

2006

<p>Točivé elektrické stroje - Část 25: Návod pro navrhování a vlastnosti asynchronních motorů nakrátko navržených speciálně pro napájení z měničů</p>	<p>ČSN CLC/TS 60034-25 35 0000</p>
---	---

idt IEC TS 60034-25:2004

Rotating electrical machines -

Part 25: Guide for the design and performance of cage induction motors specifically designed for converter supply

Machines électriques tournantes -

Partie 25: Guide du projet et caractéristiques des moteurs à induction à cage destinés pour alimentation par convertisseurs

Drehende elektrische Maschinen -

Teil 25: Leitfaden für den Entwurf und das Betriebsverhalten von Induktionsmotoren mit Käfigläufer, die speziell für Umrichterbetrieb bemessen sind

Tato norma je českou verzí technické specifikace CLC/TS 60034-25:2005. Překlad byl zajištěn Českým normalizačním institutem. Má stejný status jako oficiální verze.

This standard is the Czech version of the Technical Specification CLC/TS 60034-25:2005. It was translated by Czech Standards Institute. It has the same status as the official version.

	<p>© Český normalizační institut, 2006 76542 Podle zákona č. 22/1997 Sb. smějí být české technické normy rozmnožovány a rozšiřovány jen se souhlasem Českého normalizačního institutu.</p>
--	---

Národní předmluva

Upozornění na používání této normy

Tato norma přejímá technickou specifikaci CLC/TS 60034-25:2004 vydanou v souladu s Vnitřními předpisy CEN/CENELEC, Část 2.

Převzetí TS do národních norem členů CEN/CENELEC není povinné a tato TS nemusí být na národní úrovni převzata jako normativní dokument.

Informace o citovaných normativních dokumentech

IEC 60034-1 zavedena v ČSN EN 60034-1 (35 0000) Točivé elektrické stroje - Část 1: Jmenovité údaje a vlastnosti

IEC 60034-2:1972 zavedena v ČSN EN 60034-2:1998 (35 0000) Točivé elektrické stroje - Část 2: Metody určování ztrát a účinnosti točivých elektrických strojů ze zkoušek (s výjimkou strojů pro trakční vozidla)

IEC 60034-6 zavedena v ČSN EN 60034-6 (35 0000) Točivé elektrické stroje - Část 6: Způsoby chlazení (IC kód)

IEC 60034-9 zavedena v ČSN EN 60034-9 (35 0000) Točivé elektrické stroje - Část 9: Mezní hodnoty hluku

IEC 60034-14 zavedena v ČSN EN 60034-14 (35 0000) Točivé elektrické stroje - Část 14: Mechanické vibrace určitých strojů s výškou osy od 56 mm - Měření, hodnocení a mezní hodnoty mohutnosti vibrací

IEC 60034-17 zavedena v ČSN CLC/TS 60034-17 (35 0000) Točivé elektrické stroje - Část 17: Asynchronní motory nakrátko napájené z měničů - Návod na používání

IEC 61800-2 zavedena v ČSN EN 61800-2 (35 1720) Systémy elektrických výkonových pohonů s nastavitelnou rychlostí - Část 2: Všeobecné požadavky - Specifikace výkonu pro nízkonapěťové systémy střídavých výkonových pohonů s nastavitelným kmitočtem

IEC 61800-3 zavedena v ČSN EN 61800-3 (35 1720) Systémy elektrických výkonových pohonů s nastavitelnou rychlostí - Část 3: EMC-norma výrobku zahrnující specifické zkušební metody

IEC 61800-5-1 zavedena v ČSN EN 61800-5-1 (35 1720) Systémy elektrických výkonových pohonů s nastavitelnou rychlostí - Část 5-1: Bezpečnostní požadavky - Elektrické, tepelné a energetické

Informativní údaje z IEC/TS 60034-25:2004

Hlavním úkolem technických komisí IEC je vypracovat mezinárodní normy. Ve zvláštních případech mohou technické komise navrhnout vydání technické specifikace, jestliže

- nelze získat přes opakovanou snahu požadovanou podporu pro vydání mezinárodní normy, nebo
- předmět normy je stále ve stadiu technického vývoje, nebo kde je z jakéhokoliv jiného důvodu možnost souhlasu s mezinárodní normou v budoucnu, nikoliv však okamžitě.

Technické specifikace podléhají do tří let od vydání revizi, aby se rozhodlo, zda mohou být převedeny na mezinárodní normy.

IEC 60034-25, která je technickou specifikací, vypracovala technická komise IEC 2: Točivé stroje.

Text této technické specifikace vychází z těchto dokumentů:

Návrh k vyjádření	Zpráva o hlasování
2/1271/DTR	2/1288/RVC

Úplné informace o hlasování při schvalování této technické specifikace je možné nalézt ve zprávě o hlasování uvedené v tabulce.

Tato publikace byla vypracována v souladu se směrnicemi ISO/IEC, Část 2.

Komise rozhodla, že obsah této publikace zůstane nezměněn do roku 2007. K tomuto datu bude publikace

- znovu potvrzena;
- zrušena;
- nahrazena revidovaným vydáním, nebo
- změněna.

Dvojjazyčné vydání této technické specifikace může být vydáno později.

Strana 3

Souvisící ČSN

ČSN CLC/TS 60034-26 (35 0000) Točivé elektrické stroje - Část 26: Vlivy nesymetrických napětí na vlastnosti trojfázových asynchronních motorů (idt IEC/TS 60034-26:2002, idt CLC/TS 60034-26:2004)

ČSN IEC 60050-351 (33 0050) Mezinárodní elektrotechnický slovník - Část 351: Automatické řízení (idt IEC 60050-351:1998)

ČSN IEC 60050-551 (33 0050) Mezinárodní elektrotechnický slovník - Část 551: Výkonová elektronika (idt IEC 60050-551:1998)

ČSN IEC 60050-551-20 (33 0030) Mezinárodní elektrotechnický slovník - Část 551-20: Výkonová elektronika - Harmonická analýza (idt IEC 60050-551-20:2001)

ČSN EN 60079 (33 2320) soubor Elektrická zařízení pro výbušnou plynnou atmosféru (idt EN 60079 soubor)

ČSN ISO 10816-3 Vibrace - Hodnocení vibrací strojů na základě měření na nerotujících částech - Část 3: Průmyslové stroje se jmenovitým výkonem nad 15 kW a jmenovitými otáčkami mezi 120 1/min a 15 000 1/min při měření in situ (idt ISO 10816-3:1998)

Upozornění na národní poznámky

Do této normy byly doplněny ke kapitole 1, obrázku 18, článku 9.1.1 a k Bibliografii informativní národní poznámky.

Vypracování normy

Zpracovatel: Radka Horská, Elnormservis, IČ 16315251

Technická normalizační komise: TNK 129 Točivé elektrické stroje

Pracovník Českého normalizačního institutu: Viera Borošová

Strana 4

Prázdná strana

Strana 5

EVROPSKÁ NORMA EUROPEAN STANDARD NORME EUROPÉENNE EUROPÄISCHE NORM	CLC/TS 60034-25 Říjen 2005
---	-----------------------------------

ICS 29.160

Točivé elektrické stroje

Část 25: Návod pro navrhování a vlastnosti asynchronních motorů
nakrátko navržených speciálně pro napájení z měničů
(IEC/TS 60034-25:2004)

Rotating electrical machines

Part 25: Guide for the design and performance of cage induction motors
specifically designed for converter supply
(IEC/TS 60034-25:2004)

Drehende elektrische Maschinen
Teil 25: Leitfaden für den Entwurf
und das Betriebsverhalten von
Induktionsmotoren
mit Käfigläufer, die speziell für
Umrichterbetrieb
bemessen sind
(IEC/TS 60034-25:2004)

Tato technická specifikace byla schválena CENELEC 2005-06-04.

Členové CENELEC jsou povinni oznámit existenci této TS stejným způsobem jako u EN a umožnit, aby TS byla v příslušné formě okamžitě dostupná. Je dovoleno, aby zůstaly v platnosti národní normy, které jsou s TS v rozporu.

Členy CENELEC jsou národní elektrotechnické komitety Belgie, České republiky, Dánska, Estonska, Finska, Francie, Irska, Islandu, Itálie, Kypru, Litvy, Lotyšska, Lucemburska, Maďarska, Malty, Německa, Nizozemska, Norska, Polska, Portugalska, Rakouska, Řecka, Slovenska, Slovinska, Spojeného království, Španělska, Švédsko a Švýcarska.

CENELEC

Evropský výbor pro normalizaci v elektrotechnice
European Committee for Electrotechnical Standardization
Comité Européen de Normalisation Electrotechnique
Europäisches Komitee für Elektrotechnische Normung
Ústřední sekretariát: rue de Stassart 35, B-1050 Brusel

© 2005 CENELEC Veškerá práva pro využití v jakékoli formě a jakýmikoli prostředky jsou celosvětově vyhrazena členům CENELEC.

Ref. č. CLC/TS 60034-

25:2005 E

Strana 6

Předmluva

Text této technické specifikace IEC/TS 60034-25:2004 vypracovaný IEC TC 2 Točivé stroje, byl předložen k formálnímu hlasování a CENELEC jej schválil jako CLC/TS 60034-25 dne 2005-06-04.

Byla stanovena tato data:

- nejzazší datum oznámení existence CLC/TS
na národní úrovni (doa) 2005-12-04

Přílohu ZA doplnil CENELEC.

Oznámení o schválení

Text technické specifikace IEC/TS 60034-25:2004 byl schválen CENELEC jako technická specifikace bez jakýchkoliv modifikací.

Strana 7

Obsah

Strana

Předmluva

..... 6

Úvod

..... 10

1 Rozsah platnosti

..... 11

2	Normativní odkazy	..... 11
3	Termíny a definice	..... 12
4	Charakteristiky systému	..... 13
4.1	Všeobecně	..... 13
4.2	Informace o systému	..... 13
4.3	Úvahy týkající se momentu a otáček.....	13
4.3.1	Všeobecně	..... 13
4.3.2	Závislost momentu na otáčkách	..... 13
4.3.3	Charakteristiky závislosti napětí na otáčkách.....	15
4.3.4	Faktory omezující závislost momentu na otáčkách.....	15
4.3.5	Pásma rezonančních otáček	..... 15
4.3.6	Pracovní cykly	..... 16

4.4	Typy řízení měniče	.....
	..... 16	
4.4.1	Všeobecně	.....
	..... 16	
4.4.2	Úvahy týkající se typu měniče	.....
	17	
4.5	Vytváření výstupního napětí měniče.....	.....
	18	
4.5.1	Impulzní šířková modulace (PWM).....	.....
	18	
4.5.2	Hystereze (klouzavý režim)	.....
	. 18	
4.5.3	Vliv spínacího kmitočtu	.....
	..... 18	
4.5.4	Víceúrovňové měniče	.....
	..... 19	
4.6	Požadavky na motor	.....
	..... 19	
5	Ztráty a jejich působení	.....
	..... 21	
5.1	Všeobecně	.....
	..... 21	

5.2	Ztráty v motorech napájených z napě»ových měničů.....	21
5.3	Lokalizace dalších ztrát a způsoby jejich omezení.....	22
5.4	Charakteristické vlastnosti měniče zaměřené na snížení ztrát motoru.....	22
5.5	Teplota a předpokládaná životnost.....	23
5.6	Stanovení účinnosti motoru	23
6	Hluk, vibrace a oscilační momenty	23
6.1	Hluk a vibrace asynchronního motoru napájeného z měniče.....	23
6.1.1	Všeobecně	23
6.1.2	Změny ve vyzařování hluku v důsledku změn otáček.....	24
6.1.3	Magneticky buzený hluk	24
6.1.4	Torzní kmity	25
6.2	Určení a mezní hodnoty hladiny akustického výkonu.....	25
6.2.1	Metody měření	25
6.2.2	Podmínky zkoušky	

.....
..... 25

6.2.3 Mezní hodnoty hladiny akustického výkonu..... 26

Strana 8

Strana

6.3 Určení a mezní hodnoty hladiny vibrací..... 26

6.3.1 Metoda měření
.....
..... 26

6.3.2 Podmínky zkoušky
.....
..... 26

6.3.3 Mezní hodnoty hladiny vibrací
.....
26

7 Elektrická namáhání izolace motoru..... 26

7.1 Všeobecně
.....
..... 26

7.2 Příčiny
.....
..... 27

7.3 Elektrické namáhání vinutí
.....
. 29

7.4 Omezení namáhání izolace
.....
30

7.5 Odpovědnost
.....
..... 30

7.6 Charakteristiky

	měníče	
	.....	31
7.7	Metody omezení namáhání napětím.....	31
7.8	Výběr motoru	
	.....	32
8	Ložiskové proudy	
	.....	32
8.1	Zdroje ložiskových proudů v motorech napájených z měničů.....	32
8.1.1	Všeobecně	
	.....	32
8.1.2	Magnetická asymetrie	
	.....	32
8.1.3	Vytvoření elektrostatického pole.....	33
8.1.4	Vysokofrekvenční napětí	
	.....	33
8.2	Vytváření vysokofrekvenčních ložiskových proudů.....	33
8.2.1	Všeobecně	
	.....	33
8.2.2	Vyrovnávací proud	
	.....	34
8.2.3	Proud uzemnění hřídele	
	.....	34
8.2.4	Proud kapacitního	

výboje	.....
... 34	
8.3 Souhlasný obvod	.....
..... 34	
8.3.1 Všeobecně	.....
..... 34	
8.3.2 Průtok soufázového proudu systému.....	34
8.4 Rozptylové kapacity	.....
..... 35	
8.4.1 Všeobecně	.....
..... 35	
8.4.2 Hlavní složka kapacity	.....
..... 35	
8.4.3 Jiné kapacity	.....
..... 35	
8.5 Důsledky nadměrných ložiskových proudů.....	36
8.6 Zabránění poškození vysokofrekvenčním ložiskovým proudem.....	36
8.6.1 Základní přístupy	.....
..... 36	
8.6.2 Jiná preventivní opatření	.....
.... 37	
9	
Instalace	.....
..... 38	
9.1 Uzemnění, vodivé pospojování a kabeláž.....	38

9.1.1	Všeobecně	.....
		.....	38
9.1.2	Uzemnění	.....
		.....	38
9.1.3	Pospojování motorů	.....
		.....	39
9.1.4	Silové kabely motoru	.....
		.....	39
9.2	Tlumivky a filtry	.....
		.....	43
9.2.1	Všeobecně	.....
		.....	43
9.2.2	Výstupní tlumivky	.....
		.....	43
9.2.3	Filtr omezující napětí (filtr dv/dt)	.....
		.....	43

9.2.4	Sinusový filtr	.....
		.....	43
9.2.5	Jednotka s filtry pro motor	.....
		..	44

Příloha A (informativní) Výstupní spektra měniče.....	45
--	----

.....	47
Příloha ZA (normativní) Normativní odkazy na mezinárodní publikace s jejich příslušnými evropskými normami..	48
Obrázek 1 - Součásti PDS	10
Obrázek 2 - Závislost momentu na otáčkách.....	14
Obrázek 3 - Výstupní proud měniče.....	14
Obrázek 4 - Výstupní napětí měniče.....	15
Obrázek 5 - Vlivy spínacího kmitočtu na ztráty motoru a měniče.....	18
Obrázek 6 - Vlivy spínacího kmitočtu na akustický hluk.....	18
Obrázek 7 - Vlivy spínacího kmitočtu na zvlnění momentu.....	19
Obrázek 8 - Příklad naměřených ztrát W jako funkce kmitočtu f a typu napájení.....	21
Obrázek 9 - Přídavné ztráty DW motoru (stejný motor jako na obrázku 8) v důsledku napájení z měniče jako funkce kmitočtu impulzů f_p při rotačním kmitočtu 50 Hz.....	22
Obrázek 10 - Hluk ventilátoru v závislosti na rychlosti ventilátoru.....	24
Obrázek 11 - Typické rázové impulzy na svorkách motoru napájeného z měniče s PWM.....	27
Obrázek 12 - Typické napě»ové rázové impulzy na jedné fázi měniče a na svorkách motoru (2 ms/dílek).....	28
Obrázek 13 - Jednotlivý rázový impulz s krátkou dobou náběhu z obrázku 12 (1 ms/dílek).....	28
Obrázek 14 - Definice doby náběhu t_r napětí na svorkách motoru.....	29
Obrázek 15 - Napětí na prvním závitu v závislosti na době náběhu rázového impulzu.....	29

Obrázek 16 - Impulz výboje, k němuž dochází v důsledku napě»ového rázového impulsu vytvářeného měničem na svorkách motoru (100 ns/dílek).....	30
Obrázek 17 - Omezující křivky impulzního napětí V_{pk} naměřené mezi dvěma fázovými svorkami motoru v závislosti na době náběhu t_r impulsu.....	31
Obrázek 18 - Možné ložiskové proudy.....	33
Obrázek 19 - Kapacity motoru.....	35
Obrázek 20 - Důlková koroze ložiska způsobená elektrickým výbojem (průměr důlku 30 mm až 50 mm).....	36
Obrázek 21 - Drážkování ložiska způsobené nadměrným ložiskovým proudem.....	36
Obrázek 22 - Pásek pro pospojování od svorkovnice ke kostře motoru.....	39
Obrázek 23 - Příklady stíněných motorových kabelů a připojení motorů.....	40
Obrázek 24 - Paralelní symetrické kabelové propojení vysokovýkonového měniče a motoru.....	41
Obrázek 25 - Připojení měniče vysokofrekvenčními kabelovými hrdly v rozsahu 360° představující Faradayovu klec	41
Obrázek 26 - Kabelová koncovka na motoru s připojením v rozsahu 360°.....	42
Obrázek 27 - Připojení stínění kabelu.....	42
Obrázek 28 - Charakteristiky při jednotlivých preventivních opatřeních.....	44
Obrázek A.1 - Typická kmitočtová spektra výstupního napětí měniče s a) řízením PWM konstantního kmitočtu a b) hysterezním řízením.....	45
Obrázek A.2 - Typická kmitočtová spektra výstupního napětí měniče s a) řízením PWM náhodného	

kmitočtu a b) hysterezním řízením.....	45
Obrázek A.3 - Typické časové charakteristiky proudu motoru s a) řízením PWM konstantního kmitočtu a b) hysterezním řízením.....	46
Tabulka 1 - Významné faktory ovlivňující závislost momentu na otáčkách.....	15
Tabulka 2 - Kritéria návrhu motoru.....	19
Tabulka 3 - Parametry motoru.....	20
Tabulka 4 - Hladina akustického výkonu jako funkce výkonu.....	26
Tabulka 5 - Účinnost opatření proti ložiskovým proudům.....	37

Strana 10

Úvod

Tento úvod má vysvětlit účel této části IEC 60034.

