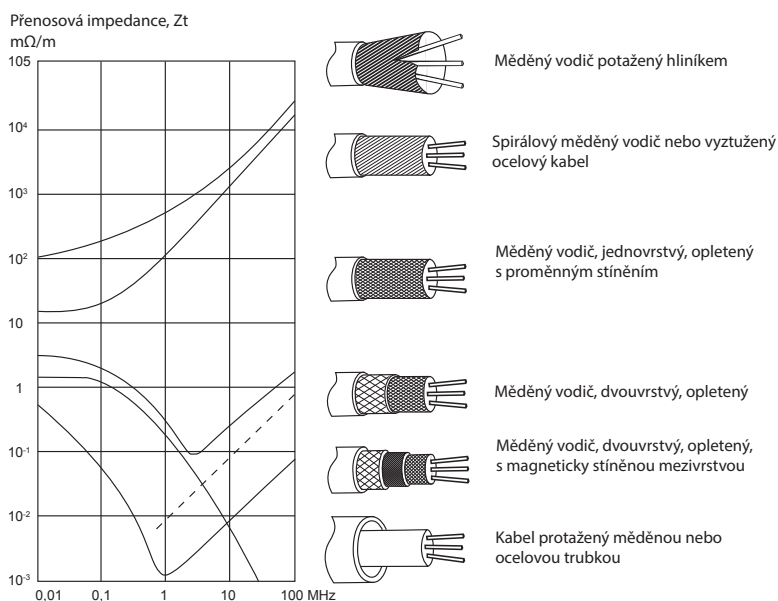
Pokrytí stíněním, tj. stíněním obložená plocha kabelu, by mělo činit nejméně 80 % celkové povrchové plochy kabelu.

V praxi se jako mimořádně účinný typ stínění ukázalo stínění jednou vrstvou měděného opletení. Důležité je, aby bylo stínění v pleteném provedení. Stínění provedené omotáním měděného drátu (např. typu NYCWY) se vyznačuje naproti tomu tím, že značné délky lanka zůstávají nepokryté a tím pádem zde může unikat vysokofrekvenční záření. Plocha povrchu pro svodové proudy je rovněž výrazně menší.

Stínění je k dispozici ve velkoobjemovém provedení pro dodatečnou instalaci. Může se natáhnout na kabel, aby poskytlo požadovaný stínicí efekt. Pro krátká spojení je možné jako alternativu použít kovové hadice nebo trubky. Kabelové kanály mohou nahradit stínění pouze za určitých podmínek (kanál nesmí propouštět vysokofrekvenční záření, musí být zajištěno dobré vodivé spojení krytu a bočnic kanálu s kostrou).

Kabel s dvojitým stíněním dále zlepšuje tlumení rušivého vyzařování. Propojení stínění s kostrou se provádí u vnitřního stínění na jedné straně a u vnějšího stínění na obou stranách. Zkroucené vodiče snižují magnetická pole.

Pro signálová vedení lze použít stíněné kabely se zkroucenými vodiči. Útlum magnetických polí se při jednoduchém stínění zvýší asi o 30 dB, při dvojitým stíněním asi o 60 dB a při dodatečném zkroucení vodičů o cca 75 dB.



Existuje mnoho typů stíněných kabelů. Pouze některé z nich jsou vhodné pro použití s měniči kmitočtu.

Krok 4: Praktické aspekty výběru měniče kmitočtu

Základní návrh

V praxi projektanti a provozovatelé často vybírají měniče kmitočtu výhradně na základě jmenovitého výkonu v kilowattech. Měníč kmitočtu je však vždy třeba vybrat na základě skutečného jmenovitého proudu motoru I_{nom} při maximálním zatížení systému. Toto výběrové kritérium je spolehlivější, protože výkon motoru závisí místo na elektrickém příkonu na mechanickém zatížení hřídele.

V úvahu se také nebere účinnost motoru. Naproti tomu je jmenovitá kapacita měničů kmitočtu (v kilowattech) založená na jmenovitém výkonu P_{nom} čtyřpólových motorů.

Kromě toho mají motory podle výrobce a třídy účinnosti rozdílné jmenovité proudy pro stejnou výkonovou třídu. Například jmenovitý proud 11 kW motoru může být z

Poznámka: 11W měnič kmitočtu VLT® AQUA Drive má jmenovitý proud 24 A. To poskytuje dostatečnou rezervu výkonu k pohánění motoru o výkonu 11 kW.

intervalu 19,8 A až 22,5 A.

Jmenovitý proud nicméně sám nestačí pro určení odpovídajícího elektrického příkonu. Měníč kmitočtu musí také dodávat dostatečně vysoké napětí motoru. U 400V síťového systému to znamená plných 400 V při 50 Hz na svorkách motoru. Na trhu jsou stále měniče kmitočtu, které to nedokáží. Výstupní napětí se snižuje kvůli poklesu napětí ve filtrech, tlumivkách a motorovém kabelu.

Jestliže se výstupní napětí sníží například na 390 V, motor potřebuje k dosažení požadovaného výkonu více proudu. Protože se ztráty zvyšují s proudem kvadraticky, motor se více zahřívá a tím se zkracuje životnost. Při projektování musí uživatel samozřejmě vzít zvýšený požadavek na dodávku proudu v úvahu.

Poznámka: V měničích VLT® AQUA Drive se k zajištění plného napětí motoru používají speciální modulační metody. Jmenovité napětí a jmenovitý moment motoru lze udržet i při poklesu síťového napětí o 10 %.

Konstantní nebo proměnný moment

Pro volbu správného měniče kmitočtu je klíčovým faktorem zátěž poháněná motorem. Je potřeba rozlišovat zátěže, jejichž momentová charakteristika se zvyšuje kvadraticky s rostoucími otáčkami (např. odstředivá čerpadla a ventilátory), a zátěže, které vyžadují od motoru vysoký moment v celém pracovním rozsahu, dokonce i při nízkých otáčkách (např. Rootsova dmychadla).

Většina pohonných systémů v oblasti vodárenství a zpracování odpadních vod má křivku zatížení, která roste kvadraticky s otáčkami, dokud není dosaženo jmenovitého momentu. Aby bylo za těchto podmínek zatížení dosaženo optimalizovaného provozu z hlediska účinnosti, měnič kmitočtu poskytuje napětí motoru, které se zvyšuje kvadraticky s kmitočtem točivého pole motoru.

U aplikací s konstantním vysokým momentem je ve většině případů rovněž potřeba zvážit požadavek na zrychlení nebo spuštění při velkém zatížení. V takovém případě musí být měnič kmitočtu schopen dodávat do motoru po krátkou dobu výkon navíc, kromě jmenovitého momentu motoru, například k zapnutí čerpadla, ve kterém se nahromadil kal, aby se překonalo výsledné statické tření. Tento krátkodobě poskytovaný maximální moment se nazývá momentová přetížitelnost.

V aplikacích, které nevyžadují rozběhový moment výrazně vyšší než jmenovitý moment motoru, je obecně adekvátní relativně malá přetížitelnost (například Rootsova dmychadla se spuštěním bez zatížení vyžadují pouze 110 % jmenovitého momentu motoru).

Poznámka: Objemová čerpadla, Rootsova dmychadla a kompresory nejsou považovány za stroje s průtokem kapalin. Vzhledem k jejich principu fungování musí být měniče kmitočtu pro použití s takovým zařízením konstruovány na použití při konstantním momentu.

Praktické aspekty křivek zatížení pro různé aplikace

Křivky charakteristik a aplikace

Aplikace s konstantním momentem

Normální rozběhový moment (110% přetížení)

Dávkovací čerpadla
Rootsova dmychadla
Povrchové ventilátory
Oběhová čerpadla
Kompresory s bočními kanály

Vysoký rozběhový moment [150% přetížení]

Kompresory s axiálními písty
Kompresory s rotačními písty
Čerpadla s excentrickým šnekem (sledujte záběrový moment)
Pístová čerpadla
Míchadla a míchačky
Lisy pro odvodnění kalů
Kompresory (kromě turbokompresorů)
Objemová čerpadla
Zubová čerpadla
Otočné ventily ozubených kol

Poznámka: Požádejte výrobce čerpadla nebo motoru o křivku momentové charakteristiky.

Aplikace s proměnným momentem

Odstředivá čerpadla
Studnová čerpadla¹
Čerpadla předřazeného kompresoru
Filtlační podávací čerpadla
Čerpadla podzemních vod¹
Čerpadla na horkou vodu
Čerpadla topení (primární a sekundární okruh)
Odstředivá čerpadla (pevné částice)
Čerpadla chladicí vody (primární a sekundární okruh)
Cisternová čerpadla
Kalová recirkulační čerpadla
Kalová čerpadla¹
Turbokompresory
Ponorná čerpadla¹
Rezervní kalová čerpadla
Ventilátory

¹Doporučuje se použít sinusový filtr.