Kategorie motorů

Jsou dvě kategorie asynchronních motorů nakrátko, které mohou být používány v systémech elektrických pohonů s říditelnými otáčkami.

- Standardní asynchronní motory nakrátko určené pro všeobecné použití. Návrh a vlastnosti těchto motorů jsou optimalizovány pro provoz při sinusovém napájení s pevným kmitočtem. Jsou však obecně vhodné i pro použití v systémech pohonů s říditelnými otáčkami.

Návod pro tuto oblast použití je uveden v IEC 60034-17.

- Asynchronní motory nakrátko navržené speciálně pro provoz s měniči. Návrh a konstrukce takových motorů může vycházet ze standardních motorů s normalizovanými velikostmi kostry a rozměry, avšak s úpravami pro provoz s měniči.

Tato část IEC 60034 se vztahuje na tuto kategorii a doporučuje se, aby byl motor označen odkazem na tuto část IEC 60034.

Motory pro napájení z měničů o napětí vyšším než 1 000 V, nebo pro jiné než napě»ové měniče,

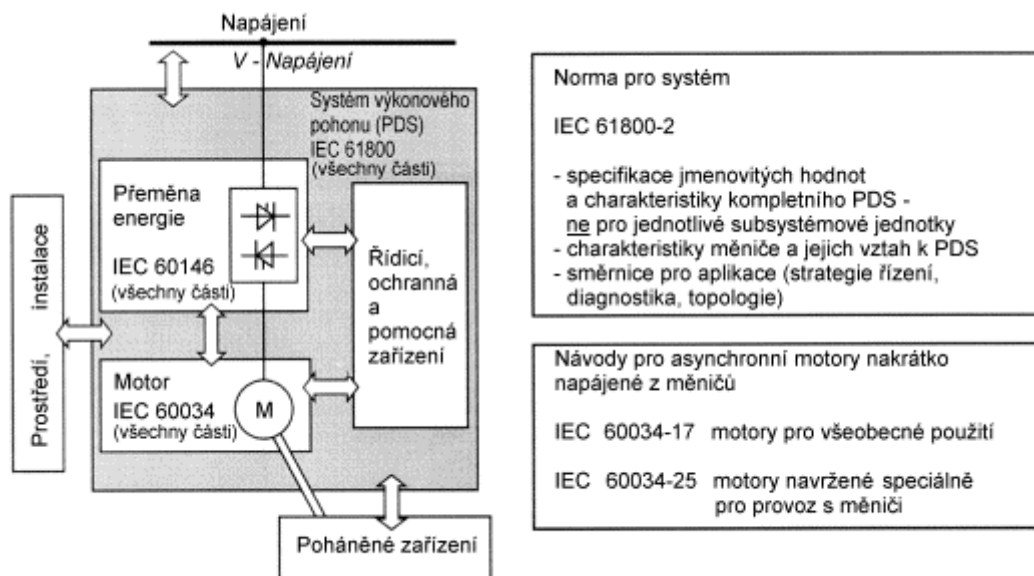
budou vzaty v úvahu v dalších vydáních této části IEC 60034.

Začlenění motoru do systému výkonového pohonu

Systém výkonového pohonu (PDS (Power Drive System)) je znázorněn na obrázku 1. PDS sestává z motoru a z kompletní pohonné jednotky (CDM (Complete Drive Module)). Nezahrnuje zařízení poháněné motorem. CDM zahrnuje základní pohonnou jednotku (BDM (Basic Drive Module)) a její možná rozšíření, jako je napájecí sekce nebo některá pomocná zařízení (např. ventilace). BDM zahrnuje měnič, řízení a funkce pro vlastní ochranu. Jmenovité hodnoty a vlastnosti kompletního PDS jsou obecně zahrnuty do IEC 61800-2.

POZNÁMKA Další podrobnosti o struktuře PDS uvádí obrázek 1 IEC 61800-2.

Samotný motor a doplňující specifické požadavky na jeho správné začlenění do PDS jsou předmětem souboru norem IEC 60034.



Obrázek 1 - Součásti PDS

1 Rozsah platnosti

Tato část IEC 60034 popisuje charakteristické rysy návrhu a provozní charakteristiky vícefázových asynchronních motorů nakrátko, navržených speciálně pro používání při napájení napěťovými měniči do 1 000 V. Jako součást systému výkonového pohonu specifikuje také parametry rozhraní a vzájemné působení mezi motorem a měničem, včetně návodu pro instalaci.

POZNÁMKA 1 Pro motory, které pracují v potenciálně výbušné atmosféře, platí doplňující požadavky popsané v souboru IEC 60079.

POZNÁMKA 2 Tato technická zpráva *) se nezabývá primárně bezpečností. Některá z jejích doporučení však mohou mít dopad na bezpečnost, která má být považována za nezbytnou.

POZNÁMKA 3 Pokud výrobce měniče poskytne zvláštní doporučení pro instalaci, tato doporučení mají mít přednost před doporučeními uvedenými v této technické zprávě.

2 Citované normativní dokumenty

Pro používání tohoto dokumentu jsou nezbytné dále uvedené referenční dokumenty. U datovaných odkazů platí pouze citovaná vydání. U nedatovaných odkazů platí poslední vydání referenčního dokumentu (včetně změn).

IEC 60034-1 Rotating electrical machines - Part 1: Rating and performance
(*Točivé elektrické stroje - Část 1: Jmenovité údaje a vlastnosti*)

IEC 60034-2:1972 Rotating electrical machines - Part 2: Methods for determining losses and efficiency of rotating electrical machinery from tests (excluding machines for traction vehicles)

Změna 1 (1995)

Změna 2 (1996)

(*Točivé elektrické stroje - Část 2: Metody určování ztrát a účinnosti točivých elektrických strojů ze zkoušek (s výjimkou strojů pro trakční vozidla)*)

IEC 60034-6 Rotating electrical machines - Part 6: Methods of cooling (IC Code)
(*Točivé elektrické stroje - Část 6: Způsoby chlazení (IC kód)*)

IEC 60034-9 Rotating electrical machines - Part 9: Noise limits
Točivé elektrické stroje - Část 9: Mezní hodnoty hluku

(*Točivé elektrické stroje - Část 9: Mezní hodnoty hluku*)

IEC 60034-14 Rotating electrical machines - Part 14: Mechanical vibration of certain machines with shaft heights 56 mm and higher - Measurement, evaluation and limits of vibration severity

(*Točivé elektrické stroje - Část 14: Mechanické vibrace určitých strojů s výškou osy 56 mm a výše - Měření, hodnocení a mezní hodnoty vibrací*)

IEC 60034-17 Rotating electrical machines - Part 17: Cage induction machines when fed from converters - Application guide

(*Točivé elektrické stroje - Část 17: Asynchronní motory nakrátko napájené z měničů - Návod na používání*)

IEC 61800-2 Adjustable speed electrical power drive systems - Part 2: General requirements - Rating specifications for low voltage adjustable frequency a.c. power drive systems

(*Systémy elektrických výkonových pohonů s nastavitelnou rychlostí - Část 2: Všeobecné požadavky - Specifikace výkonu pro nízkonapěťové systémy střídavých výkonových pohonů s nastavitelným kmitočtem*)

IEC 61800-3 Adjustable speed electrical power drive systems - Part 3: EMC product standard including specific test methods

(*Systémy elektrických výkonových pohonů s nastavitelnou rychlostí - Část 3: Požadavky EMC a specifické zkušební metody*)

IEC 61800-5-1 Adjustable speed electrical power drive systems - Part 5-1: Safety requirements - Electrical, thermal and energy

(*Systémy elektrických výkonových pohonů s nastavitelnou rychlostí - Část 5-1: Bezpečnostní požadavky - Elektrické, tepelné a energetické*)

*) NÁRODNÍ POZNÁMKA Tato norma je technickou specifikací (TS), nikoliv technickou zprávou

3 Termíny a definice

Pro účely této části IEC 60034 platí následující termíny a definice.

3.1

pospojování (*bonding*)

elektrické propojení kovových částí instalace mezi sebou a se zemí

POZNÁMKA Pro účely této části IEC 60034 tato definice kombinuje prvky IEC 195-01-10 (pospojování, vyrovnání potenciálů) a IEC 195-01-16 (pracovní pospojování).

3.2

měníč (*converter*)

pracovní jednotka pro elektronickou přeměnu energie, mění jednu nebo více elektrických charakteristik a zahrnují jednu nebo více elektronických spínacích součástí a přidružených součástí, jako jsou transformátory, filtry, komutační prostředky, řídicí zařízení, ochrany a pomocná zařízení, pokud jsou použity

[IEC 61800-2, 2.2.1]

POZNÁMKA Tato definice je převzata z IEC 61800-2 a pro účely této části IEC 60034 zahrnuje termíny kompletní modul pohonu (CDM) a základní modul pohonu (BDM), jak jsou používány v souboru IEC 61800.

3.3

EMC (elektromagnetická kompatibilita) [*EMC (electromagnetic compatibility)*]

schopnost zařízení nebo systému fungovat vyhovujícím způsobem ve svém elektromagnetickém prostředí bez vytváření nepřijatelného elektromagnetického rušení pro cokoli v tomto prostředí

[IEV 161-01-07]

3.4

odbuzení (*field weakening*)

pracovní režim motoru, kdy je tok motoru menší než tok odpovídající jmenovitým hodnotám motoru

3.5

doba náběhu (*peak rise time*)

časový interval mezi 10 % a 90 % napětí z jeho rozsahu od nuly do špičkové hodnoty (viz obrázek 14)

3.6

systém výkonového pohonu (PDS) (*Power Drive System*)

systém sestávající z výkonového zařízení (složeného z měničové sekce, střídavého motoru a jiných zařízení, jako je (ale nejen) například napájecí část), a z řídicího zařízení (složeného ze zařízení pro přepínané řízení, které zapíná a vypíná například řídicí zařízení napětí, kmitočtu nebo proudu, systém zapínání, ochrany, monitorování stavu, komunikaci, zkoušky, diagnostiky, rozhraní/vstupu procesu atd.)

3.7

ochranné uzemnění (PE) (*protective earthing*)

uzemnění bodu nebo několika bodů v elektrické síti nebo v instalaci nebo v zařízení za účelem elektrické bezpečnosti

[IEV 195-01-11]

3.8

pásmo přeskočků (*skip band*)

malé pásmo pracovních kmitočtů, kde je znemožněn ustálený provoz PDS

3.9

povrchová přenosová impedance (*surface transfer impedance*)

poměr napětí, které se indukuje ve středovém vodiči koaxiálního vedení jednotkové délky a proudu procházejícího vnějším povrchem koaxiálního vedení

[IEV 161-04-15]

Strana 13

4 Charakteristiky systému

4.1 Všeobecně

Přestože kroky specifikování charakteristických rysů motoru a měniče jsou podobné pro jakoukoliv aplikaci, konečná volba je do značné míry ovlivněna typem aplikace. V této kapitole jsou tyto kroky popsány a jsou posouzeny vlivy typů zatížení v různých aplikacích.

4.2 Informace o systému

Nejlépeším způsobem pro dosažení požadovaných vlastností motoru v daném systému je poskytnutí úplných informací o aplikaci, v nichž se bere v úvahu poháněná zátěž, motor, měnič a napájení ze sítě. Obecně mají tyto informace zahrnovat:

- Požadavky na výkon nebo moment při různých otáčkách.
- Požadovaný rozsah otáček zátěže a motoru.
- Požadavky na velikost zrychlování a zpomalování řízeného procesu.
- Požadavky na rozběh včetně četnosti spouštění a popisu zátěže (setrvačnost působící na motor, zatěžovací moment během spouštění).
- Zda je aplikace plynulý proces nebo pracovní cyklus sestávající ze spouštění, zastavování a změn otáček.
- Obecný popis typu aplikace včetně prostředí, v němž budou součástí systému pohonu pracovat.
- Popis přídatných funkcí, které nemusí být plněny pouze motorem a měničem (např. monitorování teploty motoru, schopnost přemostit měnič, je-li to nutné, speciální sekvenční obvody nebo referenční signály otáček pro řízení systému pohonu).

- Popis dostupného elektrického napájecího výkonu a zapojení. Konečná konfigurace může být ovlivněna požadavky zvoleného systému.

4.3 Úvahy týkající se momentu a otáček

4.3.1 Všeobecně

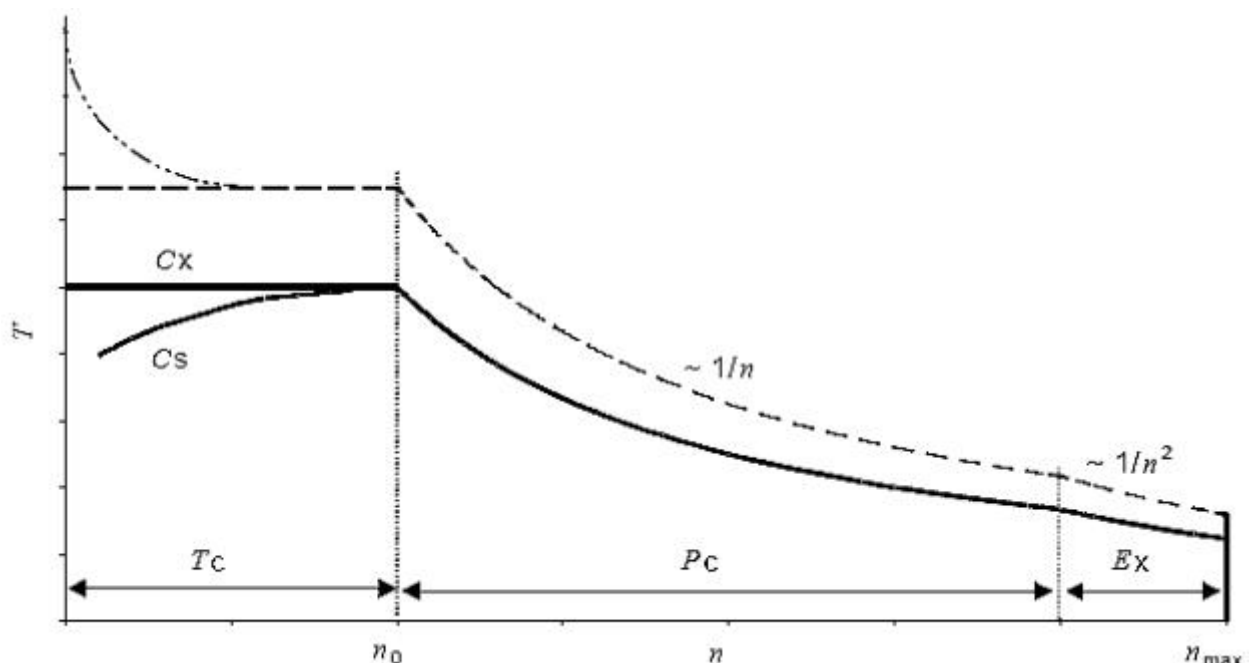
Typické momentové charakteristiky asynchronních motorů nakrátko napájených z měničů, významné ovlivňující faktory a jejich důsledky jsou znázorněny na obrázku 2, obrázku 3 a obrázku 4. V závislosti na požadavcích na vlastnosti systémů výkonového pohonu jsou pro zohlednění jednotlivých mezních hodnot možné různé návrhy motoru.

POZNÁMKA Na obrázku 2 až obrázku 4 nejsou znázorněna možná pásma přeskočků (viz 4.3.5).

4.3.2 Závislost momentu na otáčkách

Na obrázku 2 je znázorněna závislost momentu na otáčkách asynchronních motorů nakrátko napájených z měničů. Maximálně dosažitelný moment je omezen jmenovitými hodnotami motoru a proudovým omezením měniče. Nad kmitočtem odbuzení f_0 a otáčkami n_0 může motor pracovat s konstantním výkonem s momentem úměrným $1/n$. Je-li dosaženo minimálního momentu zvratu (který je úměrný $1/n^2$), výkon musí být dále snížen úměrně k $1/n$, což má za následek moment úměrný $1/n^2$ (rozšířený rozsah). Maximální otáčky n_{max} jsou omezeny mechanickou pevností a stabilitou rotoru, přípustnými otáčkami systému ložisek a jinými mechanickými parametry.

Strana 14

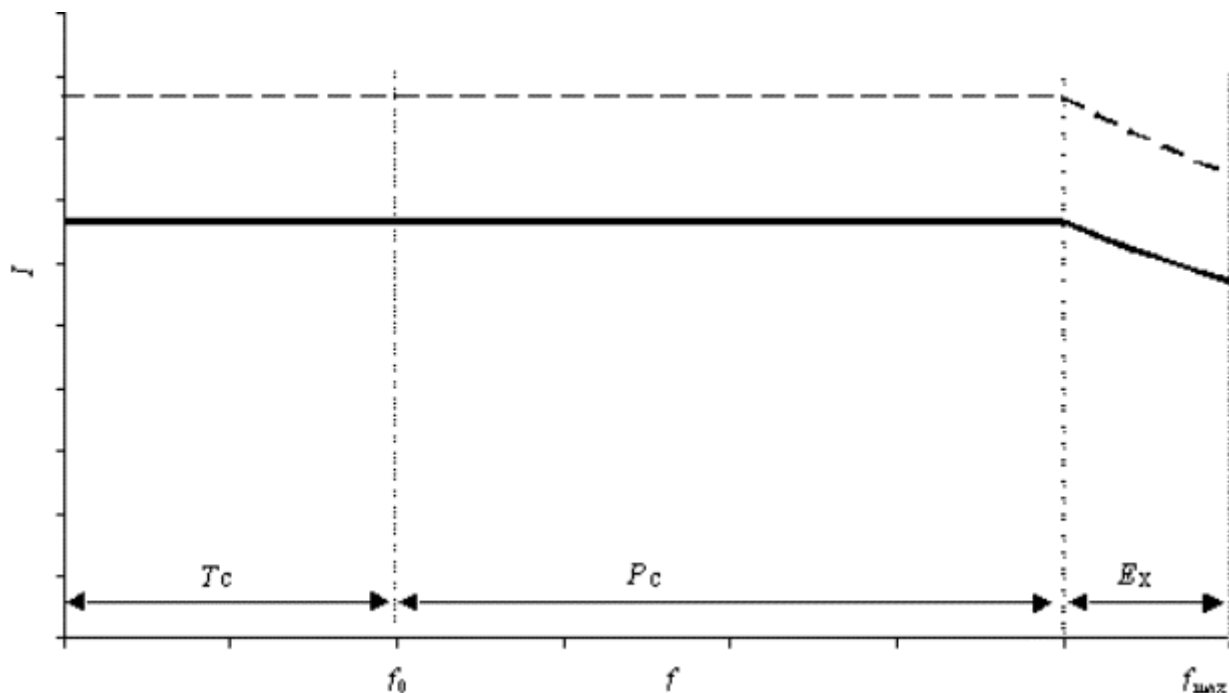


Legenda

—	trvalý provoz	T_c - rozsah konstantního momentu	C_x - cizí chlazení
-----	krátkodobý provoz	P_c - rozsah konstantního výkonu	C_s - vlastní chlazení
.....	zvýšení při rozběhu	E_x - rozšířený rozsah	

Obrázek 2 - Závislost momentu na otáčkách

Na obrázku 3 je znázorněna odpovídající velikost výstupního proudu (I) měniče.

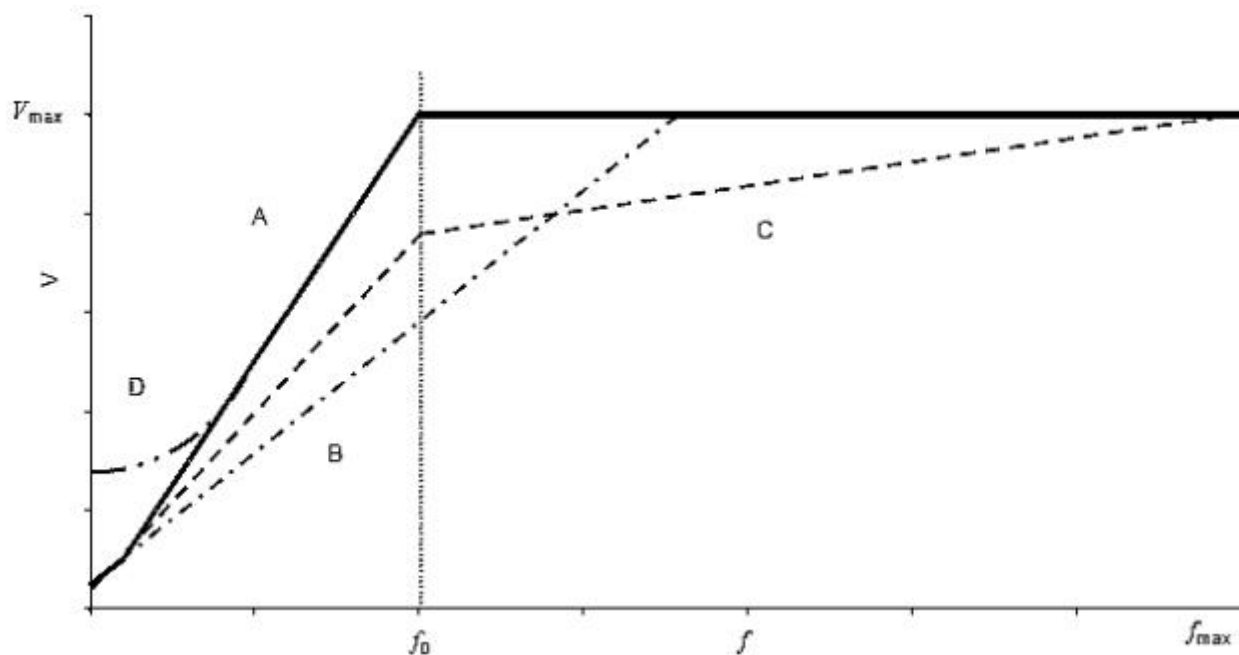


Obrázek 3 - Výstupní proud měniče

Strana 15

4.3.3 Charakteristiky závislosti napětí na otáčkách

Výstupní napětí měniče (V) se může měnit s otáčkami několika způsoby, jak ukazuje obrázek 4.



Legenda

A Napětí se zvyšuje s otáčkami a maximálního výstupního napětí měniče V_{max} se dosáhne při kmitočtu odbuzení f_0 .

- B Napětí se zvyšuje s otáčkami a maximálního výstupního napětí měniče V_{max} se dosáhne nad kmitočtem f_0 . Tento způsob poskytuje rozšířený rozsah otáček při konstantním toku (konstantním momentu), ale dosažitelný moment je v tomto rozsahu otáček snížen.
- C Napětí se zvyšuje s otáčkami do kmitočtu f_0 a potom se zvyšuje pomaleji, přičemž maximálního výstupního napětí měniče V_{max} se dosáhne při kmitočtu f_{max} . Tím se zabrání nadměrnému snížení momentu v rozsahu konstantního toku.
- D Při velmi nízkých otáčkách se pro zlepšení rozběhových vlastností použije zvýšení napětí.

Ve všech těchto případech závislost napětí na otáčkách může být lineární nebo nelineární, podle požadavků zátěže na závislost momentu na otáčkách.

Obrázek 4 - Výstupní napětí měniče

4.3.4 Faktory omezující závislost momentu na otáčkách

Významné faktory, které ovlivňují závislost momentu na otáčkách, jsou uvedeny v tabulce 1.

Tabulka 1 - Významné faktory ovlivňující závislost momentu na otáčkách

Stav	Motor	Měnič a motor
Záběr (odtržení)	Maximální velikost toku	Maximální proud
Konstantní tok	Chlazení (ztráty I^2R způsobené změnami proudu)	Maximální proud
Odbuzení (redukovaný tok)	Maximální otáčky (mechanická pevnost a stabilita) Maximální moment (moment zvratu)	Maximální napětí
Dynamická odezva	Parametry náhradního obvodu (určené modelováním)	Řídicí schopnost

4.3.5 Pásma rezonančních otáček

Rozsah otáček motoru napájeného z měniče může zahrnovat otáčky, které mohou v částech statoru motoru, v systému hřídele spojovacího motor a zátěž nebo v poháněném zařízení vybudit rezonance. V závislosti na měniči může být možné přeskočit rezonanční kmitočty. I když jsou však rezonanční kmitočty přeskočeny,

Strana 16

zátěž bude urychlována prostřednictvím těchto otáček, je-li motor nastaven pro chod při jakýchkoliv otáčkách nad těmito rezonančními otáčkami. Zkrácení doby urychlování může pomoci omezit dobu rezonance na minimum.

4.3.6 Pracovní cykly

4.3.6.1 Všeobecně

Pracovní cykly aplikací jsou takové, v nichž jsou běžné přechody mezi otáčkami nebo zátěžemi (viz IEC 60034-1). Motor a měnič jsou ovlivňovány několika aspekty tohoto typu aplikace.

- Rozptyl tepla z motoru je proměnný v závislosti na otáčkách a způsobu chlazení.

- Může být požadován moment, který je vyšší než moment motoru při plném zatížení. Provoz při vyšším než plném zatížení motoru může být požadován pro urychlování, vyrovnání se se špičkovými zatíženími, a dokonce pro zpomalování zátěže. Provoz při vyšším než jmenovitém proudu motoru zvýší oteplování motoru. To může vyžadovat vyšší tepelnou třídu izolace, motor dimenzovaný na přetížení, nebo posouzení pracovního cyklu pro stanovení, zda má motor pro danou aplikaci dostatečné chlazení (viz IEC 60034-1, druh zatížení S10).
- Pro snížení otáček motoru může být požadováno brzdění stejnosměrným proudem, dynamické nebo rekuperační brzdění. Bez ohledu na to, zda motor vytváří moment pro pohon aplikace, provádí rekuperaci energie do měniče v důsledku toho, že je motor poháněn zátěží, nebo vytváří brzdný moment při zpomalování přiváděním stejnosměrného proudu do vinutí, k oteplování motorů dochází přibližně úměrně se čtvercem proudu po dobu, kdy je přiváděn. Toto oteplování má být zahrnuto do analýzy pracovního cyklu. Navíc mají být přechodné momenty působící při brzdění na hřídel regulovány na takovou úroveň, aby nezpůsobily poškození.

POZNÁMKA V IEC 61800-6 jsou uvedeny informace o určení průběhu zatížení a proudu pro celý PDS.

4.3.6.2 Vysoká rázová zatížení

Vysoká rázová zatížení jsou speciálním případem průběhu zatížení a vyskytují se u určitých aplikací s přerušovaným momentem (například IEC 60034-1, druh zatížení S6). U těchto aplikací se zatížení připojuje k motoru nebo odpojuje od motoru velmi rychle. Tento zatěžovací moment může být kladný (proti smyslu točení motoru), nebo záporný (ve stejném smyslu jako točení motoru).

Rázové zatížení bude mít za následek rychlé zvýšení nebo snížení požadovaného proudu (z měniče). Je-li moment záporný, motor může rekuperovat proud zpět do měniče. Tyto přechodné proudy vytvářejí namáhání statorového vinutí. Hodnota těchto přechodných proudů závisí na velikosti měniče a motoru.

4.4 Typy řízení měniče

4.4.1 Všeobecně

Existují různé typy řízení měniče: skalární, vektorové (bez snímačů nebo se zpětnou vazbou) a přímé řízení toku a momentu motoru atd. Každý typ má odlišné charakteristiky, které jsou popsány v 4.4.1.1 až 4.4.1.3.

4.4.1.1 Skalární řízení

Skalární řízení je původním principem měniče V/Hz. V takovém měniči je výstupní napětí řízeno podle výstupního kmitočtu. Obrázek 4 ukazuje příklady způsobů, jakými to může být provedeno.

Při výstupním napětí měniče úměrném kmitočtu motor pracuje s přibližně konstantním tokem i bez signálů zpětné vazby otáček.

Zvýšení napětí (pevná hodnota napětí, která se přidá k výstupnímu napětí měniče), smluvená hodnota kompenzace IR (ohmického úbytku napětí statorového vinutí) nebo zlepšená dynamická kompenzace napětí jsou běžně užívané alternativy zlepšování rozběhových a pracovních charakteristik v oblasti nízkých otáček.

Zvýšení napětí má větší vliv při nízkých otáčkách, kdy je napětí motoru nízké, a je třeba zajistit, aby zvýšení napětí nebylo tak vysoké, aby došlo k nasycení motoru.

Kompenzace IR, kde je při malých zátěžích velikost zvýšeného napětí úměrná velikosti proudu v motoru, představuje zlepšení. Mnohá skalární řízení využívají speciální algoritmy pro dynamickou kompenzaci úbytku napětí způsobeného odporem a indukčností statoru motoru. To zajišťuje ještě lepší rozběhové a pracovní

Strana 17

charakteristiky v oblasti nízkých otáček, a při použití přídavných signálů zpětné vazby napětí a proudu motoru se při takovém řízení mohou vytvářet hodnoty momentu blízké vektorovému řízení i v oblastech nižšího kmitočtu.

Skalární řízení je obecně používáno tam, kde se nevyžaduje rychlá reakce na povely týkající se momentu nebo otáček (například u odstředivých čerpadel a ventilátorů), a je zvláště užitečné v případech, kdy má být řada motorů napájena z jednoho měniče.

4.4.1.2 Vektorové řízení

Střídavý měnič s vektorovým řízením v podstatě ruší vazbu složek proudu motoru vytvářejících magnetizační tok a moment, aby je mohl regulovat samostatně.

Tohoto rušení vazby se dosáhne pomocí výpočtu charakteristik motoru za použití náhradního obvodu (matematický model) se signály zpětné vazby otáček nebo bez těchto signálů.

Podle úrovně požadovaných charakteristik se mohou použít různé přístupy pro tento výpočet náhradního obvodu. Kromě toho může charakteristiky dále zlepšit signál zpětné vazby otáček (snímače).

4.4.1.3 Přímé řízení toku a momentu motoru

Měnič s přímým řízením toku a momentu motoru má hysterezní typ řízení (rovněž zvaný „sliding mode“ „klouzavý režim“), při kterém se nastavuje tok a moment motoru pomocí výpočtu matematického modelu motoru, se signály zpětné vazby otáček nebo bez těchto signálů.

U tohoto typu řízení není žádný modulátor, každý spínací přechod každého výkonového polovodiče měniče se uvažuje samostatně. Kromě toho může charakteristiky dále zlepšit signál zpětné vazby otáček (snímače).

Cílem je dosáhnout požadovaného momentu a otáček motoru co nejrychleji.

4.4.2 Úvahy týkající se typu měniče

Všechny tři typy řízení mohou být použity pro aplikace s konstantním momentem i pro aplikace, kde se moment zvyšuje s otáčkami (například odstředivá čerpadla nebo ventilátory). Při výběru měniče je však třeba vzít v úvahu každý aspekt požadavku na charakteristiky, aby byl zajištěn optimální provoz.

Všeobecně je třeba vzít v úvahu tyto aspekty:

- Při použití skalárního řízení je možné provozovat motory s různými jmenovitými údaji paralelně s jedním měničem (provoz více motorů).
- Skalární řízení je v typickém případě nedostačující pro požadavky na jednoúčelovou zátěž při

nízkých otáčkách (přibližně pod 10 % základních otáček), přestože charakteristiky při nízkých otáčkách mohou být zlepšeny použitím kompenzace dynamického napětí.

- Může být dosaženo velikosti ustáleného momentu u skalárního řízení ekvivalentní vektorovému řízení bez snímačů použitím dynamické kompenzace napětí.
- Nejvýznamnějším rozdílem mezi skalárním a vektorovým řízením nebo přímým řízením toku a momentu motoru je dynamická odezva.
- Vektorové řízení nebo přímé řízení toku a momentu motoru může být požadováno, je-li potřebná jedna nebo více následujících charakteristik:
 - provoz v blízkosti nulových otáček;
 - přesné řízení momentu;
 - vysoký špičkový moment při nízkých otáčkách.
- Při použití vektorového řízení nebo přímého řízení toku a momentu motoru je možné uskutečnit provoz s více motory se zpětnou vazbou otáček nebo bez ní, pokud jsou použity motory se stejnými jmenovitými údaji.
- Charakteristiky vektorového řízení a charakteristiky přímého řízení toku a momentu motoru jsou téměř ekvivalentní, protože u obou typů řízení jsou použity výpočty matematického modelu motoru se snímači toku nebo otáček nebo bez nich.

Další podrobnosti jsou uvedeny v IEC 61800-2.

Strana 18

4.5 Vytváření výstupního napětí měniče

4.5.1 Impulzní šířková modulace (PWM)

PWM zahrnuje schémata vytváření výstupního napětí, kde jsou u měniče povely k přepnutí při přechodu generovány ze synchronizovaného řídicího zařízení „nosného kmitočtu“ („modulátoru“).

Modulátor řídí systém spínání výstupu měniče tak, že výstupní napětí je rovné požadované referenční hodnotě.

POZNÁMKA Výstupním napětím se rozumí průměrná hodnota u dob vztahujících se ke spínacímu kmitočtu a okamžitá hodnota u dob vztahujících se k základnímu výstupnímu kmitočtu měniče.

Nosný kmitočet může být synchronizován alternativně s kmitočtem sítě nebo s výstupním kmitočtem. Může být volen se zřetelem na omezení ztrát, zvlnění proudu nebo vytvářeného hluku, a může být udržován kolísavý („rozmítací“ nebo „náhodná“ PWM) kvůli rozložení spekter harmonických výstupního napětí v širokém rozsahu.

Kromě toho mohou být použity speciální techniky řízení pro optimalizaci tvaru vlny nebo spektra proudu, například pro dosažení minimálních špičkových hodnot proudu nebo eliminování určitých harmonických.

4.5.2 Hystereze (klouzavý režim)

Hystereze zahrnuje schémata vytváření výstupního napětí, kde jsou u měniče povely k přepnutí při přechodu generovány z řídicího zařízení „bez nosné vlny“ (a tedy nesynchronizovaného). Ke spínání přechodu dochází, jakmile je překročen určitý rozdíl mezi skutečnou a referenční hodnotou parametru řízení.

Hysterezní spínání je možné v závislosti na typu řízení použít s několika parametry řízení: napětím, proudem, tokem nebo momentem.

4.5.3 Vliv spínacího kmitočtu

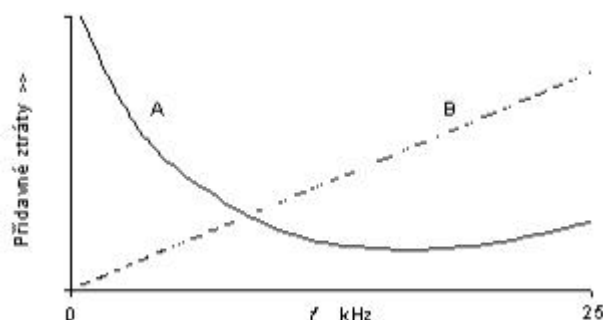
Výstupní spínací kmitočet měniče bude ovlivňovat ztráty (v motoru a v měniči), akustický hluk a zvlnění momentu celého systému. Není možné získat přesné údaje o těchto vlivech, tyto vlivy jsou však obecně znázorněny na obrázcích 5, 6 a 7. Tyto obrázky jsou uvedeny pouze pro ilustraci a nejsou určeny k tomu, aby na jejich základě byly prováděny porovnávací výpočty.