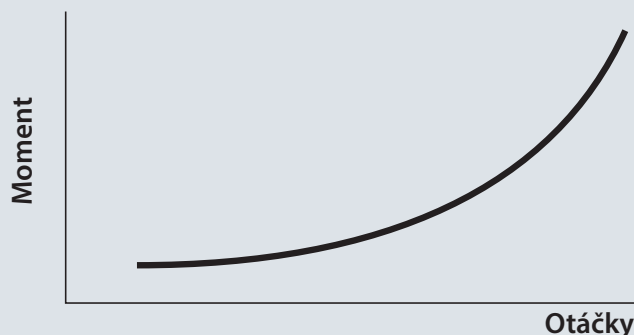
Konstantní moment

Charakteristiky zatížení
nezávislé na otáčkách



Proměnný moment

Charakteristiky zatížení
závislé na otáčkách



Praktické aspekty provozu s více motory (zvláštní případ)

Provedení

Pokud chce provozovatel spouštět několik paralelně zapojených motorů pomocí stejného měniče kmitočtu, je nutné vzít při návrhu v úvahu následující faktory:

Jmenovité proudy a výkony motorů je nutné sečíst dohromady.

Výběr vhodného měniče kmitočtu je založen na dvou sumách výkonu a proudu.

K ochraně motoru musí provozovatel zapojit PTC termistory motorů sériově a měnič kmitočtu bude potom monitorovat tento signál ze sériově zapojených čidel.

Připojené motory pracují všechny se stejnými jmenovitými otáčkami. To znamená, že měnič kmitočtu je všechny poháněn se stejným kmitočtem i napětím.

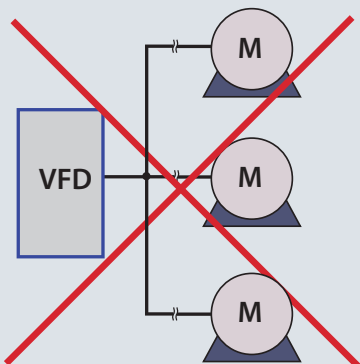
Poznámka: Protože se odpory sériově zapojených PTC termistorů sčítají, nemá smysl používat funkci měniče kmitočtu monitorování termistorem jako funkci pro ochranu motoru u více než dvou paralelně zapojených motorů.



Vedení kabelů

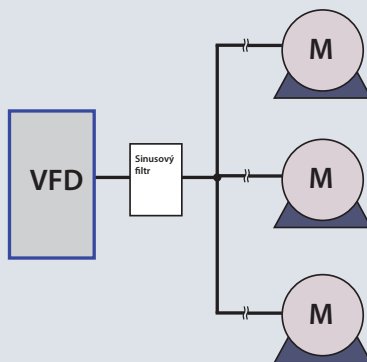
Při provozu více motorů je třeba vyloučit následující případy:
Paralelní vedení vytváří přídatnou kapacitanci.
Proto by uživatelé neměli tento způsob připojení používat.

Vyvarovat se



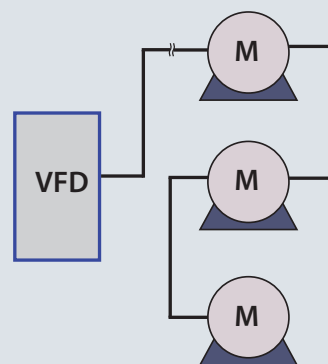
Pracovní proudy poklesnou, protože LC filtr blokuje hodinový kmitočet. To umožňuje zapojit motory paralelně. Motorové kabely je také v případě potřeby možné vést na delší vzdálenosti společně.

Doporučeno



V případě provozu více motorů doporučujeme spojit motorový kabel od jednoho motoru k dalšímu kabelu.

Doporučeno



Praktické aspekty opatření EMC

Uvedení teorie do praxe

Všechny měniče kmitočtu představují takzvané širokopásmové zdroje rušení, tj. vysílají rušivé signály v širokém kmitočtovém rozsahu. Provozovatelé zařízení mohou toto rušivé vyzařování vhodnými prostředky snížit. Například je možné zajistit bezproblémový provoz zařízení pomocí RFI filtrů a síťových tlumivek. U některých výrobců jsou

tyto komponenty již instalovány do měniče kmitočtu. U jiných výrobců pro ně musí projektant v rozvaděči přidat další místo (což je vždy zásadní).

Všeobecné informace k problematice EMC, nízkofrekvenčnímu rušení sítě a vysokofrekvenčnímu rušení rozhlasu a televize najdete v této příručce na str. 13.

Poznámka: Kvalitní měniče kmitočtu jsou standardně vybaveny komponentami pro kvalitní ochranu proti RFI a pro omezení rušení sítě. Tyto komponenty činí cca 15 až 20 % ceny měniče.

Rušení rozhlasového a televizního vysílání

Praktická doporučení

Podrobné informace o rušení rozhlasového a televizního vysílání naleznete na str. 21 této příručky. V praxi je hlavním cílem vytvořit systémy, které budou stabilně fungovat, aniž by docházelo ke vzájemnému rušení mezi jejich komponentami. Často se ale stává, že po změně modelu nebo zabudování nových komponent už není možné provést citlivá opatření bez rušení nebo bez poškození signálů přístrojů. Těmto úskalím je potřeba zabránit. Aby se dosáhlo vysoké odolnosti vůči rušení, doporučuje se osadit frekvenční měniče kvalitními RFI filtry. Měly by splňovat požadavky kategorie C1 specifikované v produktové normě EN 61800-3, které tudíž budou splňovat limity třídy B obecné normy EN 55011.

Další výstražné poznámky musí být umístěny na měniči kmitočtu, pokud jsou použity RFI filtry, které neodpovídají kategorii C1, ale pouze kategorii C2 nebo nižší. Plnou odpovědnost nese provozovatel.

Jak bylo uvedeno na straně 22, v případě potíží bude kontrolní orgán vždy zakládat své doporučení pro eliminování rušení na limitech A1/A2 a B pro rušení definovaná v obecné normě EN 55011 podle provozního prostředí. Náklady na odstranění problémů s EMC nese provozovatel.

Za správné přiřazení z hlediska těchto dvou norem odpovídá v konečném důsledku sám provozovatel.

Jelikož jsou k přenosu signálů a napájení používány kabely, rušení se může snadno šířit vedením do dalších částí systému nebo zařízení, pokud nebudou podniknuta patřičná opatření. Naproti tomu rušení vyzařované přímo ze zařízení nebo kabelu je prostorově omezené. Jeho intenzita se snižuje s každým centimetrem vzdálenosti od zdroje rušení. Z tohoto důvodu obvykle stačí k omezení vyzařovaného rušení instalovat měnič do vhodného rozvaděče splňujícího normy týkající se EMC. Provozovatel systému však musí vždy instalovat vhodný filtr k omezení rušení vedení.

Dva přístupy k RFI filtrům

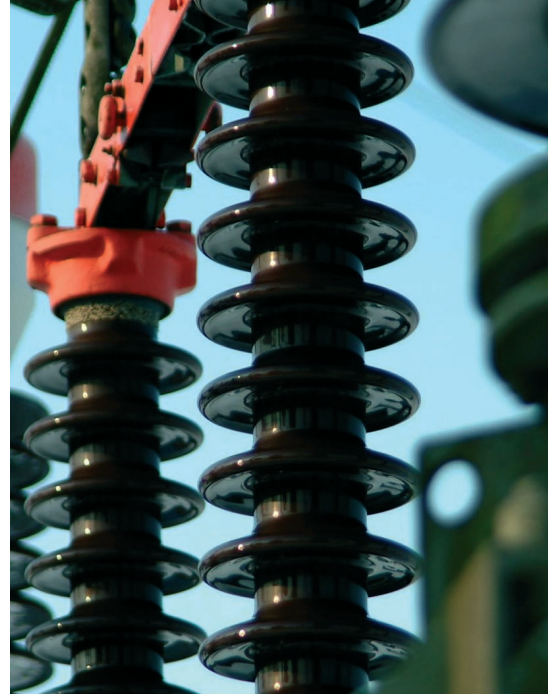
V praxi se používají dva přístupy k RFI filtrům. Někteří výrobci instalují RFI filtry v jejich zařízeních standardně, zatímco jiní výrobci je nabízejí jako doplňky. Vestavěné filtry nejenom šetří spoustu místa v rozvaděči, ale zároveň eliminují další náklady na montáž, zapojení a materiál. Nejdůležitější výhodou je ale dokonalé splnění podmínek EMC a kabeláž integrovaných filtrů. Volitelné externí RFI filtry, které se instalují před měnič, rovněž způsobují přídavnou napěťovou ztrátu. V praxi to znamená, že na vstupu

měníče kmitočtu není plné síťové napětí a tím pádem ho možná bude třeba předimenzovat. Přinese to náklady na montáž, kabeláž a materiál, a není testována shoda s EMC.

Další významným faktorem je maximální délka motorového kabelu, při které měnič kmitočtu ještě splňuje mezní hodnoty EMC. V praxi to může být od 1 metru až do 50 metrů. U delších kabelů jsou zapotřebí lepší RFI filtry.

Poznámka: Pro spolehlivé odrušení pohonných systémů vždy používejte RFI filtr kategorie C1.

Měníče kmitočtu VLT® AQUA Drive jsou standardně dodávány s integrovanými RFI filtry splňujícími požadavky kategorie C1 (EN 61800-3) pro použití se 400V síťovými systémy a výkony až do 90 kW nebo kategorie C2 pro výkony 110 až 630 kW. Měníče kmitočtu VLT® AQUA Drive splňují požadavky kategorie C1 se stíněnými motorovými kabely až do 50 m nebo C2 se stíněnými motorovými kabely až do 150 m.