POZNÁMKA 1 Svislé stupnice pro ztráty motoru a pro ztráty měniče na obrázku 5 nejsou stejné. Všeobecně budou ztráty měniče menší než ztráty motoru.

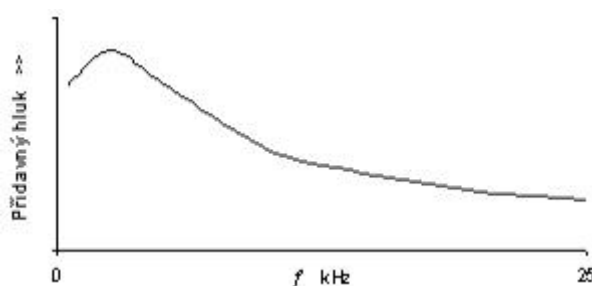
POZNÁMKA 2 U schémat modulaace, která nepoužívají pevné nosné kmitočty, výraz „spínací kmitočet“ znamená průměrný počet spínacích impulsů za sekundu.

Legenda

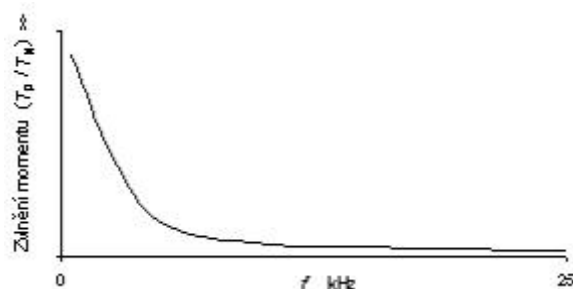
A - Ztráty motoru
B - Ztráty měniče



Obrázek 5 - Vlivy spínacího kmitočtu na ztráty motoru a měniče



Obrázek 6 - Vlivy spínacího kmitočtu na akustický hluk



Legenda

T_p je špičková hodnota pulzačního momentu

T_N jmenovitý moment

Obrázek 7 - Vlivy spínacího kmitočtu na zvlnění momentu

4.5.4 Víceúrovňové měniče

V zapojeních dvouúrovňového měniče, která jsou popsána výše, je výstupní napětí vytvářeno spínáním mezi kladnou a zápornou hladinou napětí stejnosměrné sběrnice.

Víceúrovňové měniče nabízejí mezilehlé potenciály napětí pro spínání, a „harmonická“ spektra kmitočtu jsou tedy významně redukována, pokud jde o amplitudu, a posunuta k vyšším kmitočtům.

POZNÁMKA Protože víceúrovňové měniče vyžadují více spínacích polovodičů, jsou běžněji používány pro vysokonapěťové aplikace (viz IEC 61800-4).

4.6 Požadavky na motor

V tabulce 2 jsou uvedena některá hlavní jednotlivá hlediska a kritéria návrhu.

Tabulka 2 - Kritéria návrhu motoru

Hledisko požadovaného použití	Kritéria návrhu
Dlouhodobý provoz při nízkých otáčkách	Tepelné předimenzování nebo nucené chlazení Pro dlouhodobý provoz kluzných ložisek při otáčkách nižších než 10 % základních otáček mají být vlastnosti ložisek schváleny výrobcem
Velký poměr otáček	Chlazení nezávislé na otáčkách (samostatný ventilátor, nebo jiné chladicí médium, například voda)
Zařízení pro zpětnou vazbu otáček	Bezpečnostní opatření týkající se mechanického rozhraní Může být nutné snímač otáček elektricky oddělit
Vysoké otáčky (odbuzení)	Mechanická hlediska Vysoký moment zvratu (tj. malá rozptylová reaktance) V/Hz charakteristika dosahuje maxima v oblasti odbuzení
Vyšší účinnost motoru při napájení z měniče	Návrh klece rotoru (žádné hluboké tyče, viz 5.3) Může být vyloučena schopnost spouštění ze sítě a přemostění sítě
Schopnost přemostění sítě nebo spouštění ze sítě	Návrh klece rotoru musí být adekvátní. V důsledku toho návrh nemusí být optimalizován se zřetelem na omezení ztrát a zvýšení účinnosti - je nutný vyvážený kompromis
Vysoký záběrný moment	Je-li to možné, zvýší se tok o 10 % až 40 % (v závislosti na velikosti motoru) při kmitočtech blízkých nule

Úbytek napětí v měniči z důvodů modulace nebo filtru nebo kabeláže	Přizpůsobení jmenovitého napětí motoru kvůli kompenzování úbytku napětí
Provoz s více motory při přibližně synchronizovaných společných otáčkách	Podobné charakteristiky závislosti skluzu na momentu těchto motorů

Strana 20

U některých aplikací mohou být pro sladění měniče s motorem požadovány od projektanta motoru parametry motorů uvedené v tabulce 3.

Tabulka 3 - Parametry motoru

Parametr	Popis / vysvětlení	Skalární řízení	Vektorové řízení nebo přímé řízení toku a momentu
Maximální hodnoty			
Maximální otáčky		Ano	Ano
Maximální teploty statorového a rotorového vinutí		Ano	Ano
Akustické parametry			
Kmitočty, které má měnič přeskočit, aby se zabránilo akustické rezonanci a rezonanci motoru		Ano, vyskytují-li se diskrétní nosné kmitočty	
Mechanické parametry			
Setrvačnost	Pro vysoké hodnoty urychlování	Volitelné	Volitelné
Tření a požadovaný moment chladicího ventilátoru, specifický polynom otáček ($m = k_1 \cdot n + k_2 \cdot n^2$)	Pro některé úkoly týkající se automatizace provozu nebo výroby, kde je požadováno přesné stanovení mechanického výstupního výkonu	Volitelné	Volitelné
Elektrické parametry náhradního schématu obvodu tvaru T			
Odpor statoru (R_s)	Při pracovní teplotě	Volitelné pro kompenzaci IR	Ano
Odpor rotoru (R_r') (viz POZNÁMKU)	Při pracovní teplotě	Volitelné pro zdokonalené skalární řízení	Ano
Rozptylová reaktance statoru (X_{ss})	Při základním kmitočtu	Volitelné pro zdokonalené skalární řízení	Ano

Rozptylová reaktance rotoru (X_{sr}') (viz POZNÁMKU)	Ve jmenovitém pracovním bodě, odlišném od stavu při zabrzděném rotoru	Volitelné pro zdokonalené skalární řízení	Ano
Magnetizační reaktance (X_m)	Při základním kmitočtu a ve jmenovitém pracovním bodě	Volitelné pro zdokonalené skalární řízení	Ano
Magnetizační vodivost (G_m)	Při základním kmitočtu a ve jmenovitém pracovním bodě	Volitelné pro zdokonalené skalární řízení	Ano
Magnetizační indukčnost, specifický polynom	Pro odbuzení	Ano, pro zdokonalené skalární řízení	Ano
Skinefekt rotoru (např. příčkový náhradní obvod)	Pro přesné stanovení ztrát harmonických a oteplení v aplikacích, kde je požadována rychlá odezva proudu a přesné dynamické řízení	Volitelné	Volitelné
Skinefekt statoru (např. příčkový náhradní obvod)		Volitelné	Volitelné
POZNÁMKA Elektrické parametry rotoru R_r' a X_{sr}' jsou ve vztahu ke statorovému obvodu se čtvercem převodu statorových/rotorových závitů.			

Pro zlepšení modelování teploty nebo v aplikacích, kde je požadován při nízkých otáčkách vysoký moment s přesným řízením, může být také užitečné, aby projektant motoru předložil údaje o vnitřních tepelných kapacitách a odporech částí motoru. Tyto parametry mohou být závislé jak na rotačním kmitočtu, tak na spínacím kmitočtu.

5 Ztráty a jejich působení

5.1 Všeobecně

Kromě dobře známých ztrát vyvolaných základním napětím a proudy vytváří nesinusové napájení z měniče přídavné ztráty v motoru. Tyto přídavné ztráty závisejí na otáčkách, napětí a proudu, na tvaru vlny výstupního napětí měniče a na konstrukčním provedení a velikosti motoru. Nejsou-li zajištěny ani sériové indukčnosti ani filtry, mohou tyto ztráty dosáhnout až 10 % - 20 % základních ztrát, a tedy až asi 1 % do 2 % jmenovitého výkonu motoru.

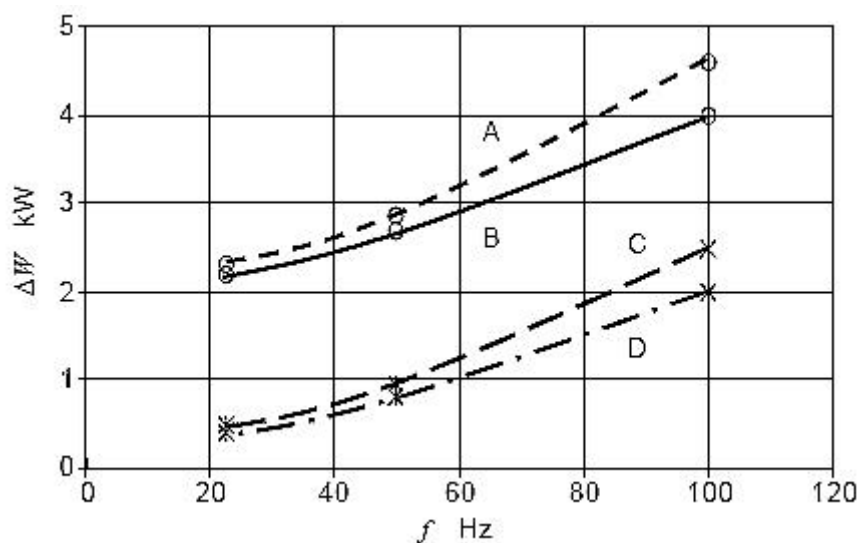
Velikost a charakteristické vlastnosti přídavných ztrát závisejí na typu a na parametrech použitých měničů i na konstrukčním provedení motoru a obvodech filtrů.

5.2 Ztráty v motorech napájených z napě»ových měničů

Napě»ové měniče přikládají svoje napětí na připojené motory. V důsledku spínání výstupu je průměrné napětí téměř ideálního tvaru doprovázeno kvazi-pravouhlým napětím se strmým sklonem a přibližně konstantní amplitudou (dvouúrovňové měniče přikládají mezivrcholovou hodnotu stejnosměrného napětí meziobvodu). Protože toto „impulzní napětí“ je přibližně konstantní, pokud jde o amplitudu a obsah kmitočtu, jsou tyto ztráty téměř nezávislé na proudu, otáčkách a toku (napětí)

motoru. Vyskytují se tedy jako ztráty naprázdno. Vliv syčení (v důsledku toku nebo proudu) na přídavné ztráty je malý.

Na obrázku 8 jsou příklady ztrát naprázdno a při plném zatížení pro motor 37 kW, 50 Hz napájený ze sinusového zdroje 50 Hz a z napěťového měniče 5,5 kHz.

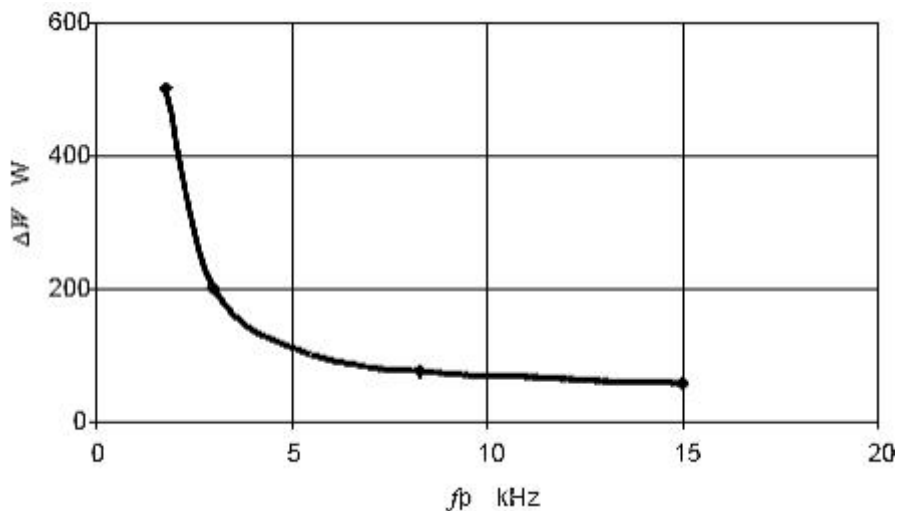


Legenda

- A: ztráty při plném zatížení, napájení PWM
- B: ztráty při plném zatížení, sinusové napájení
- C: ztráty naprázdno, napájení PWM
- D: ztráty naprázdno, sinusové napájení

Obrázek 8 - Příklad naměřených ztrát W jako funkce kmitočtu f a typu napájení

V typickém případě přídavné ztráty prudce klesají se zvyšujícím se kmitočtem impulzů až do několika kHz (viz obrázek 9).



Obrázek 9 - Přídavné ztráty DW motoru (stejný motor jako na obrázku 8) v důsledku napájení z měniče jako funkce kmitočtu impulzů f_p při rotačním kmitočtu 50 Hz

Komutační ztráty v měniči se však s kmitočtem impulzů zvyšují s výsledkem, že součet ztrát je minimální při několika kHz.

Typické hodnoty přídavných ztrát v důsledku napájení z měniče se snižují se zvětšující se velikostí motoru:

0,4 % až 2 % jmenovitého výkonu pro dvouúrovňové měniče, a

0,2 % až 1 % jmenovitého výkonu pro trojúrovňové měniče,

s pouze malou změnou s tokem (napětím) a momentem (proudem), avšak v závislosti na spínacím kmitočtu a na základním kmitočtu. Pro měniče řízené hysterezí nebo s náhodnou PWM platí průměrný spínací kmitočet, který může také záviset na napětí a proudu.

5.3 Lokalizace dalších ztrát a způsoby jejich omezení

Výstupní napětí měniče aproximuje sinusovou vlnu za použití kvazi-pravoúhlých napě»ových impulzů. Pro impulzy se motor jeví jako impedance závislá na kmitočtu. Ztráty této impedance jsou většinou vyvolány skinefektom ve vodičích (hlavně u tyčí rotoru, v některých případech také u statorových vodičů) a vířivými proudy v cestách rozptylového toku (zejména v pleších). Přídavné ztráty při napájení z napě»ového měniče mohou být minimalizovány různými opatřeními při navrhování, například:

- konstrukčním provedením rotoru s menším skinefektom;
- otevřenými drážky rotoru;
- zabráněním zkratům mezi plechy rotoru;
- tenčími statorovými a rotorovými plechy pro omezení ztrát vířivými proudy;
- sníženými ztrátami vířivými proudy v sériových tlumivkách nebo filtrech.

5.4 Charakteristické vlastnosti měniče zaměřené na snížení ztrát motoru

Nejvýznamnějších výhod se dosáhne optimalizací toku motoru v závislosti na zatížení (například

zmenšením toku při částečném zatížení), protože se tím sníží základní ztráty, které jsou podstatně vyšší než přídatné ztráty. Základní ztráty mohou být také sníženy změnou stejnosměrného napětí meziobvodu.

POZNÁMKA 1 Toto řešení je výhodné pro aplikace, kde je požadovaný moment funkcí otáček, například čerpání a ventilace (moment úměrný čtverci otáček). Jiné aplikace vyžadují pečlivé uvážení.

Strana 23

Přidavné ztráty mohou být sníženy zmenšením obsahu harmonických výstupního napětí měniče, například:

- optimalizací vzorků impulzů
- zvýšením spínacího kmitočtu (viz obrázek 9)

POZNÁMKA 2 Zvyšování spínacího kmitočtu bude mít za následek vyšší ztráty spínáním v měniči (viz obrázek 5).

- konfigurací víceúrovňového měniče.

5.5 Teplota a předpokládaná životnost

Součet základních a přídatných ztrát způsobených stavem zátěže a tvarem vlny napětí má za následek oteplení vinutí motoru. Oteplení bude v rámci stanoveného rozsahu otáček také ovlivněno změnou chlazení v pracovním bodu.

Tento jev je možné vzít v úvahu několika způsoby, například:

- použitím samostatného zdroje chlazení, jako je IC0A6 nebo IC1A7 (viz IEC 60034-6) pro motor chlazený vzduchem,
- použitím vyšší tepelné třídy izolace (viz IEC 60034-1),
- úplnou kompenzací pro stanovenou pracovní teplotu okolí (viz IEC 60034-1),
- použitím předdimenzovaného motoru,
- optimalizací výstupního tvaru vlny měniče.

POZNÁMKA Zvýšené teploty mohou ovlivňovat nejen izolaci vinutí, ale také mazání ložisek, a tedy životnost ložisek.

Vliv proměnného zatížení a otáček na teplotu vinutí je charakterizován druhem zatížení, jak je definován v IEC 60034-1. U druhů zatížení S1 až S9 se bere v úvahu maximální teplota, zatímco S10 (pro provoz při proměnném zatížení a otáčkách) umožňuje oteplení přesahující po omezenou dobu mezní hodnoty tepelné třídy. Mezní hodnoty oteplení jsou uvedeny v IEC 60034-1 a v příloze A této normy je uveden vzorec pro výpočet předpokládané tepelné životnosti.

5.6 Stanovení účinnosti motoru

Doporučené metody stanovení účinnosti motoru jsou uvedeny v A.1.6 IEC 60034-2. U motorů s

výkonem vyšším než 50 kW se dává přednost metodě součtu ztrát.