Rušení sítě

Stejnoseměrný meziobvod má vliv na rušení sítě

Popis základních aspektů nízkofrekvenčního rušení sítě a opatření k jeho omezení najdete na str. 15 této příručky. Zvýšení využívání usměrňovacích zátěží zvyšuje výskyt rušení sítě. Usměrňovače odebírají ze sítě nesinusové proudy. Rušení sítě způsobované měniči kmitočtu pochází primárně z kondenzátorů stejnosměrného meziobvodu kvůli jejich nabíjecím proudům. Zde proud protéká vždy v krátkých impulzech poblíž špiček napětí sítě. Kvůli vysokému proudu krátkodobě poklesne napětí sítě a dojde k deformaci sinusového průběhu. Aby bylo napájení ze sítě kvalitní, je nutné omezit pátou harmonickou složku proudu na úroveň přibližně 40 % THD. Tyto požadavky jsou popsány v normě EN 61000-3-12. U aplikací, ve kterých musí provozovatel omezit rušení sítě na úroveň THD nižší než 10 nebo 5 %, je možné k téměř úplnému potlačení rušení sítě od zařízení použít volitelné filtry a aktivní opatření.

Opatření k potlačení nežádoucího působení na síť

Provozovatelé zařízení mají k omezení rušení sítě k dispozici různé možnosti. Dají se klasifikovat jako pasivní a aktivní opatření, a liší se zejména z hlediska projektování.

Síťové tlumivky

Obvyklý a nejlevnější způsob redukce rušení sítě představuje instalace tlumivek, které se zapojí buď do stejnosměrného meziobvodu, nebo na vstup měniče kmitočtu. Použití síťové tlumivky v měniči kmitočtu prodlužuje průtok nabíjecího proudu kondenzátorů stejnosměrného meziobvodu, snižuje amplitudu proudu a omezuje značně zkreslení síťového napětí (nízkofrekvenční rušení sítě).

Stupeň zkreslení síťového napětí závisí na kvalitě sítě (impedance transformátoru a impedance vedení). Údaje v následující tabulce lze považovat za vodičko pro připojenou zátěž měniče kmitočtu (nebo zátěž jiného třífázového usměrňovače) jako procento jmenovitého výkonu napájecího transformátoru. Při překročení maximální hodnoty je třeba kontaktovat výrobce měniče.

Kromě snížení rušení sítě prodlužují síťové tlumivky životnost kondenzátorů stejnosměrného meziobvodu, protože omezením proudových špiček dochází k jejich šetrnějšímu nabíjení. Dále zlepšují síťové tlumivky odolnost měničů kmitočtu při přechodových jevech v síti. Díky menším vstupním proudům je možné použít menší průřezy vodičů a síťové pojistky nebo jističe. Nicméně tlumivky zvyšují náklady a zabírají prostor.

Poznámka: U všech měničů kmitočtu řady VLT® AQUA Drive je síťová tlumivka standardně integrována jako tlumivka stejnosměrného meziobvodu. Tím se snižuje THD z 80 na 40 %, a jsou i splněny požadavky normy EN 61000-3-12. Účinek je tedy srovnatelný s třífázovou síťovou tlumivkou (U_k 4%). Měnič kmitočtu nemusí kompenzovat žádný pokles napětí; do motoru je dodáváno plné napětí (400 V).

Maximálně 20% zatížení měniče kmitočtu na transformátoru
v případě měničů kmitočtu bez opatření pro redukci rušení sítě,
→ tedy bez tlumení nebo jen s malým tlumením (např. s U_k 2 %)

Maximálně 40% zatížení měniče kmitočtu na transformátoru
v případě měničů kmitočtu s opatřeními pro redukci rušení sítě,
→ tedy s tlumením U_k nejméně 4%

Výše uvedené údaje maximálního zatížení představují doporučené hodnoty založené na zkušenostech, které umožňují bezproblémový provoz zařízení.

Praktické aspekty opatření EMC



Měnič kmitočtu LHD (low harmonic drive) je měnič kmitočtu se zabudovaným aktivním filtrem ovlivňujícím síť.

Usměrňovače s 12, 18 nebo 24 impulzy na cyklus

V praxi se měniče kmitočtu s usměrňovači s velkým počtem impulzů na cyklus nachází primárně ve vyšších výkonových rozsazích.

Pro řádný provoz vyžadují speciální transformátory.

Pasivní filtry

Pasivní filtry harmonických kmitočtů, tvořené z LC obvodů, lze použít ve všech situacích. Jejich účinnost je vysoká, obvykle kolem 98,5 % nebo vyšší. Zařízení jsou velmi robustní a, s výjimkou chladicích ventilátorů (jsou-li použity), obvykle bezúdržbová. U pasivních filtrů je třeba vzít v úvahu následující pravidla. Pokud pracují bez zatížení, působí v důsledku proudů cirkulujících ve filtru jako kapacitní zdroje jalového výkonu. Podle konkrétní aplikace bude možná smysluplné použít skupinu filtrů, případně se selektivním připojením a odpojením.

Aktivní filtry, Active Front End a Low Harmonic Drives

Novátorský přístup založený na vylepšených polovodičových zařízeních a moderní mikroprocesorové technologii je použití aktivních elektronických filtrovacích systémů. Ty nepřetržitě měří kvalitu sítě a používají aktivní zdroj proudu k dodávání specifických časových průběhů signálu do sítě. Čistým výsledkem je sinusový proud.

V porovnání s dříve popsány mi možnostmi filtrování je architektura této nové generace filtrů složitá, protože vyžadují rychlé pořizování dat s vysokým rozlišením a vysoký výpočetní výkon.

Není možné poskytnout žádné základní doporučení týkající se zde zmiňovaných opatření redukce rušení sítě. Důležité je učinit správná rozhodnutí ve fázi návrhu a projektu, aby vznikl pohonný systém s vysokou dostupností, malým rušením sítě a

malým rušením rozhlasového a televizního signálu. Každopádně je před jakýmkoli rozhodnutím ohledně opatření zajišťujících redukci pečlivě analyzovat následující faktory:

- Analýza sítě
- Přesný přehled o topologii sítě
- Nároky na prostor v elektrických provozních prostorách, které jsou k dispozici
- Možnosti hlavního rozvodu, popř. podružných rozvodů

Poznámka: U složitých aktivních opatření hrozí riziko naprosto nevhodného řešení, protože tato opatření mají vážný nedostatek v tom, že způsobují rušení v kmitočtovém rozsahu nad 2 kHz (viz strana 18 této příručky).

Praktické aspekty proudových chráničů

Proudové chrániče

V německy mluvících zemích se používaly různé termíny pro proudové chrániče citlivé pouze na střídavý proud nebo citlivé na střídavý proud i stejnosměrný proud. Tato zařízení se mezinárodně označují jako proudové ochrany. Obecnější termín je „proudové chrániče“, používaný v normě EN 61008-1.

Jestliže používáte v chráněné oblasti zařízení, které může generovat v případě závady stejnosměrný proud, je nutné použít proudové chrániče citlivé na stejnosměrný proud i střídavý proud. To se týká všech elektrických zařízení s usměrňovačem stupně B6 (například měničů kmitočtu) připojených k třífázové síti.

Tento typ proudového chrániče se podle normy IEC 60755 nazývá proudový chránič typu B. Měníče kmitočtu produkují svodové proudy, což musí vzít projektanti nebo provozovatelé zařízení při výběru

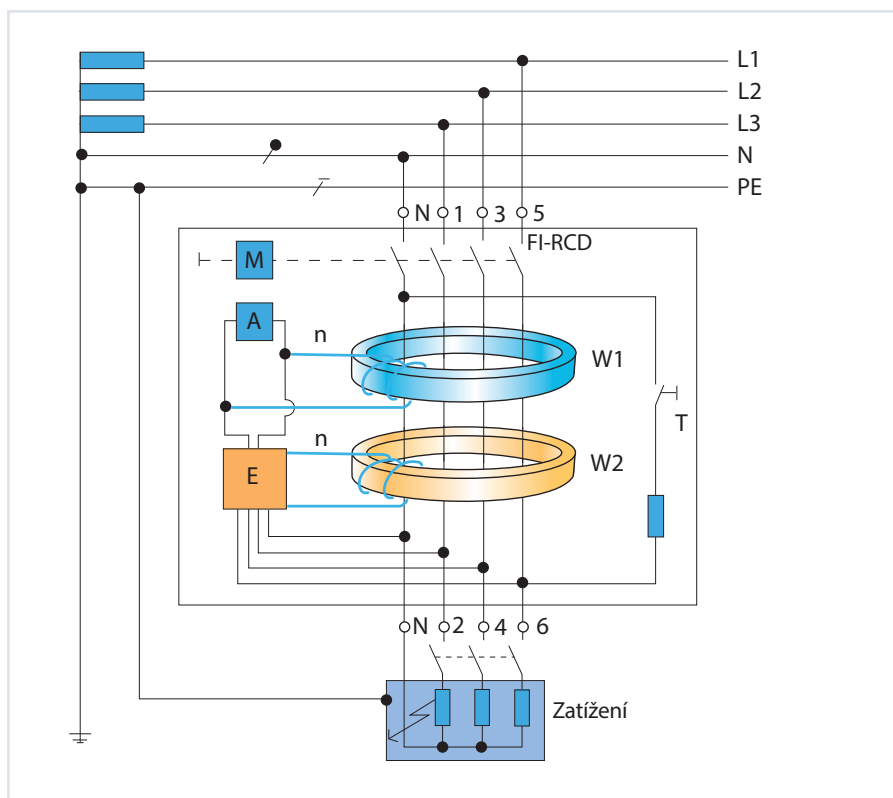
parametrů ochrany v úvahu. Požádejte výrobce měniče kmitočtu o doporučení proudového chrániče pro vaši aplikaci.

Proudový chránič musí být instalován přímo mezi sítí a usměrňovač. Integrace do hierarchické struktury s dalšími proudovými chrániči není povolena.

Úroveň svodového proudu

Úroveň svodového proudu závisí na několika faktorech. Obecně platí, že čím vyšší výkon, tím větší svodové proudy budou v měniči kmitočtu a motoru generovány. Měníč kmitočtu o výkonu 1,5 kW bez potlačení rušení a s krátkým motorovým kabelem (cca 2 m) bude generovat svodový proud přibližně 4 mA. Pokud je vyžadováno potlačení rušení třídy B, svodový proud vzroste u stejné konfigurace přibližně na 22 mA. 20kW měnič kmitočtu s potlačením rušení třídy B a krátkým, stíněným motorovým

kabelem bude generovat svodový proud přibližně 70 mA. Uživatelé mohou počítat s proudy generovanými motorovým kabelem o velikosti cca 0,5 až 2 mA na metr. Kabeláž s párovým vedením bude generovat nižší hodnoty než kabeláž s jedním vedením.



Proudové chrániče typu B mají dva samostatné monitorovací obvody: jeden čistě pro stejnosměrný proud a jeden pro svodové proudy se střídavou složkou.

Praktické aspekty uzemnění a ochrany motoru

Provedení uzemnění v praxi

Uzemnění je podrobně popsáno v části „Motory a kabeláž“ v Kroku 3 (strana 31 této příručky).

Pokud aplikace vyžaduje externí filtry, je třeba je namontovat co nejbližše měniče. Mezi filtrem a zařízením by se měl použít stíněný kabel a filtr by se měl na straně sítě a zařízení spojit s uzemňovacím vodičem. Také se doporučuje namontovat proplachování filtru a zajistit nízkoimpedanční spojení mezi pouzdrem filtru a zemí.

Filtry vytváří svodové proudy, které mohou v případě poruchy (výpadek fáze nebo asymetrické zatížení) značně převýšit jmenovitou hodnotu. Aby se zabránilo vzniku nebezpečných napětí, je třeba filtry před zapnutím uzemnit. V případě svodových proudů 3,5 mA a vyšších musí v

souladu s normou EN 50178 nebo EN 60335:

- mít ochranný zemnicí vodič průřez 10 mm² nebo větší;
- nebo musí být monitorováno rozpojení ochranného zemnicího vodiče;
- nebo musí být kromě toho nainstalován druhý ochranný zemnicí vodič.

Svodové proudy jsou zde vysokofrekvenční rušivé signály. To vyžaduje uzemnění s nízkoimpedančním spojením spojené s velkou plochou a připojené k zemnímu potenciálu nejkratším možným způsobem.

Poznámka: Ani ta nejlepší opatření proti rušení sítě a vysokofrekvenčnímu rušení nejsou k ničemu, pokud nebude jejich implementace v instalaci splňovat podmínky EMC. V takových případech jsou problémy s rušením nevyhnutelné.

Ochrana motoru a PTC termistor motoru

Měniče kmitočtu zajišťují ochranu motoru proti nadproudu. Nejlepší možnou ochranu motoru poskytují termistorová čidla nebo tepelné vypínače. Signál je sledován prostřednictvím vhodných vstupních svorek měniče kmitočtu.

Termistory splňující požadavky normy DIN 44081 nebo DIN 44082 jsou navrženy tak, aby vykazovaly odpor v určitém rozsahu při jmenovité reakční teplotě (RRT) ($RRT -5\text{ °C} < 550\text{ Ω}$; $RRT +5\text{ °C} > 1\,330\text{ Ω}$). Mnoho měničů kmitočtu je vybaveno vhodnými funkcemi pro monitorování takových termistorů. V případě, kdy jsou motory používány v prostředí s nebezpečím výbuchu, lze termistory monitorovat pouze pomocí certifikovaných vypínacích zařízení (viz strana 30).

Funkce ochrany zařízení poskytovaná vypnutím motoru je omezena na provoz při připojení přímo na síť. V elektrických systémech s měniči kmitočtu budou tyto funkce fungovat jako ochrana motoru pouze s nouzovým přemostovacím obvodem v měniči kmitočtu. Funkce ochrany motoru vypínače není v kombinaci s použitím měniče kmitočtu účinná. Při správném dimenzování ho však lze dobře využít u motorů poháněných měničem jako určitý druh třífázového jističe, který chrání pouze vinutí.

Poznámka: Mnoho měničů kmitočtu je vybaveno přídavnou funkcí nazvanou „teplý obraz motoru“. Teplota motoru se přitom vypočítává z údajů o motoru a z výkonu přenášeného do motoru. Tato funkce je obvykle implementována velmi konzervativně a má sklon vypínat dříve než je absolutně nezbytné. Skutečná teplota okolí při zahájení výpočtu se obvykle nebere v úvahu. Nicméně tato funkce může zajistit jednoduchou formu základní ochrany, pokud není žádná jiná forma ochrany motoru k dispozici.

Poznámka: Svorky 50 a 54 měniče VLT® AQUA Drive jsou standardně vyhrazeny pro připojení termistorů. Tento port je vhodný pro monitorování teploty motoru pomocí tří až šesti perličkových PTC termistorů (standardní konfigurace: tři perličky na motor).

Praktické aspekty ovládání obsluhou a zobrazení dat

Jednoduchá koncepce provozu

Základní technologie všech měničů kmitočtu je stejná, proto hraje snadné použití stěžejní roli. Mnoho funkcí, stejně jako začlenění do strojů nebo systémů, vyžaduje jednoduchou koncepci obsluhy. Musí splňovat veškeré požadavky na jednoduchou a spolehlivou konfiguraci a instalaci. Možnosti sahají od jednoduchých a levných numerických displejů po pohodlné ovládací panely, které zobrazují data v textové podobě. Jednoduché ovládací panely jsou vhodné pro základní funkci sledování provozních parametrů, jako je proud nebo napětí.

Naproti tomu ovládací panely s komfortními funkcemi umožňují zobrazit další parametry nebo je prezentovat všechny současně. K dispozici je také přehledné seskupení funkcí a jednoduché ruční

ovládání spolu s dalšími možnostmi přístupu přes software, sběrnici nebo dokonce dálkové sledování přes modem nebo Internet.

Moderní měnič kmitočtu musí být schopen kombinovat všechny níže uvedené koncepce provozu v jednom zařízení nebo je umožnit a přinejmenším kdykoli povolit přepínání mezi ručním a dálkovým ovládáním.



**design award
winner**

Tento ovládací panel získal mezinárodní ocenění iF za design za uživatelský komfort v roce 2004. Panel LCP 102 obdržel ocenění v kategorii „Komunikační rozhraní člověk/stroj“ za účasti více než 1 000 účastníků z 34 zemí.



Grafické ovládací panely nabízejí snadné použití a zobrazují informace v textové podobě.



Snadné uvedení do provozu funkce, jako Danfoss Smart Start, značně usnadňují uvedení měničů kmitočtu do provozu. Provádí uživatele základním nastavením měniče.



Praktické aspekty ovládání obsluhou a zobrazení dat

Provoz pomocí lokálního řízení

Základním požadavkem je podpora pro místní ovládání pomocí ovládacího panelu LCP. Dokonce i v éře sítové komunikace existuje řada úkolů, které vyžadují možnost zařízení přímo ovládat – například uvedení do provozu, testování, optimalizace procesů a údržba.

V každém z těchto případů musí být operátor nebo technik schopen změnit lokální hodnoty, aby bylo možné přímo zavést změny do systému a provádět související úkony, například diagnostiku chyb. K tomuto účelu by měl ovládací panel poskytovat jednoduché a intuitivní rozhraní člověk/stroj.

Přehledné zobrazení

Ideálním řešením je grafický displej, protože umožňuje uživateli vybrat preferovaný jazyk pro uživatelské rozhraní a základní režim zobrazení může zobrazovat základní parametry aktuální aplikace.

Aby byla zachována přehlednost, musí být stavové informace omezeny na základní parametry a musí být možné parametry kdykoli upravit nebo změnit. Také je užitečné, když je možné blokovat nebo skrýt určité funkce podle úrovně znalostí operátora, omezit zobrazení parametrů a umožnit změnu parametrů na rozsah, který je skutečně nezbytný pro úpravu a řízení procesu.