POZNÁMKA V dalším vydání IEC 60034-2 se tento údaj pravděpodobně změní z 50 kW na 150 kW.

Ztráty naprázdno (včetně přídavných ztrát) se mají měřit při stejném vzorku impulzů a kmitočtu impulzů, které měnič bude vytvářet při jmenovitém zatížení.

6 Hluk, vibrace a oscilační momenty

6.1 Hluk a vibrace asynchronního motoru napájeného z měniče

6.1.1 Všeobecně

Měnič a jeho funkce vytváří tři proměnné, které přímo ovlivňují vyzařovaný hluk. Jsou to:

- Změny otáčivé rychlosti, která může být v rozsahu od téměř nulových otáček do hodnot přesahujících základní otáčky. Faktory, které jsou ovlivněny, jsou ložiska a mazání, ventilace a veškeré jiné charakteristické vlastnosti, na které působí změny teploty.
- Napájecí kmitočet motoru a obsah harmonických, které mají velký vliv na magnetický hluk buzený v jádru statoru, a v menší míře na hluk ložisek.
- Torzní oscilace v důsledku vzájemného působení vln různých kmitočtů magnetického pole ve vzduchové mezeře motoru.

Strana 24

6.1.2 Změny ve vyzařování hluku v důsledku změn otáček

6.1.2.1 Nedělená (nebo dělená) kluzná ložiska

V případě kluzných ložisek nedojde u hladiny vyzařovaného hluku k žádné významné změně.

6.1.2.2 Valivá ložiska

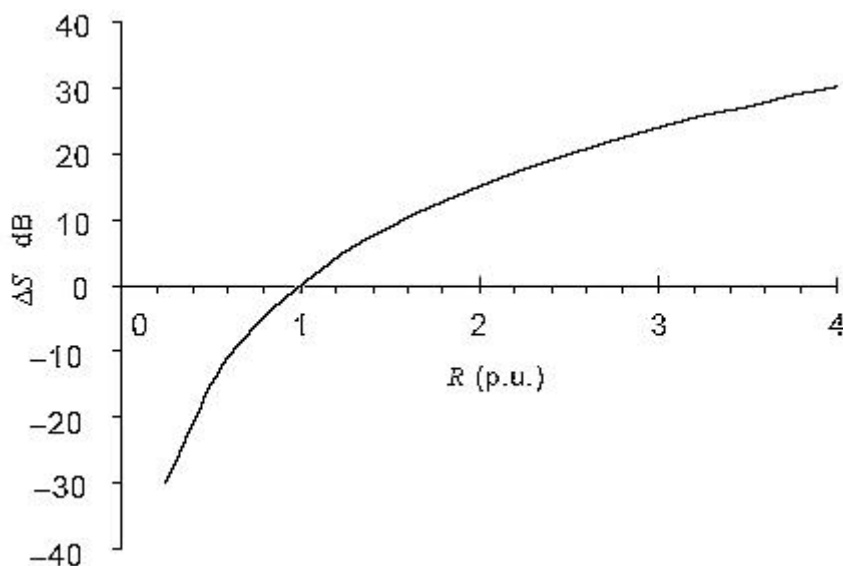
Základní kmitočty potenciálního vyzařování hluku z valivého ložiska se budou měnit přímo s otáčivou rychlostí. Je-li ložisko „tiché“ při základních otáčkách, je nepravděpodobné, že hladina hluku se bude výrazně měnit, když se otáčky sníží. Když se však otáčky zvýší nad hodnotu základních otáček, je možné, že hladina hluku by se mohla dramaticky zvýšit v důsledku harmonických základních kmitočtů zhoršených následkem prokluzování valivých prvků. Bylo prokázáno, že náchylnost k tomuto jevu se prudce zvyšuje při faktorech otáček (průměr ložiska v mm \cdot otáčivá rychlost v min^{-1}) větších než 180 000. Zkušenosti ukázaly, že zvýšení hladiny hluku je možné čelit zvětšením přívodu maziva do ložiska tak, že se domazávání provádí ve velmi krátkých intervalech, nebo se použije olejová lázeň, nebo mazání olejovou mlhou.

Při provozu při nejvyšších otáčkách motoru z jeho rozsahu otáček bude teplota ložisek vyšší než při chodu při nižších otáčkách. Je tedy důležité zajistit, aby konstrukční provedení mělo dostatečnou jmenovitou vůli a/nebo uložení na pružinách.

Při nízkých pracovních otáčkách budou ložiska mazaná tukem pracovat zcela uspokojivě.

6.1.2.3 Ventilační hluk

Je-li ventilátor upevněn na hřídeli, bude se vytvářený hluk měnit přibližně jako charakteristika nakreslená na obrázku 10 (pro obvodovou rychlost ventilátoru do 50 m/s). Hluk ventilátoru se bude snižovat asi o 15 dB při 50 % snížení otáček a zvyšovat asi o 10 dB při 50 % zvýšení otáček. Je-li pohon jednosměrný, může být dosaženo velmi účinného snížení hluku použitím ventilátoru na motoru se zakřivenými jednosměrnými lopatkami.



Legenda

DS - změna akustického tlaku;

R - relativní rychlost ventilátoru (poměrná hodnota)

Obrázek 10 - Hluk ventilátoru v závislosti na otáčkách ventilátoru

6.1.3 Magneticky buzený hluk

Má-li být motor provozován v širokém rozsahu otáček, dochází v důsledku měnících se napájecích kmitočtů nevyhnutelně k rezoncím. Tento jev není spojen s napájením z měniče a došlo by k němu také v případě sinusových napájecích napětí s proměnným kmitočtem.

Strana 25

V případě motorů napájených z měniče je třeba vzít také v úvahu interakce prostorově se měnících základních polí vyvolaných časovými harmonickými statorových a rotorových proudů s konstrukcí motoru. Cílem projektantů PDS je vytvoření optimálních řešení hluku, je však třeba si uvědomit, že za taková řešení není odpovědný ani pouze projektant měniče, ani pouze projektant motoru, ale že v mnoha případech je při návrhu nezbytná spolupráce.

Dostí hrubá syntéza tvaru vlny sinusového napětí při proměnném kmitočtu vytváří u napě»ového měniče velmi vysoký počet harmonických složek napětí, a v důsledku toho harmonických složek proudu ve statoru a rotoru. Amplituda a vytvářené kmitočty jsou důsledkem provozu měniče s impulzním řízením a parametrů motoru. Zkušenosti ukázaly, že při kmitočtech impulzů menších než 3 kHz mohou být u středních a velkých motorů harmonické kmitočty blízko vlastním kmitočtům jádra a konstrukce motoru, a v důsledku toho u aplikací s širokým rozsahem otáček jsou v určitém místě rozsahu otáček rezonanční místa

téměř nevyhnutelná. Rezonanční kmitočty pro režimy $r = 0$ a $r = 2p$ pro 2-pólové a 4-pólové motory s výškou osy větší než 315 mm jsou menší než 2,5 kHz. Na rozdíl od toho, tendence ke zvyšování kmitočtu impulzů měniče na 4 kHz nebo 5 kHz nebo na ještě vyšší hodnoty, bude mít za následek možnou rezonanci vyskytující se i u menších motorů.

Přírůstek hluku motorů napájených z měničů řízených PWM ve srovnání se stejným motorem napájeným ze sinusového napájecího zdroje je poměrně malý (pouze několik dB(A)), je-li spínací kmitočet nad hodnotou asi 3 kHz. Při nižších spínacích kmitočtech může být zvýšení hluku velmi vysoké (podle zkušenosti až 15 dB(A)). V některých moderních měničích s PWM nebo hysterezním řízením už nejsou použity pevné nosné kmitočty a tyto měniče tedy vytvářejí velmi široké spektrum nezákladních kmitočtů. Typické zvýšení hluku a subjektivní slyšitelný hluk mohou být tedy výrazně sníženy.

Za určitých okolností může být nutné vytvořit v rozsahu pracovních otáček „pásma přeskoků“, aby se zabránilo specifickým podmínkám rezonance v důsledku základního kmitočtu.

6.1.4 Torzní kmitání

Oscilační momenty jsou vytvářeny v hřídeli motorů napájených z měničů. Velikost zvlnění točivého momentu a jeho kmitočet jsou takové, že mohou v kompletním zapojeném mechanickém systému vytvářet vibrace točivého momentu, tento systém má být pečlivě zkontrolován, aby se zabránilo škodlivým mechanickým rezonancím.

V případě napě»ových měničů s PWM s nízkými kmitočty impulzů (menšími než 200 Hz) mohou oscilační momenty dosahovat až 50 % jmenovitého momentu v závislosti na obsahu harmonických výstupního napětí. V případě měničů s mnohem vyššími kmitočty impulzů nad 2 kHz jsou významné oscilační momenty při šestinásobku a dvanáctinásobku základního kmitočtu vždycky menší než 10 % jmenovitého momentu.

Stejnosemerná složka nebo zpětná složka vytvářená asymetriemi výstupního napětí měniče bude vytvářet složku točivého momentu o velikosti základního napájecího kmitočtu nebo dvojnásobku základního napájecího kmitočtu a je tedy třeba se snažit, aby se jí zabránilo. Je třeba si uvědomit, že u stejnosměrného proudu je účinný pouze odpor a u zpětné složky zkratová impedance, malá asymetrická napětí tedy vytvoří spíše vysoké asymetrické proudy a tedy oscilační momenty, zejména když se setkají s rezonančním kmitočtem hřídelového vedení. Je-li povrch přenášející moment schopný se oddalovat a při zpětném pohybu dochází k nárazům, povedou v důsledku vůlí v soukolích převodovky, spojkách nebo některých spojích hřídele tyto oscilační momenty k poškození.

6.2 Určení a mezní hodnoty hladiny akustického výkonu

6.2.1 Metody měření

Hladiny akustického výkonu mají být určeny podle IEC 60034-9 (viz však 6.2.2).

6.2.2 Podmínky zkoušky

Zkoušky se mají provádět s motorem napájeným z měniče s kmitočtem a vzorkem impulzů, které budou použity při aplikaci.

Dává se přednost tomu, aby motor byl pevně namontován na povrch představující provozní podmínky po instalování.

Během zkoušky se dává přednost tomu, aby pro stanovení podmínek pro maximální hluk bylo

předběžné měření prováděno v celém rozsahu otáček a zatížení, a za těchto podmínek se má potom provádět konečné měření.

Není-li možné dosáhnout výše uvedených podmínek, mají být použity podmínky zkoušky podle IEC 60034-9.

Strana 26

6.2.3 Mezní hodnoty hladiny akustického výkonu

Je-li motor zkoušen za podmínek stanovených v 6.2.2, doporučuje se, aby hladiny akustického výkonu nepřekročily hodnoty stanovené v tabulce 4.

POZNÁMKA Hodnoty v tabulce 4 se liší od hodnot uvedených v IEC 60034-9, představují však hladiny akustického výkonu, kterých jsou při současném stavu techniky dosažitelné.

Nemůže-li být dosaženo mezních hodnot uvedených v tabulce 4 v důsledku rezonančních vlivů, je třeba zvážit možnost, zda nezahrnout do pracovního režimu příslušná „pásma přeskoků“.

Tabulka 4 - Hladina akustického výkonu jako funkce výkonu

Výkon při maximálních otáčkách (kW)	Hladina akustického výkonu při zatížení (dBA)	
	Otáčky menší než 2 000 min ⁻¹	Otáčky 2 000 min ⁻¹ až 3 750 min ⁻¹
£ 2,2	80	86
5,5	84	90
11	88	94
22	92	98
37	95	101
55	98	104
110	100	106
220	104	110
550	110	116

6.3 Určení a mezní hodnoty hladiny vibrací

6.3.1 Metoda měření

Hladiny vibrací mají být určeny podle IEC 60034-14.

6.3.2 Podmínky zkoušky

Zkoušky se mají provádět s motorem napájeným z měniče s kmitočtem a vzorkem impulzů, které budou použity u dané aplikace.

Dává se přednost tomu, aby motor byl pevně namontován na povrch představující provozní podmínky po instalování.

Během zkoušky se dává přednost tomu, aby pro stanovení podmínek pro maximální vibrace bylo předběžné měření bylo prováděno v celém rozsahu otáček a zatížení (viz POZNÁMKA 1), a za těchto podmínek se má potom provádět konečné měření..

POZNÁMKA 1 Toto doporučení může významně prodloužit dobu zkoušky a v IEC 60034-14 není požadováno.

POZNÁMKA 2 Pokud jde o měření *in-situ* (na místě), viz ISO 10816-3.

6.3.3 Mezní hodnoty hladiny vibrací

Při zkoušení za podmínek specifikovaných v 6.3.2 se doporučuje, aby mohutnost vibrací měřených na ložiskových tělesech nepřekročila hladinu vibrací pro stupeň A uvedenou v tabulce 1 v IEC 60034-14.

7 Elektrická namáhání izolace motoru

7.1 Všeobecně

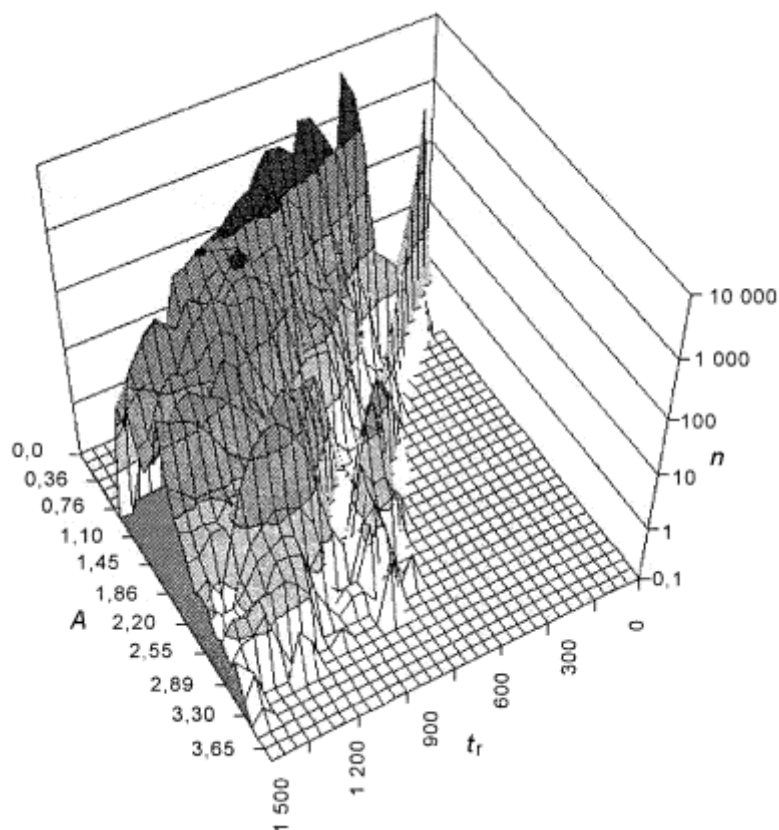
Izolační systém motoru je vystaven vyššímu dielektrickému namáhání, když je napájen z měniče, než v případě čistě sinusového napájení střídavým proudem.

Strana 27

7.2 Příčiny

Napěňový měnič vytváří pravoúhlé impulzy napětí s pevnou amplitudou, které mají proměnnou šířku a kmitočet. Amplituda napětí impulzů na výstupu měniče není větší než u napětí na stejnosměrné sběrnici (poměrná hodnota 1). Tato hladina závisí na hladině usměrněného napětí sítě nebo brzdného napětí, nebo na regulačním napětí korekce účinníku.

Doby náběhu výstupního napětí moderních měničů mohou být v rozsahu 50 ns - 400 ns. Jsou co nejkratší, aby u výstupních polovodičů byly omezeny na minimum ztráty vznikající spínáním. Tyto měniče mohou na svorkách motoru připojeného kabelem vytvářet opakovatelné se překmity napětí, což může zkrátit životnost izolačního systému motoru, pokud tyto překmity překročí opakovatelnou hodnotu jeho pevnosti napětí. Na obrázku 11 je diagram počtu rázových impulzů naměřených na svorkách motoru napájeného z měniče. Z diagramu je zřejmé, mezi počtem, dobou náběhu a velikostí rázových impulzů není jednoduchý vztah.



Legenda

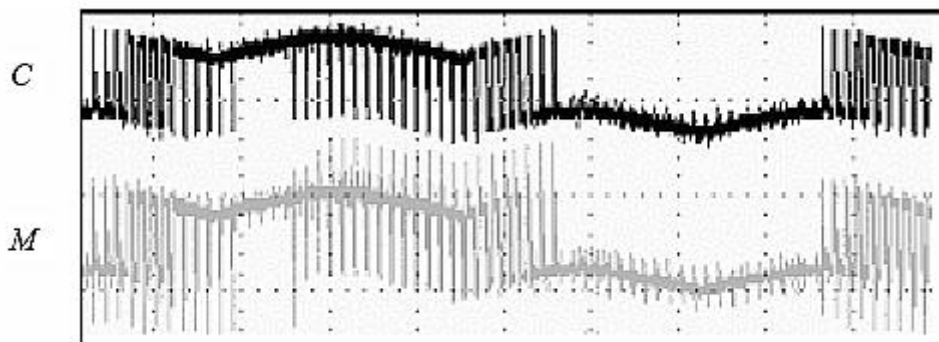
A - velikost rázových impulzů (poměrné hodnoty);

t_r - doba náběhu rázových impulzů (ns);

n - počet rázových impulzů (za sekundu)

Obrázek 11 - Typické rázové impulzy na svorkách motoru napájeného z měniče s PWM

V závislosti na době náběhu napě»ového impulzu na výstupu měniče a na délce kabelu a impedanci motoru vytvářejí impulzy na svorkách motoru překmity napětí (v typickém případě mezi fázemi až do poměrné hodnoty 2). Tyto překmity napětí jsou vytvářeny odraženými vlnami na rozhraní mezi kabelem a svorkami motoru v důsledku nepřizpůsobení impedance. Tento jev je plně vysvětlen teorií přenosového vedení a postupující vlny za použití obsahu harmonických výstupního napětí. Se snižující se dobou náběhu se kmitočty ve tvaru vlny napětí zvyšují. Typické napě»ové rázové impulzy naměřené na výstupu měniče a na svorkách motoru jsou na obrázku 12 se zvětšeným pohledem na jeden rázový impulz na obrázku 13.