V případě velkého počtu funkcí u moderních měničů kmitočtu, které často obsahují několik stovek parametrů pro optimální přizpůsobení, se tím minimalizují chyby obsluhy a z toho plynoucí drahé odstávky zařízení. Podobně by měl mít displej integrovanou funkci nápovědy pro jednotlivé funkce, aby měl instalační nebo servisní technik za všech okolností k dispozici podporu, zvláště u zřídka

používaných parametrů, aby se také zde co nejvíce vyloučily možné chyby obsluhy.

Pro optimální využití integrovaných funkcí diagnostiky je velmi užitečné zobrazovat vedle alfanumerických dat grafické znázornění průběhu („funkce scope“). V mnoha případech tato forma zobrazení dat, například tvary ramp nebo křivky momentu, usnadňují odstraňování chyb.

Jednotná koncepce

V oblasti vodárenství a zpracování odpadních vod se používá v široké řadě aplikací velký počet měničů kmitočtu. Tyto měniče, zpravidla většinou od jednoho výrobce, se liší hlavně výkonem a tím pádem i rozměry a vzhledem. Jednotné uživatelské rozhraní měničů kmitočtu se stejným ovládacím panelem v celém výkonovém rozsahu nabízí projektantům a provozovatelům zjevné výhody.

Základním principem je, že zjednodušení uživatelského rozhraní zrychlí a zefektivní uvádění do provozu a odstraňování potíží (v případě potřeby). A v praxi již prokázaly svou hodnotu koncepce založené na ovládacích panelech typu plug-and-play.

Integrace do dveří rozvaděče

V mnoha zařízeních, kde je měnič kmitočtu umístěn v rozvaděči, by se měly ovládací panely integrovat do dveří rozvaděče, aby bylo umožněno zobrazení dat. To je možné jen u takových měničů, které mají odnímatelné ovládací panely. Když je ovládací panel integrován do dveří rozvaděče pomocí montážní skříně, měnič kmitočtu je možné ovládat bez otevření dveří rozvaděče a je možné odečítat provozní stav a data procesu.

***Poznámka:** Zkontrolujte, zda má měnič kmitočtu, který chcete zapracovat do systému, správnou provozní koncepci. Design, který poskytuje nejsnadnější použití konfigurace parametrů a programování je výhodou, protože v současnosti nejsou funkce měniče jediným významným faktorem. Důležité je také rychlé a snadné uživatelské ovládání, pokud možno intuitivní. Jen tak je možné snížit vynaložené úsilí, a tedy náklady na obeznámení se s měničem, a následnou dobu, po kterou příslušní zaměstnanci pracují s měniči kmitočtu.*

Konfiguraci a odečítání parametrů měniče kmitočtu lze provádět i při zavřených dveřích rozvaděče.



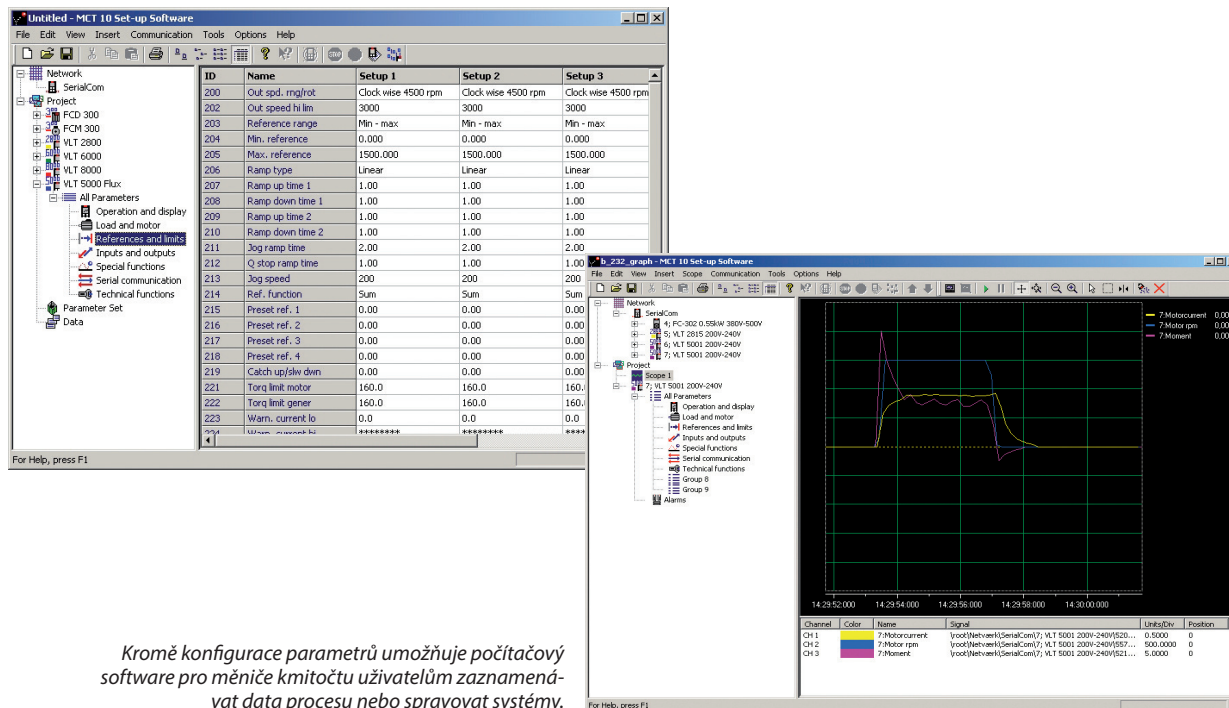
Praktické aspekty řízení a konfigurace parametrů pomocí počítače

Rozšířené možnosti

Kromě ovládání pomocí ovládacího panelu moderní měniče kmitočtu obvykle podporují konfiguraci parametrů a zobrazení dat pomocí počítačového programu. Tento software je většinou spouštěn v operačním systému Windows a podporuje několik komunikačních rozhraní. Umožňuje přenos dat prostřednictvím tradičního rozhraní RS 485, komunikační sběrnice Fieldbus (Profibus DPV1, Ethernet a podobně) nebo prostřednictvím USB.

Dobrý program také umožňuje uživatelům spravovat velké systémy s mnoha měniči. Konfiguraci parametrů je možné provádět online i offline. V ideálním případě program umožní do systému integrovat také dokumentaci. To mimo jiné umožní z programu přístup k elektrickým schémátům nebo návodům k používání.

Poznámka: Program MCT 10 představuje nástroj založený na operačním systému Windows, který umožňuje snadné projektování, konfiguraci parametrů a programování měničů řady VLT® AQUA Drive.



Kromě konfigurace parametrů umožňuje počítačový software pro měniče kmitočtu uživatelům zaznamenávat data procesu nebo spravovat systémy.



Praktické aspekty výměny dat

Sběrníkové systémy

Dnešní měniče kmitočtu jsou inteligentní a mohou tak zvládnout v pohonných systémech mnoho úkolů. I dnes však pracuje mnoho zařízení pouze se čtyřmi datovými body v řídicím systému nebo pod kontrolou PLC automatu a fungují jako regulátory otáček. To znamená, že operátoři plně nevyužívají mnoho užitečných funkcí a nemají přístup k uloženým systémovým datům. Uživatelé nicméně mohou snadno využít úplný potenciál měničů kmitočtu pomocí sběrníkového meziobvodu, například Profibus, a integrovat je do řídicího systému. Pomocí jediného hardwarového datového bodu tak získají uživatelé úplný přístup ke všem parametrům instalovaných měničů kmitočtu. Kabeláž a uvedení do provozu jsou jednodušší, což vede k úspoře nákladů od fáze instalace a dále. K dispozici je velké množství dat pro účinnou správu zařízení. Dekódování shromážděných chybových zpráv umožňuje diagnostiku chyb, dokonce i vzdálenou, a iniciování správných nápravných akcí.

Lepší řízení alarmu

Podrobná hlášení poruch zjednodušují lokalizaci možných příčin závady a tím poskytují účinnou podporu

vzdáleného monitorování zařízení. Vzdálená údržba pomocí modemů nebo Internetu umožňuje rychlé zobrazení stavových nebo chybových zpráv dokonce i u vzdálených systémů nebo systémových komponent.

Zlepšená správa zařízení

Operátor v řídicí místnosti může vzdáleně monitorovat a nastavovat všechna nastavení měniče kmitočtu. Kdykoli je možné odečítat a zpracovávat stavová data, například výstupní kmitočet nebo spotřebu energie. Dodatečná data pro účinné řízení spotřeby a špičkového zatížení jsou k dispozici i bez dalších komponent.

Snížení nákladů na instalaci

Ne každý měnič kmitočtu potřebuje vlastní displej. Uživatel nebo operátor má ke všem podstatným datům měniče kmitočtu přístup prostřednictvím řídicího systému. Zjednodušené propojení dvěma vodiči. Nepoužité vstupy a výstupy měniče mohou sloužit jako vstupy/výstupy pro integraci jiných komponent, například čidel, filtrů a koncových spínačů do řídicího systému. Nejsou zapotřebí vstupní a výstupní

komponenty, protože k řízení měniče stačí jeden hardwarový datový bod. K dispozici jsou i bez dalších komponent monitorovací funkce, jako monitorování termistoru motoru, ochrana proti běhu čerpadla nasucho apod., stejně jako měřiče výkonu a čítač provozních hodin.

Zjednodušené uvádění do provozu

Konfigurace parametrů probíhá z řídicí místnosti. Všechna nastavení lze rychle a snadno zkopírovat z jednoho měniče kmitočtu do jiného. Trvale vytvářenou záložní kopii nastavení je možné uložit do paměti displeje. Projektanti a instalační technici mohou uložit nastavení stisknutím jednoho tlačítka.

Poznámka: Doplněk RGO 100 Remote Guardian Option stanovuje nové standardy v oblasti monitorování, údržby a zpracování poplachů pro měniče kmitočtu v jednom nebo ve více zařízeních. Podporuje obvyklé úlohy, jako je vzdálená akce, vzdálená údržba, zpracování poplachů a zaznamenávání dat pro konfiguraci a monitorování systému.



Praktické aspekty dalších faktorů výběru

Řízení procesu

Dnešní měniče kmitočtu představují inteligentní regulátory pohonů. Dokáží provádět úlohy a funkce, které tradičně zpracovávaly PLC automaty. Prostřednictvím implementovaného regulátoru procesu se také dají

vytvořit nezávislé regulační smyčky s vysokou přesností. To je zvláště užitečné při upgradu systémů s nedostatečnou kapacitou PLC nebo bez PLC. Aktivní snímače parametrů procesu

(snímače skutečné hodnoty průtoku, tlaku nebo hladiny) lze napájet pomocí řídicího napětí měniče kmitočtu 24 V DC, pokud má dostatečnou napájecí kapacitu.

Údržba

Většina měničů kmitočtu je téměř bezúdržbová. U měničů vyšších výkonů jsou použity filtrační rohože, které musí provozovatel v závislosti na prašnosti prostředí čas od času vyčistit.

Ovšem je třeba uvést, že výrobci měničů udávají intervaly údržby pro chladicí ventilátory (cca 3 roky) a kondenzátory (cca 5 let).

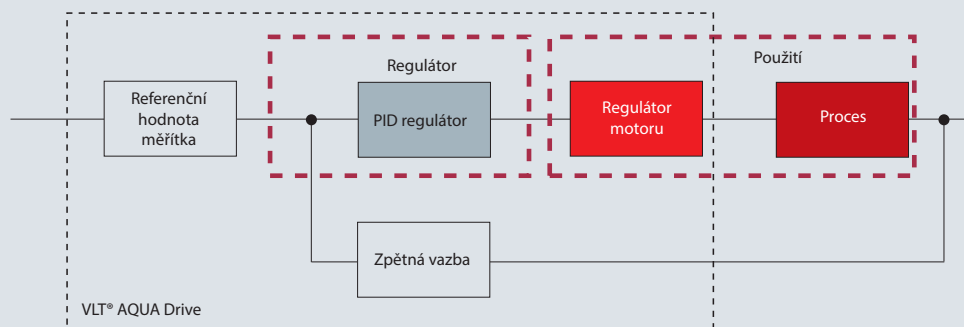
Poznámka: Měniče kmitočtu Danfoss VLT® jsou bezúdržbové do výkonu 90 kW. Modely o výkonu 110 kW nebo vyšším mají v chladicích ventilátorech osazené i filtrační rohože. Musí být pravidelně kontrolovány a v případě potřeby vyčištěny.

Skladování

Jako všechny elektronické přístroje, musí být i měniče kmitočtu uloženy v suchu. V tomto ohledu je nutné dodržet specifikace výrobce. Někteří výrobci specifikují, že zařízení musí být pravidelně formátováno. Za tímto účelem musí uživatel připojit zařízení na určitou dobu k definovanému

napětí. Toto formátování je nezbytné z důvodu stárnutí kondenzátorů ve stejnosměrném meziobvodu zařízení. Rychlost stárnutí závisí na kvalitě použitých kondenzátorů. Formátování zpomaluje proces stárnutí.

Poznámka: Vzhledem ke kvalitě použitých kondenzátorů a flexibilnímu výrobnímu procesu na základě objednávek není tento proces pro měniče kmitočtu VLT® AQUA Drive vyžadován.



Blokové schéma PID regulátoru procesu



VLT® AQUA Drive

*Měniče VLT® AQUA Drive se
dodávají s výkony 0,37 kW až
1,4 MW a jmenovitým napětím
400 V nebo 690 V.
K dispozici jsou také verze
VLT® Low Harmonic Drive pro
omezení rušení sítě.*



Měniče Danfoss® AQUA Drive jsou speciálně určeny pro aplikace v oboru vodárenství a zpracování odpadních vod. Na rozdíl od mnoha jiných značek jsou standardně integrovány všechny důležité komponenty a funkce.

- Úplné síťové napětí na výstupu
- Možnost připojení dlouhých motorových kabelů (150 m stíněný nebo 300 m nestíněný)
- Dlouhá životnost
- Integrovaný RFI filtr splňující požadavky normy EN 61800-3 kategorie C1 (limity třídy B definované normou EN 55011)
- Integrované tlumivky rušení sítě (UK 4%)
- Monitorování PTC termistorem
- Funkce AEO pro zvláště vysoké úspory energie
- Tepelný obraz motoru integrovaný do měniče kmitočtu pro zajištění softwarové ochrany motoru, který bere v úvahu dokonce i snížení vlastního větrání, když motor běží při nízkých otáčkách (což nelze spojit s vypínací motoru).
- Sériové rozhraní RS 485
- Rozhraní USB
- Hodiny reálného času
- Ochrana proti běhu nasucho
- Monitorování výstupního průtoku
- Doba běhu řízeného střídání čerpadel
- Spouštění čerpadla snižující opotřebení
- Funkce plnění potrubí zabraňující vzniku vodních rázů
- Volitelně s integrovaným připojením ke komunikační sběrnici Profibus (a externímu zdroji 24 V DC)

- Integrovaný regulátor kaskády pro tři čerpadla
- Volitelně základní nebo rozšířený regulátor kaskády
- Volitelně řízení čerpadla bez čidla
- Volitelně aktivní a pasivní síťové filtry pro další snížení harmonického zkreslení
- Volitelně sinusové a du/dt filtry pro všechny jmenovité výkony
- VLT® AQUA Drive ve verzi low harmonic

Podrobné informace jsou k dispozici u zástupců společnosti Danfoss nebo na webu. Na webu je množství informací k dispozici ke stažení.

www.danfoss.com/vlt

Směrnice týkající se měničů kmitočtu

Značka CE

Značka CE (Communauté européenne) slouží k odstranění technických bariér při výměně zboží mezi státy ES a ESVO (v rámci jednotné evropské měny). Značka CE označuje, že

výrobce produktu dodržuje veškeré rozhodující směrnice ES obsažené v zákonech země původu. Značka CE neříká nic o kvalitě výrobku. Ze značky CE nelze odvodit technické

údaje. V rámci použití měničů kmitočtu je třeba dodržovat směrnice o strojírenství, EMC a směrnice pro zařízení nízkého napětí.

Směrnice pro strojní zařízení

Směrnice pro strojní zařízení 2006/42/EC začala být povinná 29. prosince 2009. Z tohoto důvodu přestala platit Směrnice pro strojní zařízení 98/37/EC. Klíčovým poselstvím této směrnice je, že stroj, tvořený kombinací vzájemně propojených komponent nebo zařízení, ze kterých je nejméně

jedno pohyblivé, musí být provozován takovým způsobem, aby byla zajištěna bezpečnost a ochrana zdraví lidí a v případě potřeby domácích zvířat nebo zboží, za předpokladu, že byl správně instalován a vhodným způsobem udržován a používán. Měniče kmitočtu jsou klasifikovány

jako elektronické komponenty a z tohoto důvodu nepodléhají směrnicí pro strojní zařízení. Když firmy používají měniče kmitočtu ve strojích, musí vytvořit prohlášení výrobce, které potvrzuje, že stroj splňuje všechny příslušné normy a bezpečnostní opatření.

Směrnice EMC

Směrnice EMC 2004/108/EC platí od 20. července 2007. Klíčovým poselstvím této směrnice je, že zařízení generující elektromagnetické rušení – nebo jehož provoz může být takovým rušením negativně ovlivněn – musí být provozováno takovým způsobem, aby bylo omezeno generování elektromagnetického rušení do té

míry, aby při jeho používání k určenému účelu bylo možné použití rádiových a telekomunikačních zařízení a také dalších zařízení vykazujících dostatečný stupeň odolnosti vůči elektromagnetickému rušení. Protože měniče kmitočtu nejsou zařízení určená k samostatnému provozu a nejsou všeobecně

dostupná, není nutné prokázat dodržení směrnice EMC ani značkou CE, ani prohlášením o shodě ES. Nicméně měniče kmitočtu Danfoss jsou opatřeny značkou CE, která prokazuje splnění požadavků směrnice EMC, a dále je možné obdržet i prohlášení o shodě.