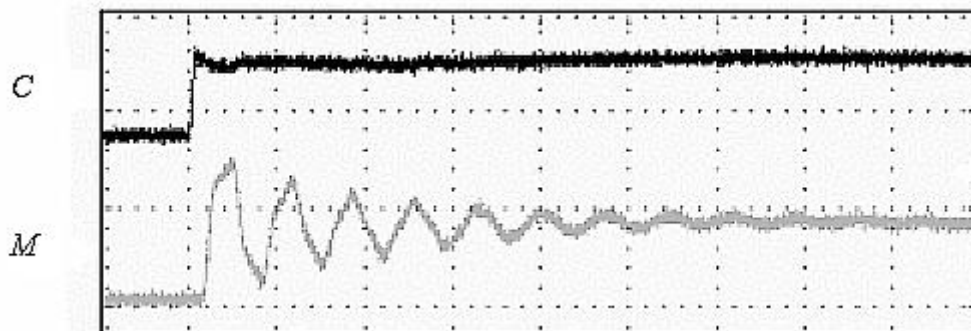


Legenda

C - fázové napětí na měniči;

M - fázové napětí na motoru

Obrázek 12 - Typické napěťové rázové impulzy na jedné fázi měniče a na svorkách motoru (2 ms/dílek)



Legenda

C - fázové napětí na měniči;

M - fázové napětí na motoru

Obrázek 13 - Jednotlivý rázový impulz s krátkou dobou náběhu z obrázku 12 (1 ms/dílek)

Se zvětšující se délkou kabelu se obvykle překmit impulzu zvyšuje na maximum a potom klesá. Mezitím se zvětšuje doba náběhu impulzu na svorkách motoru. U impulzů s krátkou dobou náběhu na výstupu měniče) při délkách kabelu větších než asi 20 m až 50 m (v závislosti na typu kabelu a jiných faktorech) je doba nárůstu napětí na svorkách motoru určena hlavně charakteristikami kabelu a již ne dobou náběhu na měniči.

Překmity napětí se snižují v případě instalací používajících decentralizovanou topologii (měniče instalované v blízkosti připojených motorů), kde je délka kabelu mezi měničem a motorem malá.

Překmity napětí nevznikají, jestliže je měnič integrován do motoru, takže délka kabelu mezi měničem a motorem je omezena pouze na asi 10 cm.

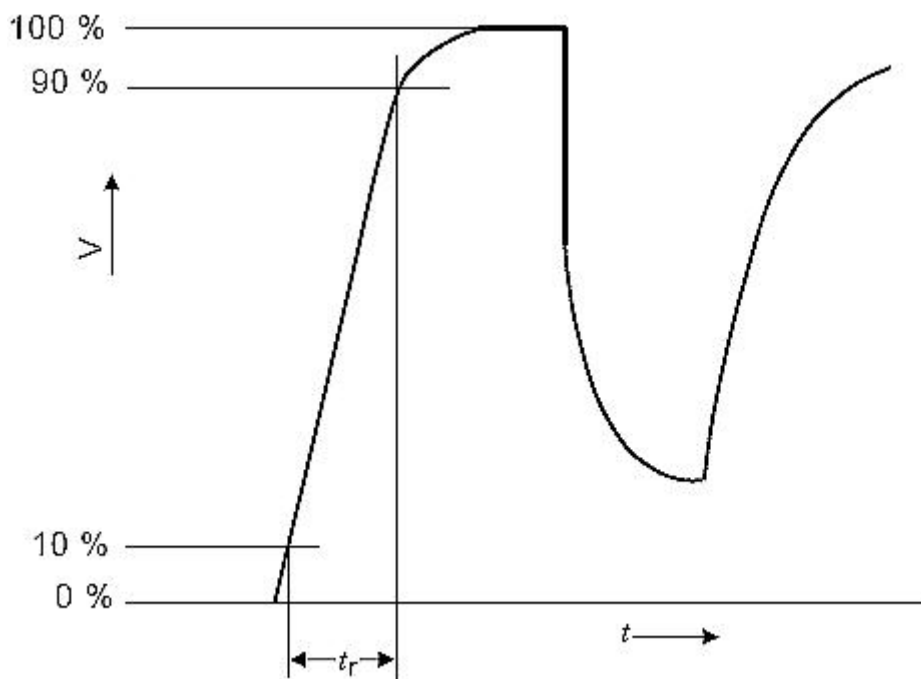
Vyšší napěťové namáhání nad poměrnou hodnotu větší než 2 může být vytvářeno dvojitým přechodem měniče (příčné spínání) a chybějícím algoritmem v měniči pro nastavení minimální doby mezi impulzy:

- k dvojitému přechodu dochází například tehdy, když jedna fáze spíná z minusu do plusu napětí stejnosměrné sběrnice ve stejném okamžiku, kdy jiná fáze spíná z plusu do minusu. To vytváří napěťovou vlnu s poměrnou hodnotou 2, která postupuje do motoru. Je-li odražena na svorkách motoru, může se potom zvýšit na větší přepětí než je poměrná hodnota 2.
- není-li v měniči žádné řízení minimální doby impulzu, a je-li doba mezi dvěma impulzy přizpůsobena časové konstantě kabelu mezi měničem a motorem, může být vytvářeno na svorkách motoru přepětí větší než je poměrná hodnota 2.

Strana 29

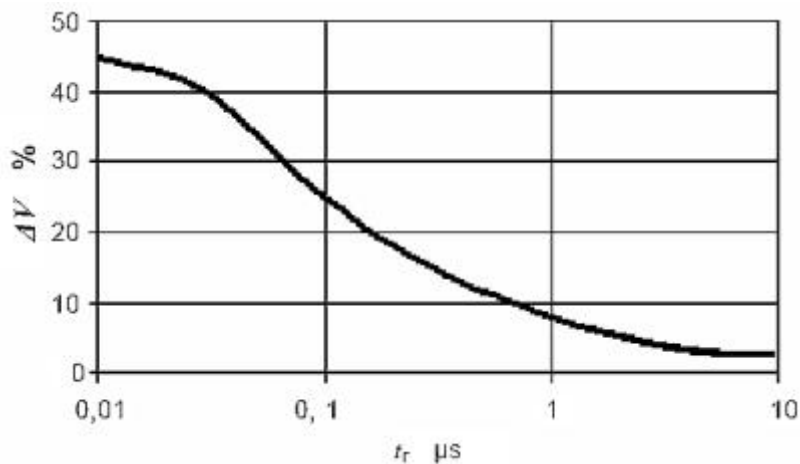
7.3 Elektrické namáhání vinutí

Dielektrické namáhání izolace vinutí je dáno špičkovým napětím a dobou náběhu (definice je na obrázku 14) impulzu na svorkách motoru, a dále kmitočtem impulzů vytvářených měničem.



Obrázek 14 - Definice doby náběhu napětí t_r na svorkách motoru

Jedna část namáhání je určena hladinou napětí přiloženého na hlavní izolaci (fáze - fáze nebo fáze - zem) cívek vinutí. Druhá část je omezena mezizávitovou izolací a určena dobou náběhu impulzů. Impulzy s krátkou dobou náběhu mají za následek nerovnoměrné rozdělení napětí v cívkách, s vysokými hladinami namáhání v prvních několika závitěch na konci jednotlivé fáze vinutí na straně vedení. Na obrázku 15 je příklad rozdělení napětí na cívce s 50 závitů v závislosti na době náběhu impulzu. Jak je zřejmé, čím kratší je doba náběhu, tím vyšší napětí se objeví na prvních závitěch cívků.



Legenda

ΔV - napětí na prvním závitu (% vstupního napětí)

t_r - doba náběhu rázového impulsu

Obrázek 15 - Napětí na prvním závitu v závislosti na době náběhu rázového impulsu

Strana 30

Impulzy s krátkou dobou náběhu na svorkách motoru rovněž způsobují vysoká napětí mezi vodiči v prvních závitěch každé fáze vinutí a může po nich následovat brzy dielektrický průraz mezi vodiči. Takové jevy jsou často způsobeny nedostatečnou dielektrickou pevností smaltového povlaku. V tomto případě dochází k dielektrickému průrazu hodně pod hladinou počátečního napětí částečných výbojů (PDIV). Poruchy izolace tohoto typu nelze zjistit standardní dielektrickou zkouškou při 50 Hz nebo 60 Hz. Vyvíjejí se nové ověřovací metody pro zkoušení takových průrazů izolace. Je možné pozorovat, že doba nárůstu napětí na svorkách motoru se v důsledku vysokofrekvenčních ztrát v kabelu s délkou kabelu prodlužuje.

7.4 Omezení namáhání izolace

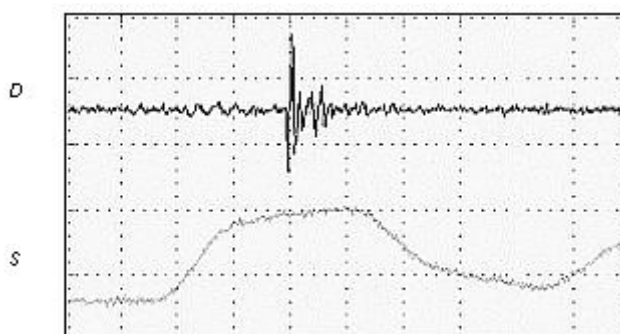
Horní limitovaná hladina, při níž se toto namáhání přepětím stává škodlivým, je PDIV (napětí, při němž se začínají vyskytovat částečné výboje), nebo, ve vzduchu, počáteční napětí koróny (CIV). Částečné výboje způsobují degradaci izolačního systému prostřednictvím jak chemické, tak mechanické eroze. Míra degradace izolace závisí na energii a četnosti výskytu částečných výbojů.

PDIV a CIV v motoru jsou ovlivněny:

- typem vinutí: vsypávaným nebo s tvarovanými cívkami.
- konstrukčním provedením: materiálem pro oddělování fází.
- typem laku a impregnací.
- velikostí vodičů: vodič většího průměru má vyšší PDIV.
- typem izolace vodičů.
- tloušťkou smaltu: silnější smaltový povlak vodiče zvyšuje PDIV.
- pracovní teplotou: když se zvyšuje teplota vinutí, PDIV se snižuje (v typickém případě o 30 % při zvýšení z 25 °C na 155 °C).

Na obrázku 16 je znázorněn impulz částečného výboje, který je důsledkem rázového impulsu v jedné fázi motoru napájeného z měniče.

POZNÁMKA Výboj vznikne v okamžiku čela napě»ového rázového impulsu vytvářeného měničem, když namáhání napětím přes prázdný prostor v izolaci dosáhne průrazné pevnosti.



Legenda

S - napě»ový rázový impulz na svorkách motoru

D - impulz výboje

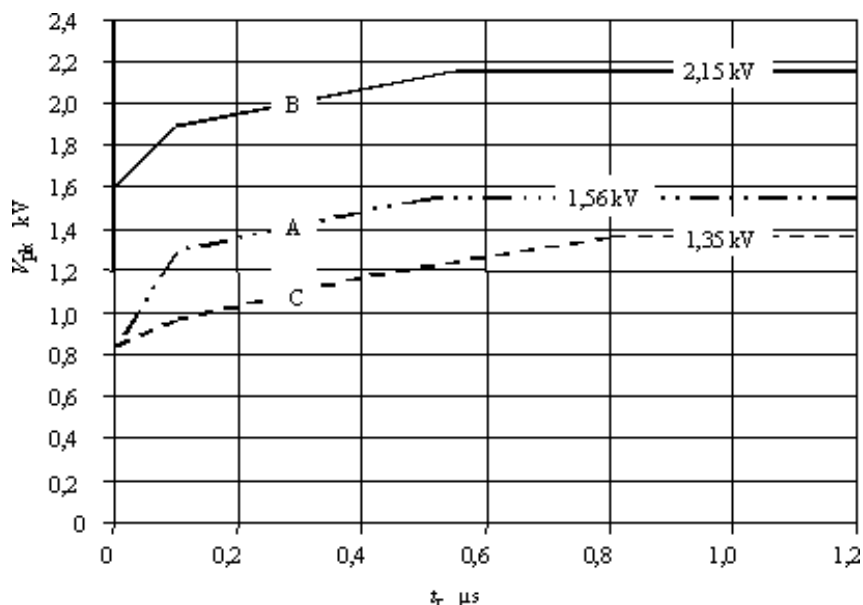
Obrázek 16 - Impulz výboje, k němuž dochází v důsledku napě»ového rázového impulsu vytvářeného měničem na svorkách motoru (100 ns/dílek)

7.5 Odpovědnost

Dodavatel systému má zajistit, že hladina namáhání napětím nepřesahuje elektrickou odolnost izolačního systému (viz obrázek 17). Dodavatel systému je tedy odpovědný za stanovení hladiny namáhání napětím na svorkách motoru se zřetelem na možný odraz napětí v závislosti na topologii a pracovním režimu měniče, typu a délce kabelu atd. Relevantní parametry pro namáhání izolace jsou tyto: hodnoty přechodného špičkového napětí, doba náběhu, opakovací kmitočet atd.

Strana 31

Výrobce motoru má zkontrolovat odolnost proti namáhání napětím podle specifikace dodavatele systému. Aby se zajistilo, že nedojde k žádnému omezení provozní doby života izolace motoru, má být skutečné namáhání způsobené provozem měniče nižší, než je odolnost izolačního systému vinutí motoru proti opakovanému namáhání napětím (hladina A nebo B na obrázku 17).



Legenda

B - bez filtrů pro motory do 690 V AC

A - bez filtrů pro motory do 500 V AC

C - křivka z IEC 60034-17

Obrázek 17 - Omezující křivky impulzního napětí V_{pk} naměřené mezi dvěma fázovými svorkami motoru v závislosti na době náběhu impulsu t_r

7.6 Charakteristiky měniče

Amplituda impulzů výstupního napětí je obecně napětí stejnosměrné sběrnice, které závisí na napájecím napětí sítě a typu vstupního usměrňovače (pasivní nebo aktivní, se zvýšením napětí nebo bez něho), a obvykle se zvyšuje při rekuperačním provozu (například při brzdění).

Doba náběhu impulzů závisí na spínacích charakteristikách výkonových polovodičů a jejich budičím obvodu, případně na jejich odlehčovacím obvodu (*snubber circuit*).

POZNÁMKA Doba náběhu na svorkách motoru není v přímém vztahu k době náběhu na výstupu měniče a tyto dvě doby náběhu se nemají zaměňovat. Vztah mezi nimi je složitý a závisí na vysokofrekvenčních charakteristikách motoru a kabelu. Doba náběhu uvedená na obrázku 17 je hodnota na svorkách motoru, nikoliv hodnota na svorkách měniče. Při navrhování PDS se použitím předpokládané doby náběhu na svorkách měniče (která se stanoví) místo doby náběhu na svorkách motoru (kterou je obtížné předvídat) zavede bezpečnostní rezerva, která má být srovnána s cenovými důsledky.

7.7 Metody omezení namáhání napětím

V dané situaci existuje několik možných metod omezení intenzity rázových impulzů:

- Přestože je to často obtížné nebo nepraktické, změna délky kabelu a/nebo uzemnění kabelu mezi motorem a měničem změní velikosti rázových impulzů z hlediska motoru.
- Změna instalace na takovou instalaci, která používá decentralizovanou topologii nebo používá kombinace motorů s integrovanými měniči, sníží překmitý napětí.
- Nahrazení kabelu typem s vyššími dielektrickými ztrátami (například butylkaučuk nebo

olejový papír). Jsou k dispozici speciální typy motorových kabelů s použitím feritového stínění. Tyto kabely redukuje oscilace napětí a zvyšují kvalitu EMC.

- Instalování výstupní tlumivky (viz 9.2.2), čímž se v kombinaci s kapacitancí kabelu zvýší doba náběhu postupné vlny.

POZNÁMKA V tomto případě se má při návrhu systému brát v úvahu úbytek napětí na indukčnosti.

- Instalování výstupního filtru dv/dt (viz 9.2.3) mezi měnič a kabel vedoucí do motoru, který výrazně prodlouží dobu náběhu rázových impulzů. Toto řešení může umožnit použití delších kabelů.
- Instalování výstupního sinusového filtru (viz 9.2.4), který zvětší dobu náběhu. Hlavní funkcí takového filtru je však omezení rušení EMC a přídavných ztrát a hluku motoru. Při téměř sinusovém napětí mohou být také použity standardní nestíněné kabely. Možnost použití tohoto řešení závisí na požadovaných charakteristikách, zejména na rozsahu otáček a dynamických vlastnostech aplikace.
- Instalování jednotky s filtry na svorkách motoru (viz 9.2.5), která potlačí přepětí na svorkách motoru.
- Zabránění příčnému spínání fází měniče.
- Řízení minimální doby mezi impulzy u měniče (v závislosti na typu a délce kabelu).
- Nahrazení měniče měničem vytvářejícím menší kroky napětí, například tříúrovňovým měničem.

7.8 Výběr motoru

Přípustné namáhání izolačního systému impulzním napětím je určeno jeho provedením. Všeobecně jsou pro asynchronní motory nízkého napětí k dispozici tři úrovně odolnosti proti impulzům, jak je znázorněno na obrázku 17.

- Úroveň odolnosti podle IEC 60034-17:

Při používání měničů bez jakýchkoliv metod omezení popsaných v 7.7 jsou takové motory vhodné pro hnací systémy pouze do hodnoty střídavého napájecího napětí 400 V v rámci omezeného rozsahu délky kabelu. Kromě toho musí řízení měniče zabránit dvojitým přechodům a zajistit řízení minimální doby impulzu.