Směrnice o zařízeních nízkého napětí

Směrnice o zařízeních nízkého napětí 73/23/EEC začala platit 11. června 1979; přechodné období skončilo 31. prosince 1996. Klíčovým poselstvím této směrnice je, že elektrické zařízení se jmenovitým napětím 50 až 1 000 V AC nebo 75 až 1 600 V DC musí být provozováno takovým způsobem, aby byla zajištěna bezpečnost a ochrana zdraví lidí a domácích zvířat, a

zachování potřebného materiálu, za předpokladu, že bylo zařízení správně instalováno a vhodným způsobem udržováno a používáno. Protože měniče kmitočtu představují elektrická zařízení v daném rozsahu napětí, podléhají směrnicí o zařízeních nízkého napětí, a všechna zařízení vyrobená po 1. lednu 1997 musí být opatřena značkou CE.

Poznámka: Výrobce strojů nebo systémů musí zajistit, aby používali měniče kmitočtu opatřené značkou CE. Na požádání musí předložit prohlášení o shodě ES.

Index

A

Active front end	17, 19, 20, 46
Agresivní ovzduší nebo plyny	28
Aktivní filtry	17, 18, 20, 46
Amoniak	28
Amplituda	15
Analýza sítě	16, 24
Asymetrické zatížení	24
Asymetrie zatížení	24
ATEX	30
Automatická optimalizace spotřeby energie (AEO)	9, 54

C

Celkový systém	8
Centrální kompenzace	18
Chladič	29
Chlazení	27, 29
Chlor	28
Cos φ	23

Č

Čerpadlové systémy	10
--------------------	----

D

Doba běhu, čerpadlo	10
Doba návratnosti investice	8
Dodatečná montáž	8, 36
Dostupnost	8, 16
Druhá úroveň ochrany	21
dU/dt filtr	20, 35, 36, 37
Dusík	28

E

EC motory	33, 34
Efektivní hodnota	16
Elektromagnetické vlny	14
EMC	12, 13, 14, 21, 25, 38, 44
EMC charakteristiky	12
EMC průchodky	37
Energetická síť	15
Energetická účinnost	7

F

Faktor nákladů	10
Filtr harmonických kmitočtů	16, 17, 42, 43
Filtrační rohože	29
Fluorovodík	28
Fourierova analýza	15
Fázový posun	23

G

Generátor	24
-----------	----

H

Harmonická složka proudu	16, 18
Harmonické	14
Harmonické zatížení	24
Harmonické zkreslení	15, 17, 18

I

IEC krytí	32
Impedance sítě	24
Individuální kompenzace	18
Individuální uzemnění	12
Indukční spojení	14
Instalační podmínky	25
Izolace motoru	36, 37

J

Jalový proud	9, 35
Jalový výkon	24
Jmenovitý proud motoru	8, 41

K

Kabelová hrdla (běžná a EMC)	39
Kapacitní spojení	14
Klimatické podmínky	27
Klimatizace	27
Kompenzační proud	18
Kondenzace	27
Kondenzátor	17
Konfigurace	51
Konstantní křivka charakteristik	41, 42
Kontaktní místa	38
Kontrolní seznam projektu	6, 62
Koroze	28
Krytí	26
Kvalita	7
Kvalita síťového napájení	15, 16, 17
Křivky charakteristik	15

L

Lakované desky	28
LC filtr, obvody	34, 46
Lineární charakteristika	41, 42
Low Harmonic Drive (LHD)	17, 19, 46
Ložiska motoru	33, 36
Ložiskový proud	35

M

Magnetické pole	14
Mechanismus spojení	14
Meziobvod	17, 19, 23, 27, 45
Momentová charakteristika	8, 41, 42
Montáž do rozvaděče (centrální montáž)	25
Montáž na stěnu (místní)	25
Montážní sada panelu	50
Motorový kabel	35, 36, 37, 39, 40
Motory s permanentními magnety (PM/PMSM)	33, 34

N			
Nadsynchronní rozsah	8	Provozní náklady	8
Napětí meziobvodu	17, 20	Provozní náklady	8, 10
Napětí stejnosměrného meziobvodu	34, 37	Provozní náklady (LCC)	7, 10
Nelineární charakteristika	42	Provozovatel zařízení	15
Nesinusové proudy	15	Průmyslová síť	15
Nulový vodič, samostatný/kombinovaný	12	Průmyslové prostředí	22, 24
Náhlé zatížení	8	Průtok	8
Náklady na energii	10	PTC termistor	30, 43, 48, 54
Náklady na instalaci	10	Přechodové jevy	18, 23, 24, 41
Náklady na likvidaci	10	Přechodové jevy v napájecím napětí	17, 23, 24
Náklady na opravy	8	Předpis pro strojní zařízení	55
Náklady na prostoje	10	Přenos rušení	12
Náklady na prostředí	10	Přetížitelnost	41
Náklady na uvedení do provozu	10	Připojené zatížení	8
Náklady na vyřazení z provozu	10	Příjemce rušení	14
Náklady na údržbu	7, 10	Působení prachu	29
Nároky na izolaci	33		
Nároky na ložiska	35		
O		R	
Obecná norma	21	Regulační rozsah	8
Obytné prostředí	22, 24	Regulační smyčka	53
Ochrana proti výbuchu (ATEX)	30	Relativní vlhkost	27
Ochranný zemnicí vodič	12	Rezonance	24
Odolnost vůči rušení	13, 2	RFI	21, 36, 44
Okolní podmínky	7, 25	RFI filtr	21, 42
Omezení rozběhového proudu	8	Rozptyl tepla/ztrátový výkon	27, 35
Opatření stínění	39	Rušení rozhlasového a televizního vysílání	21, 22, 44
Opotřebení materiálu	8	Rušení sítě	15, 16-20, 44
Ovládací panel	49, 50	Rušivá pole	14
Ozon	28		
P		Ř	
Paralelní provoz	41	Řídicí místnost	27
Pasivní filtry	17, 20, 46	Řízení Emax	8
PLC	53	Řízení procesu	53
Plné zatížení	8	Řízení ventilu	10
Podmínky připojení	15		
Pohonný systém	8	S	
Pokles napětí	36, 37, 41	Sběrníkový systém	52
Poklesy napětí	8	Schválení PTB	30
Potenciál úspory energie	8, 9	Sinusové napětí	15
Počáteční kapitálové náklady	10	Sinusový filtr	30, 36
Pracovní bod	8	Sirovodík	28
Pravidla proporcionality	9	Skupinová kompenzace	18
Projektant zařízení	7	Směrnice	15, 55
Projektování	7	Směrnice EMC	55
Prostředí (1 nebo 2)	21, 22, 23, 24, 39	Směrnice o zařízeních nízkého napětí	55
Proudové spektrum		Snížení/odlehčení	13, 42
Proudový chránič	47	Soufázový filtr	36
Proudový chránič	47	Spektrum zkreslení	18
Proudění vzduchu	27, 29	Spojení se zemí	38
Provoz při částečném zatížení	8, 9	Spotřeba	9
Provoz s několika motory	41	Spotřeba proudu	15
Provozní místo (EMC)	21, 22, 25	Standardy minimální účinnosti (MEPS)	31, 32
		Stroje s průtokem kapalin	9, 41
		Stínění	39

Index

Střídavé vinutí	24
Svodový proud	47, 48
Systém IT	12
Systém potrubí	8
Systém sítě TT	12
Systémy TN	12
Síť nízkého napětí	24
Síťová pojistka/jistič	44
Síťové tlumivky	44, 45
Síťový filtr	21
Síťový systém	8, 12, 15, 23

Š

Škrticí ventil	9, 10
Špičkové proudy	8

T

Teplota okolí	27
Teplotní zatížení	35
THD (total harmonic distortion = celkové harmonické zkreslení)	15, 17, 18, 20, 45
Tlak	8
Tlumivky	17, 23, 24, 37, 45
Transformátor (zatížení, využití)	24, 45
Typ sítě	12
Třída ochrany proti vznícení	30
Třídy IE	31
Třídy ochrany	25, 26
Třídy účinnosti	31, 41
Třífázové indukční motory (TPIM)	33

U

Usměrňovač	15, 17, 24, 46
Uzemnění	38, 48
Uzemnění zařízení	38
Uzemněný nulový vodič	12

Ú

Údery blesku	3
Údržba	53
Úroveň rušení	21
Úspory energie	8
Účinnost motoru	31
Účinník	17, 19, 23

V

V/f charakteristika	9
Varistor	23
Veřejná rozvodná síť	15
Vinutí	35
Vlnová délka	14
Vodivé spojení	14
Vodič	37, 38, 43
Volný prostor pro montáž	27
Volumetrický průtok	10
Vstupní usměrňovač	15
Vyhřívání rozvaděče	27
Vyzařované spojení	14
Vyzařování	39
Vyzařování rušení	13
Výměna dat	51
Výpočet harmonické složky	16, 24
Výpočet sítě	16, 46
Výrobní norma	21
Výstupní filtr	36, 37, 38

Z

Zdroj rušení	14
Zdánlivý výkon	16
Zemní smyčka	38
Zkrat	21
Zkreslení	15
Zkreslení sinusového průběhu	15
Značka CE	55
Znečištění	28
Zobrazení dat	49, 50
Ztráty podpětím	16
Zvláštní prostředí	22
Zvýšení kapacity	8
Záložní napájecí systémy	24
Zátěžová charakteristika	42