Při použití filtračních zařízení popsaných v 7.7 (vestavěných do měniče nebo instalovaných v systému) se takové motory mohou používat pro hnací systémy do hodnoty střídavého napájecího napětí 690 V a bez omezení délky kabelu.

- Úroveň odolnosti podle křivky A na obrázku 17:

Při používání měničů bez jakýchkoliv metod omezení popsaných v 7.7 jsou takové motory vhodné pro hnací systémy do hodnoty střídavého napájecího napětí 500 V. Řízení měniče musí rovněž zabránit dvojitým přechodům a zajistit řízení minimální doby impulsu.

- Úroveň odolnosti podle křivky B na obrázku 17:

Při používání měničů bez jakýchkoliv metod omezení popsaných v 7.7 jsou takové motory vhodné pro hnací systémy do hodnoty střídavého napájecího napětí 690 V. Řízení měniče musí rovněž zabránit dvojitým přechodům a zajistit řízení minimální doby impulsu.

8 Ložiskové proudy

8.1 Zdroje ložiskových proudů v motorech napájených z měničů

8.1.1 Všeobecně

Ložiskové proudy může způsobit několik situací. Ve všech případech bude ložiskový proud protékat, když se na ložisku vytvoří napětí dostatečné k tomu, aby narušilo izolační schopnost maziva. Existuje několik zdrojů tohoto napětí.

8.1.2 Magnetická asymetrie

Asymetrie v magnetickém obvodu motoru vytváří situaci, která způsobuje nízkofrekvenční ložiskové proudy. Toto je běžnější v motorech o výkonu vyšším než 400 kW. Asymetrický magnetický obvod má za následek obvodový střídavý tok (prstencový tok) ve jhu. Tím se indukuje střídavé napětí vodivé smyčky zahrnující hřídel motoru, ložiska, ložiskové štíty a vnější kostru motoru. Je-li indukované napětí dostatečné pro proražení izolace zajišťované mazivem, bude protékat smyčkou, včetně obou ložisek, proud.

Strana 33

8.1.3 Vytvoření elektrostatického pole

Napětí může být také vyvoláno elektrostatickým polem vytvořeným na hřídeli v důsledku poháněné zátěže, jako je ionizovaný ventilátor filtru.

8.1.4 Vysokofrekvenční napětí

Vysokofrekvenční souhlasné napětí na svorkách motoru vytváří soufázové proudy, jejichž část může protékat ložisky motoru nebo poháněného zařízení. Soufázové proudy mohou také vytvářet napětí na ložiskách jako důsledek činnosti při přeměně. Tyto vlivy vyplývají z používání rychle spínajících polovodičových součástí a mohou způsobit problémy s ložisky u motorů všech jmenovitých hodnot, které jsou vyvolány různými vlivy. Tyto vlivy jsou popsány podrobně v 8.2.

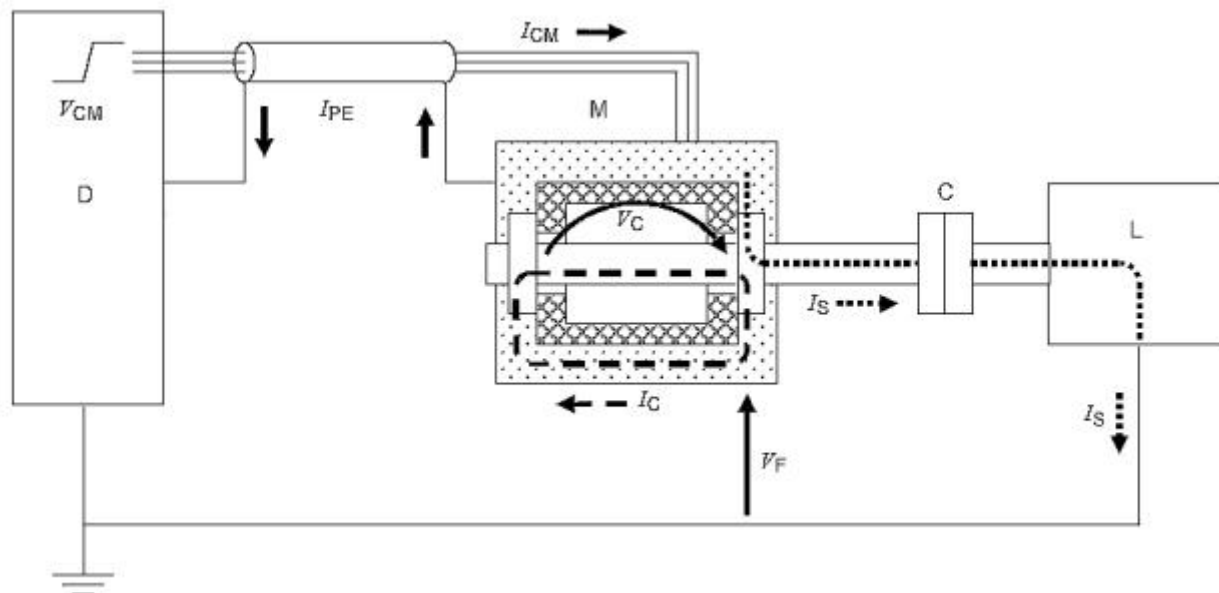
8.2 Vytváření vysokofrekvenčních ložiskových proudů

8.2.1 Všeobecně

Nejdůležitějšími faktory určujícími, který mechanismus je významný, jsou velikost motoru a způsob uzemnění kostry motoru a hřídele. Důležitou roli hraje také elektrická instalace, což znamená vhodný typ kabelu a správné připojení ochranných vodičů a elektrického stínění, stejně jako jmenovité vstupní napětí měniče a rychlost nárůstu výstupního napětí měniče. Zdrojem ložiskových proudů je napětí na

ložisku. Jsou tři typy vysokofrekvenčních ložiskových proudů: vyrovnávací proud, proud uzemnění hřídele a proud kapacitního výboje.

Dva typy ložiskových proudů, vysokofrekvenční vyrovnávací proud (I_C) a proud uzemnění hřídele (I_S), jsou schematicky znázorněny na obrázku 18. Tyto proudy jsou značně ovlivněny provedením uzemnění a impedancemi uzemnění.



Legenda

D – měnič M – motor C – hřídelová spojka L – poháněná zátěž

V_{CM} – vysokofrekvenční souhlasné napětí	$\left\{ \begin{array}{l} \rightarrow \\ \rightarrow \end{array} \right.$	I_{CM} – vysokofrekvenční soufázový proud	$\rightarrow V_S$ – vysokofrekvenční hřídelové napětí *)	$\rightarrow I_C$ – vysokofrekvenční vyrovnávací proud
		I_{PE} – vysokofrekvenční zpětný proud	$\rightarrow V_F$ – vysokofrekvenční napětí na kostře	$\rightarrow I_S$ – vysokofrekvenční hřídelový proud

Obrázek 18 - Možné ložiskové proudy

*) NÁRODNÍ POZNÁMKA Na obrázku je vysokofrekvenční hřídelové napětí místo V_S označeno V_C .

8.2.2 Vyrovnávací proud

U velkých motorů se vysokofrekvenční napětí indukuje v uzavřené smyčce popsané v 8.1.2 vysokofrekvenčním tokem cirkulujícím kolem statorového jha. Tento tok je způsoben kapacitními proudy unikajícími z vinutí do statorových plechů. Indukované hřídelové napětí může ovlivňovat ložiska. Je-li dost vysoké, aby překonalo izolaci vrstvy maziva v ložiskách, protéká ve smyčce tvořené hřídelem, ložiskem a kostrou statoru kompenzační proud vyrovnávající tok ve statoru.

Tyto vysokofrekvenční proudy mohou být superponovány na nízkofrekvenční proudy vytvářené tak, jak je popsáno v 8.1.2.

8.2.3 Proud uzemnění hřídele

Proud unikající do kostry statoru potřebuje protékat zpět do měniče, který je zdrojem proudu. Každá cesta zpět zahrnuje impedanci, a napětí kostry motoru se tedy zvyšuje ve srovnání s hladinou uzemnění zdroje. Je-li hřídel motoru uzemněn přes poháněný stroj, projeví se zvýšení napětí kostry motoru na ložiskách. Jestliže se napětí zvýší dostatečně vysoko, aby překonalo izolační odolnost vrstvy maziva v ložisku, část proudu může protékat přes toto ložisko, hřídel a poháněný stroj zpět do měniče.

8.2.4 Proud kapacitního výboje

Vnitřní dělení napětí souhlasného napětí na vnitřních kapacitách motoru může vyvolat ložisková napětí dost vysoká, aby vytvořila vysokofrekvenční impulzy ložiskového proudu (označované jako proudy obrábění elektrostatickým výbojem). Může k tomu dojít, když hřídel není uzemněn přes poháněný stroj, zatímco kostra motoru je kvůli ochraně spojena se zemí.

8.3 Souhlasný obvod

8.3.1 Všeobecně

Souhlasný obvod je cesta v uzavřené smyčce pro protékání vyrovnávajícího proudu v celém systému, včetně motoru a jeho ložisek, zátěže a měniče.

Typické trojfázové sinusové napájení je za normálních podmínek vyvážené a symetrické. Napětí nulového bodu (uzlu) má tedy nulovou hodnotu. Není tomu tak však v případě trojfázového napájení spínaného PWM, kde se stejnosměrné napětí mění na trojfázová napětí. I když jsou složky základního kmitočtu výstupních napětí symetrické a vyvážené, není možné dosáhnout, aby součet tří výstupních napětí byl v každém okamžiku rovný nule, když jsou k dispozici pouze dvě možné výstupní hladiny. Výsledné napětí nulového bodu (uzlu) není nulové. Toto napětí je zdrojem souhlasného napětí. Je měřitelné v uzlu hvězdy vinutí motoru (nebo v umělém uzlu hvězdy, jsou-li vinutí motoru zapojena jinak než do hvězdy) při jakémkoliv zatížení. Napětí je úměrné napětí stejnosměrné sběrnice a jeho významný kmitočet je rovný spínacímu kmitočtu měniče.

Kdykoliv se jeden ze tří výstupů měniče změní z jednoho z možných potenciálů na jiný, proud úměrný této změně napětí je nucen protékat do země přes kapacitu vůči zemi všech součástí výstupního obvodu. Proud protéká zpět do zdroje přes ochranný vodič a kapacitu měniče.

8.3.2 Průtok soufázového proudu systému

Zpětná cesta svodového proudu z kostry motoru zpět do kostry měniče sestává z kostry motoru, stínění kabelu nebo ochranných vodičů, a případně vodivých částí konstrukce průmyslové budovy. Všechny tyto prvky obsahují indukčnost. Průtok soufázového proudu takovou indukčností způsobí úbytek napětí, který zvýší potenciál kostry motoru vzhledem ke kostře měniče. Toto napětí kostry motoru je částí souhlasného napětí měniče. Soufázový proud bude hledat cestu s nejmenší impedancí. Je-li v určených cestách vysoká hodnota impedance, jako spojení kostry motoru se zemí, napětí kostry motoru způsobí, že určitá část soufázového proudu bude odkloněna do nahodilé cesty, jako je cesta budovou. V praxi existuje v instalacích řada paralelních cest. Většina z nich má malý vliv na hodnotu soufázového proudu nebo ložiskových proudů, mohou však být významné, pokud jde o plnění požadavků na EMC.

Je-li však hodnota této indukčnosti dost vysoká, může mezi kostrou motoru a kostrou měniče docházet k úbytkům napětí vyšším než 100 V. Jestliže je v takovém případě hřídel motoru připojen přes kovovou spojku k převodovce nebo jinému poháněnému stroji, který je spolehlivě uzemněn a má

téměř stejný potenciál jako kostra měniče, je možné, že část soufázového proudu měniče bude protékat přes ložiska motoru, hřídel a poháněný stroj zpět do měniče.

Nemá-li hřídel stroje žádný přímý dotyk s hladinou země, proud může protékat přes převodovku nebo ložiska zatěžovacího stroje. Tato ložiska mohou být poškozena dříve než ložiska motoru.

Strana 35

8.4 Rozptylové kapacity

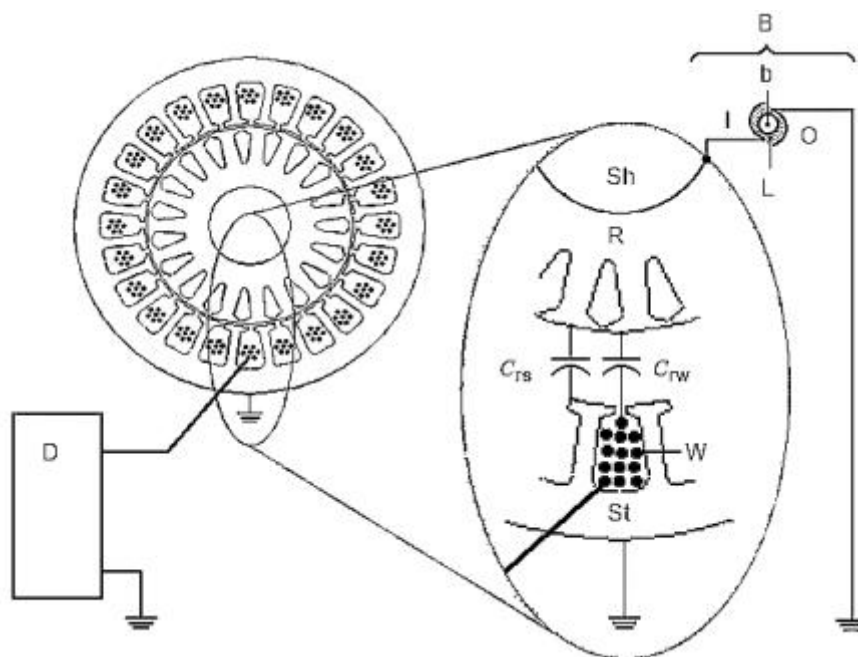
8.4.1 Všeobecně

Rozptylové kapacity uvnitř motoru (viz obrázek 19) jsou velmi malé a představují pro nízké kmitočty vysokou impedanci, čímž blokují nízkofrekvenční proudy. Impulzy s vysokou strmostí vytvářené moderními měniči však obsahují kmitočty tak vysoké, že i tyto malé kapacity uvnitř motoru zajišťují pro průtok proudu cestu s nízkou impedancí.

8.4.2 Hlavní složka kapacity

Největší část kapacity motoru se vytváří mezi statorovými vinutími a kosterou motoru. Tato kapacita je rozdělena po obvodu a délce statoru. Protože proud uniká do statoru podél cívky, vysokofrekvenční obsah proudu vstupujícího do cívky statoru je větší než proud, který z ní odtéká.

Tento celkový čistý axiální proud vytváří vysokofrekvenční magnetický kruhový tok cirkulující v pleších statoru, který indukuje axiální napětí ve smyčce popsané v 8.1.2. Bude-li hřídelové napětí dostatečně vysoké, může vysokofrekvenční vyrovnávací proud protékat hřídelem a oběma ložisky, a v některých případech hřídelem a ložisky zatěžovacího stroje. Tento vyrovnávací proud v typickém případě způsobuje poškození ložisek s typickými špičkovými hodnotami 3 A až 20 A, v závislosti na velikosti motoru, rychlosti nárůstu napětí na svorkách motoru a hladině napětí stejnosměrného meziobvodu.



Legenda

D - Měnič

Sh - Hřídel

R - Rotor

St - Stator

W - Vinutí Crs - Kapacita rotoru a statoru Crw - Kapacita rotorového vinutí B - Ložisko
b - Kulička nebo váleček I - Vnitřní oběžná drážka O - Vnější oběžná drážka L - Vrstva maziva

Obrázek 19 - Kapacity motoru

8.4.3 Jiné kapacity

Kapacita mezi statorovým vinutím a plechy je důležitým prvkem souhlasného obvodu. Existují jiné kapacity, jako je kapacita mezi čelem statorového vinutí a rotorem, nebo kapacita ve vzduchové mezeře motoru mezi železem statoru a povrchem rotoru. Ložiska jako taková mají také kapacitu.

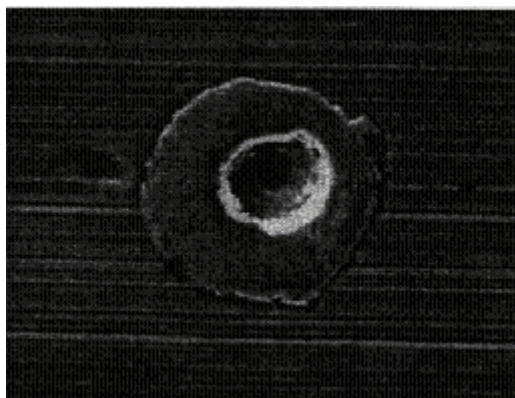
Rychlé změny souhlasného napětí měniče nemohou mít pouze za následek proudy v kapacitě kolem obvodu a délky motoru, ale také mezi statorovými vinutími a rotorem do ložisek.

Strana 36

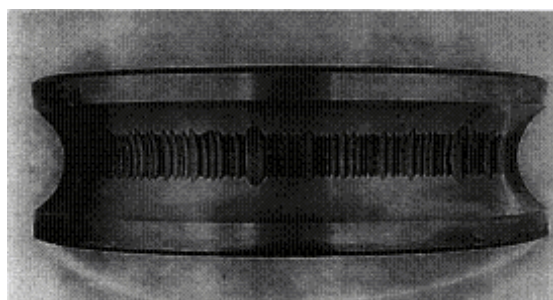
Průtok proudu do ložisek se může rychle měnit v závislosti na stavu ložisek. Například kapacita v ložiskách pouze tak dlouho, pokud jsou kuličky ložisek pokryty mazivem a jsou nevodivé. Tato kapacita může být zkratována, jestliže ložiskové napětí překročí práh zlomové hodnoty nebo je-li vrstva maziva v ložisku spotřebována a vytváří kontakt s oběma oběžnými drážkami. Při velmi nízkých otáčkách mohou mít ložiska také kovový kontakt v důsledku chybějící izolační vrstvy maziva.