Ž

Životnost	8, 27, 29, 42
-----------	---------------

Zkratky

AFE	Active Front End
AHF	Advanced Harmonic Filters (zdokonalené filtry harmonických kmitočtů)
ATEX	Atmosphère explosible (výbušné prostředí)
CE	Communauté Européenne
CEMEP	European Committee of Manufacturers of Electrical Machines and Power Electronics (Evropský výbor výrobců elektrických strojů a výkonové elektroniky)
DC	Doba zatížení
Eff	Třídy účinnosti (motory)
EMD	Elektromagnetické vybíjení
EMC	Elektromagnetická kompatibilita
EN	Evropská norma
FC	Měnič kmitočtu
IE	Mezinárodní účinnost (motory)
IEC	International Electrotechnical Commission
Krytí	Ochrana proti vniknutí
LCC	Provozní náklady
LHD	Low Harmonic Drive
MEPS	Minimum Efficiency Performance Standards (Standardy minimální účinnosti)
PCB	deska plošného/tištěného obvodu
PFC	Korekce účiníku
PLC	Programovatelný logický regulátor
PTB	Physikalisch – Technische Bundesanstalt
PTC	Pozitivní koeficient teploty
RCCB	Proudový chránič
RCD	Proudový chránič
RFI	Vysokofrekvenční rušení
THD	Total Harmonic Distortion = celkové harmonické zkreslení

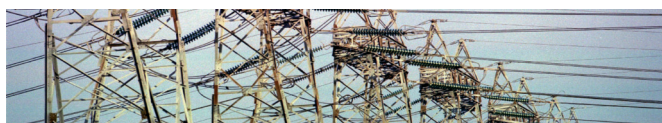


Kontrolní seznam projektu měniče kmitočtu

Čtyři kroky základního projektu měniče kmitočtu pro spolehlivý provoz aplikace ve vodárenství nebo zpracování odpadních vod

Začněte po stanovení úkolu měniče a momentových charakteristik.

Po ověření všech položek kontrolního seznamu můžete s důvěrou hledět vstříc bezproblémovému provozu zařízení.



Síťové systémy

☐	Typ sítě: TN-C, TN-S, TT, IT	TN-S je preferována z hlediska EMC. U sítí systému IT jsou zapotřebí speciální opatření.
☐	EMC	Dodržujte normy EMC a jejich limity.
☐	Rušení sítě (nízký kmitočet)	Jaké rušení sítě je již přítomné? Jaká je maximální povolená harmonická složka proudu (THD)?
☐	Rušení rozhlasového a televizního vysílání (vysoký kmitočet)	Jaká je třída prostředí (1 nebo 2) zařízení?
☐	Zařízení pro korekci účinníku	Instalujte zařízení pro korekci účinníku s tlumivkami.
☐	Přechodové jevy v napájecím napětí	Jsou měniče kmitočtu adekvátně chráněny proti přechodovým jevům v napájecím napětí?
☐	Max. využití transformátoru	Obecné pravidlo zatížení transformátoru: přibližně 40% zatížení měniče kmitočtu (s tlumivkou).
☐	Provoz se záložním generátorem	Zde platí pro měnič kmitočtu jiné podmínky než při provozu s připojením k el. síti.



Okolní podmínky

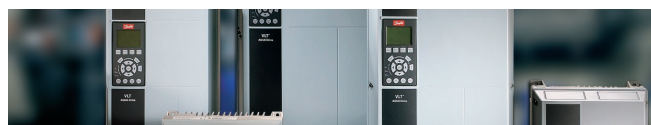
☐	Umístění instalace	Bude měnič kmitočtu namontován centrálně v rozvaděči (IP20) nebo místně na stěně (IP54 nebo IP66)?
☐	Koncepce chlazení	Chlazení rozvaděče a měniče kmitočtu; vysoké teploty poškozují všechny typy elektronických komponent.
☐	Agresivní ovzduší nebo plyny	Lakované desky plošných spojů pro ochranu proti agresivním plynům: sirovodík (H_2S), chlor (Cl_2) a čpavek (NH_3).
☐	Působení prachu	Prach přítomný na měniči kmitočtu nebo v něm snižuje účinnost chlazení.
☐	Prostředí s nebezpečím výbuchu	Měniče kmitočtu podléhají omezením.





Motor a kabeláž

☐	Třídy účinnosti motoru	Výběr úsporného motoru
☐	Vhodnost motoru pro provoz s měničem kmitočtu	Požádejte dodavatele motoru o potvrzení vhodnosti pro provoz s měničem kmitočtu.
☐	Výstupní filtr: sinusový nebo du/dt	Přídavné filtry pro speciální aplikace.
☐	Motorový kabel	Použijte kabel s vhodným stíněním. Dodržujte specifikaci maximální délky kabelu měniče kmitočtu.
☐	Opatření týkající se uzemnění	Zajistěte správné vyrovnání potenciálů. Je k dispozici plán uzemnění?
☐	Stínění	Použijte kabelová hrdla EMC a řádně ukončete stínění.



Měnič kmitočtu

☐	Dimenzování a výběr	Rozměry podle proudu motoru. Vezměte v úvahu poklesy napětí.
☐	Zvláštní případ Provoz s několika motory	Platí zvláštní podmínky.
☐	Rušení rozhlasového a televizního vysílání (vysoký kmitočet)	Specifikujte vhodné RFI filtry pro dané EMC prostředí.
☐	Rušení sítě (nízký kmitočet)	Použijte síťové tlumivky pro snížení harmonických složek proudu.
☐	Opatření týkající se uzemnění	Byla podniknuta opatření k eliminování svodových proudů?
☐	Proudové chrániče	Použijte proudové chrániče typu B.
☐	Ochrana motoru a PTC termistor motoru	Měnič kmitočtu monitoruje PTC termistor motoru. (schválení PTB pro zónu EX)
☐	Obsluha a zobrazení dat	Obsluha a zobrazení dat pomocí textového displeje (instalovaného ve dveřích rozvaděče).
☐	Výměna dat (sběrníkové systémy)	Pomocí sběrníkových systémů (např. Profibus) nebo pomocí konvenčního propojení svorek vodiči.
☐	Řízení procesu	Měniče kmitočtu provádí úlohy PLC nebo realizují autonomní regulační smyčky.
☐	Údržba	Je měnič kmitočtu bezúdržbový?

Poznámky

Co znamená značka VLT®

Společnost Danfoss Drives je předním dodavatelem měničů kmitočtu se stále narůstajícím podílem na trhu.

Odpovědnost k životnímu prostředí

Měniče kmitočtu VLT® jsou vyráběny s důrazem na bezpečnost a na příznivé působení vůči lidem a životnímu prostředí.

Všechny továrny na měniče kmitočtu jsou certifikované podle normy ISO 14001 a ISO 9001.

Všechny činnosti jsou plánovány a prováděny ohleduplně k jednotlivým zaměstnancům, k jejich pracovnímu prostředí a k vnějšímu prostředí. Ve výrobě je na minimum omezen hluk, kouř a ostatní znečištění, odpad nesmí mít nepříznivý vliv na životní prostředí.

UN Global Compact

Společnost Danfoss podepsala globální dohodu OSN „UN Global Compact“ o společenské a environmentální odpovědnosti a naše závody odpovídají za dodržování místních předpisů.

Důraz na úsporu energie

Energetické úspory měničů kmitočtu VLT® vyrobených u nás během jednoho roku jsou srovnatelné s energií vyrobenou jednou velkou elektrárnou. Dokonalejší řízení procesu současně zlepšuje kvalitu výrobků a zmenšuje ztráty a opotřebení zařízení.



Oddání měničům

Oddání měničům

Nadšení pro měniče trvá již od roku 1968, kdy společnost Danfoss zavedla celosvětově první hromadnou výrobu měničů kmitočtu pro řízení rychlosti střídavých motorů a tyto měniče pojmenovala VLT®.

2500 zaměstnanců společnosti vyvíjí, vyrábí, prodává a zajišťuje servis měničů kmitočtu a soft-startérů ve více než stovce zemí, přičemž se zaměřuje výhradně na měniče kmitočtu a soft-startéry.

Inteligentní a inovační

Vývojáři společnosti Danfoss při vývoji, konstrukci, výrobě a v konfiguracích důsledně uplatňují principy modularity.

Nové vlastnosti zařízení jsou vyvíjeny na cílené technologické platformě. To je předpokladem pro souběžný vývoj všech prvků, přičemž se zkracuje doba, během které se dostanou na trh. Současně je tím zaručeno, že zákazníci budou mít vždy k dispozici zařízení s nejnovějšími vlastnostmi.

Spolehnutí na odborníky

Zodpovídáme za všechny díly svých výrobků. Skutečnost, že vyvíjíme a vyrábíme celý náš výrobní program, hardware, software, výkonové moduly, desky plošných spojů a příslušenství, je zárukou spolehlivosti výrobků.

Celosvětová podpora

Měniče kmitočtu VLT® pro řízení motorů pracují v nejrůznějších aplikacích po celém světě.

Odborníci ze společnosti Danfoss Drives, které najdete ve více než 100 zemích, jsou připraveni pomoci svým zákazníkům při řešení aplikací a se servisem bez ohledu na to, kde se zákazníci nacházejí.

Odborníci ze společnosti Danfoss Drives neukončí své úsilí, dokud nebudou požadavky zákazníků v aplikacích s měniči kmitočtu úspěšně vyřešeny.