8.5 Důsledky nadměrných ložiskových proudů

Na obrázcích 20 a 21 je znázorněno typické poškození ložiska v důsledku soufázových proudů a elektrického výboje.



Obrázek 20 - Důlková koroze ložiska způsobená elektrickým výbojem (průměr důlku 30 mm až 50 mm)



8.6 Zabránění poškození vysokofrekvenčním ložiskovým proudem

8.6.1 Základní přístupy

Jsou tři základní přístupy používané pro zabránění vysokofrekvenčním ložiskovým proudům, které se mohou používat jednotlivě nebo v kombinaci:

- správný systém kabeláže a uzemnění;
- úprava smyček ložiskového proudu;
- tlumení vysokofrekvenčního souhlasného napětí.

Všechny tyto metody jsou zaměřeny na snížení napětí na mazivu ložiska na hodnoty, které nevyvolávají vůbec impulzy vysokofrekvenčního ložiskového proudu, nebo tlumí hodnotu impulzů na úroveň, která nemá žádný vliv na životnost ložisek. Pro různé typy vysokofrekvenčních ložiskových proudů je třeba učinit různá opatření.

Základem všech řešení vysokofrekvenčního proudu je správná uzemňovací soustava. Standardní způsoby uzemnění zařízení jsou navrženy zejména pro zajištění spojení s dostatečně nízkou impedancí s ohledem na ochranu osob a zařízení proti poruchám kmitočtu systému. Pohon s řízenými otáčkami může být účinně uzemněn při vysokých kmitočtech soufázového proudu, je-li instalace provedena podle zásad popsaných v kapitole 9.

Strana 37

8.6.2 Jiná preventivní opatření

- Použití izolovaného ložiska (izolovaných ložisek).

POZNÁMKA V praxi se používá několik druhů izolace ložiska s různou tloušťkou a umístěné na různých místech (například mezi hřídelem a vnitřní oběžnou drážkou ložiska, mezi vnější oběžnou drážkou ložiska a ložiskovým štítem, mezi ložiskovým štítem a kostrou). Běžná jsou valivá ložiska s keramickým povlakem na vnějším povrchu (tak zvaná obalená ložiska. Rovněž jsou k dispozici ložiska s keramickými valivými prvky.

- Použití filtru, který omezuje souhlasná napětí a/nebo dv/dt .
- Použití nevodivých spojek pro zátěže nebo jiná zařízení, která mohou být poškozena ložiskovými proudy.
- Použití kartáčového kontaktu (kartáčových kontaktů) mezi hřídelem a kostrou motoru.
- Použití motoru a měniče s nižším napětím, je-li to možné.
- Provoz měniče při nejnižším spínacím kmitočtu, který vyhovuje požadavkům na slyšitelný hluk a teplotu.
- Zabránění použití dvojitých přechodů (paralelního spínání).

V tabulce 5 je srovnána účinnost některých z těchto opatření.

Tabulka 5 - Účinnost opatření proti ložiskovým proudům

Protiopatření	Typ proudu			Doplňující poznámky
	Vyrovňovací proudy (8.1.2, 8.2.2)	Proudy uzemnění hřídele (8.2.3)	Kapacitní výbojové proudy (8.2.4)	
1) NDE izolována, nebo keramické valivé prvky	Účinné	Neúčinné: Chrání pouze jedno ložisko.	Neúčinné: Chrání pouze jedno ložisko.	NDE izolováno, aby nebylo nutné používat izolovanou spojku.
2) NDE a DE izolovány, nebo keramické valivé elementy	Účinné: Jedno izolované ložisko je dostatečné pro tento typ proudu.	Účinné	Účinné: Může vyžadovat přídavný kartáčový kontakt.	Velmi účinné pro kostry malé velikosti. Méně praktické pro kostry velké velikosti.
3) NDE a DE izolovány, nebo keramické valivé elementy + přídavná izolovaná spojka a kartáč pro uzemnění hřídele	Účinné	Účinné	Účinné	Velmi účinné (zejména pro větší stroje) Pomáhá zabránit možným poškozením poháněné zátěže. Je nutný servis.
4) NDE izolována Jeden kartáčový kontakt na DE	Účinné: Kartáč není nutný pro tento typ proudu. Ložisko tachometru NDE, je-li použito, vyžaduje ochranu.	Účinné: Nechrání ložiska v poháněné zátěži.	Účinné: Je třeba zajistit nízkou impedanci kartáčového kontaktu.	Je nutný servis. Velmi praktické pro kostry velké velikosti. DE kartáč se použije, aby nebylo nutné používat izolovanou spojku.
5) Jeden kartáčový kontakt @ádná izolace ložisek	Neúčinné: Chrání pouze jedno ložisko.	Účinné: Nechrání ložiska v poháněné zátěži.	Účinné: Je třeba zajistit nízkou impedanci kartáčového kontaktu.	Je nutný servis.
6) Dva kartáčové kontakty, na DE a na NDE @ádná izolace ložisek	Účinné: Je třeba zajistit nízkou impedanci kartáčového kontaktu.	Účinné: Nechrání ložiska v poháněné zátěži.	Účinné: Je třeba zajistit nízkou impedanci kartáčového kontaktu.	Je nutný servis.

(pokračování)

Tabulka 5 - Účinnost opatření proti ložiskovým proudům (dokončení)

Protipatření	Typ proudu			Doplňující poznámky
	Vyrovnávací proudy (8.1.2, 8.2.2)	Proudy uzemnění hřídele (8.2.3)	Kapacitní výbojové proudy (8.2.4)	
7) Mazání s nízkým odporem a/nebo uhlíkem plněná těsnění ložisek	©patné	©patné	Účinné: Závisí na stavu materiálů.	®ádné dlouhodobé zkušenosti. Snížená účinnost mazání.
8) Rotor ve Faradayově kleci	Neúčinné	Neúčinné	Velmi účinné	Problémy s vyrovnávacími proudy vytvářenými měničem, které se normálně vyskytují pouze ve větších motorech.
9) Filtr souhlasného napětí	Účinné: Snížené vysokofrekvenční napětí rovněž snižuje nízkofrekvenční proudy.	Účinné	Účinné	Největší snížení souhlasného napětí, je-li filtr namontován na výstupu měniče.
10) Izolovaná spojka	Neúčinné	Velmi účinné	Neúčinné	Zabraňuje také možnému poškození poháněné zátěže.
11) Kostra pro připojení poháněné zátěže	Neúčinné	Účinné	Neúčinné	Zabraňuje také možnému poškození poháněné zátěže.
POZNÁMKA DE = strana pohonu (strana D); NDE = strana opačná straně pohonu (strana N).				

9 Instalace

9.1 Uzemnění, vodivé pospojování a kabeláž

9.1.1 Všeobecně

Doporučení uvedená v 9.1 poskytují všeobecný návod pouze pro vhodnost vodičů pro použití jako PE spoje a motorové kabely, a pro spolehlivost a problémy instalace spojené s EMC. U specifických instalací je třeba dodržovat místní předpisy týkající se uzemnění a dohodnuté s firmou, která provede konečnou montáž systému, a pokyny dodavatele měniče týkající se EMC. Více informací je uvedeno v IEC 61800-3 a IEC 61800-5-1. Pokud jde o úplný návod týkající se obecných technik instalace z hlediska EMC, viz také IEC 61000-5-1 a IEC 61000-5-2. *)

9.1.2 Uzemnění

9.1.2.1 Cíle uzemnění

Cíle uzemnění jsou bezpečnost a spolehlivý provoz bez rušení. Tradiční uzemnění je založeno na elektrické bezpečnosti. Pomáhá zajistit bezpečnost osob a omezuje poškození zařízení v důsledku elektrických poruch. Pro provoz PDS bez rušení jsou potřebné dokonalejší metody, aby se zajistila účinnost uzemnění při vysokých kmitočtech. To může vyžadovat použití ekvipotenciální umělé země na podlaze budovy, na krytu zařízení a na úrovni desek s plošnými spoji.

Kromě toho správné uzemnění silně tlumí napětí v hřídeli a kostře motoru, přičemž omezuje vysokofrekvenční ložiskové proudy a zabraňuje předčasné poruše ložisek a možnému poškození pomocného zařízení (viz kapitolu 8).

*) NÁRODNÍ POZNÁMKA Viz Bibliografii.

Strana 39

9.1.2.2 Uzemňovací kabely

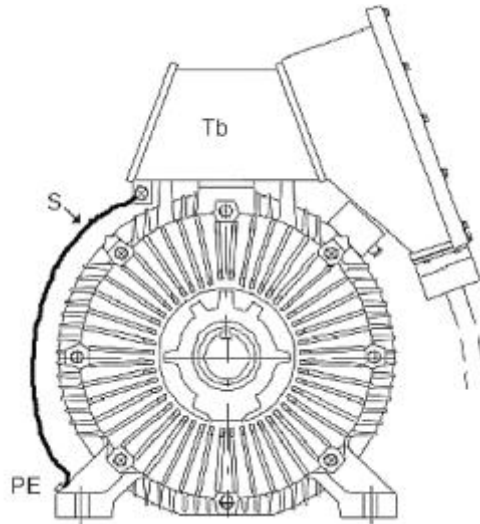
Uzemňovací kabely jsou kvůli bezpečnosti dimenzovány případ od případu v souladu s místními předpisy. Vhodná volba charakteristik kabelů a pravidel pro provedení kabeláže rovněž pomáhá snižovat hladiny elektrických namáhání působících na různé části PDS a zvyšuje tedy jeho spolehlivost. Kromě toho typy kabelů mají odpovídat požadavkům na EMC.

9.1.3 Pospojování motorů

Pospojování má být provedeno způsobem, který nejen splní požadavky na bezpečnost, ale takélepší vlastnosti instalace týkající se EMC. Vhodné vodiče pro pospojování zahrnují kovové pásky, pásky z kovového pletiva nebo kabely kruhového průřezu. Pro tyto vysokofrekvenční systémy jsou lepší kovové pásky nebo opletené pásky. Typický poměr délky k šířce má být u těchto pásků menší než pět.

U motorů o výkonu od 100 kW výše mohou podmínky vnějšího uzemnění poháněného stroje vyžadovat pospojování mezi kostrou motoru a poháněným strojem. Typickými aplikacemi jsou čerpadla (uzemněná vodou) a převodovky s centrálním mazáním (uzemněné olejovým potrubím). Účelem tohoto pospojování je vyrovnání potenciálů a zlepšení uzemnění. Má mít nízkou indukčnost, takže má být použit kovový pásek nebo opletený pásek, a má být vedeno nejkratší možnou cestou. V některých případech může být požadováno přídavné pospojování součástí motoru, například mezi kostrou motoru a svorkovnicí (viz obrázek 22).

Kde je použit pro motor a poháněnou zátěž společný mazací systém, je nutné dbát na to, aby se zabránilo vazbě na izolovaných ložiskových pouzdrech.



Legenda

Tb - svorkovnice

PE - připojení na kostru motoru

S - pásek pro pospojování

Obrázek 22 - Pásek pro pospojování od svorkovnice ke kostře motoru

9.1.4 Silové kabely motoru

9.1.4.1 Doporučené uspořádání

Pro hladiny výkonu vyšší než 30 kW mohou být výhodné kabely se symetrickým uspořádáním jednožilového silového a uzemňovacího vodiče.

Stíněným vícežilovým kabelům se dává přednost pro nižší výkony a snadnou instalaci. Do výkonu motoru 30 kW a velikosti kabelu 10 mm² mohou být rovněž vyhovující nesymetrické kabely, vyžadují však více opatrnosti při instalaci. V tomto rozsahu výkonů je běžné fóliové těsnění.

Aby mohl mít vodič funkci ochranného vodiče, má být vodivost stínění minimálně 50 % vodivosti fázového vodiče. Při vysokém kmitočtu má být vodivost stínění minimálně 10 % vodivosti fázového vodiče. Tyto požadavky jsou snadno splněny s měděným nebo hliníkovým stíněním/pancířem. Kvůli nižší měrné vodivosti ocelové stínění vyžaduje větší průřez a šroubovice stínění má mít nízký gradient. Galvanické pokovení

Strana 40

zvýší vodivost při vysokém kmitočtu. Je-li impedance stínění vysoká, úbytek napětí podél stínění, způsobený vysokofrekvenčními zpětnými proudy, může zvýšit potenciál kostry motoru vzhledem k (uzemněnému) rotoru dostatečně pro vyvolání průtoku nežádoucích ložiskových proudů (viz kapitolu 8). Účinnost stínění, pokud jde o EMC, může být posouzena hodnocením jeho povrchové přenosové impedance, která má být nízká i při vysokých kmitočtech.

Stínění kabelů má být uzemněno na obou koncích. Pospojování stínění v rozsahu 360° poskytuje úplnou vysokofrekvenční schopnost stínění, odpovídající osvědčené praxi týkající se EMC (viz 9.1.4.3).

Některé příklady vhodných stíněných kabelů jsou tyto:

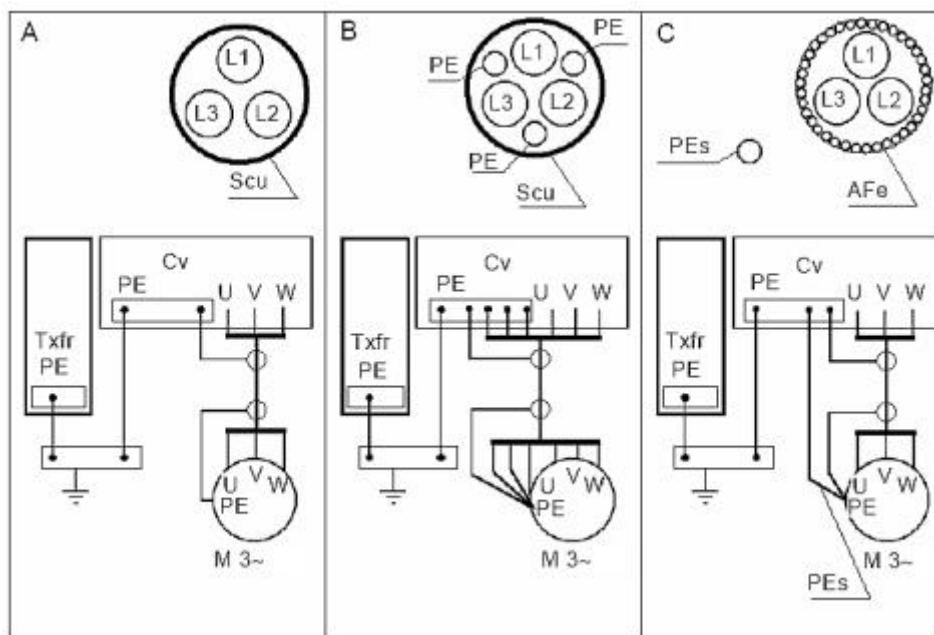
- trojžilový kabel s koncentrickým měděným nebo hliníkovým ochranným stíněním (viz obrázek

23 A). V tomto případě jsou fázové vodiče ve stejné vzdálenosti mezi sebou a od stínění, které se také používá jako ochranný vodič.

- trojžilový kabel se třemi symetrickými vodiči pro ochranné uzemnění a koncentrickým stíněním/pancířem (viz obrázek 23 B). Stínění u tohoto typu kabelu slouží pouze pro EMC a pro fyzickou ochranu.

POZNÁMKA U systémů malého výkonu může být pro ochranné uzemnění vyhovující jeden vodič.

- trojžilový kabel s opleteným pancířem/stíněním s malou roztečí z oceli nebo galvanicky pokoveného železa (viz obrázek 23 C). Pokud má stínění nedostatečný průřez pro použití jako ochranný vodič, je potřebný samostatný uzemňovací vodič.



Scu - koncentrické měděné (nebo hliníkové) stínění AFe - kovový pancíř Txfr - transformátor Cv - měnič PEs - samostatný uzemňovací vodič

Obrázek 23 - Příklady stíněných motorových kabelů a připojení motorů

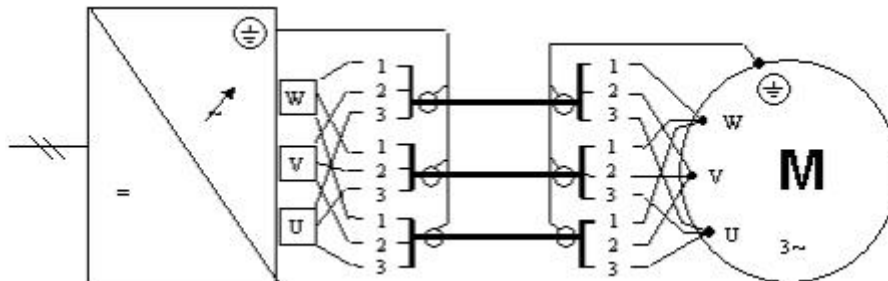
Ve všech případech má být délka těch částí kabelu, které mají být zapojeny na připojovací část měniče kmitočtu a na svorkovnici motoru, a mají tedy odstraněné stínění, co nejmenší.

V typickém případě mohou být použity stíněné kabely o délkách do asi 100 m bez přidavných opatření. U delších kabelů mohou být požadována zvláštní opatření, jako jsou výstupní filtry. Je-li použit filtr, výše uvedená doporučení platí pro kabel od výstupu měniče k filtru. Je-li filtr účinný z hlediska EMC, kabel od filtru k motoru nemusí být stíněný nebo symetrický, motor však může vyžadovat přidavné uzemnění.

Jednožilové nestíněné kabely mohou být vhodné pro kabely motorů pro vyšší výkony, pokud jsou instalovány blízko sebe na kovovém kabelovém můstku, který je pospojován s uzemňovací soustavou nejméně na obou koncích kabelové trasy. Je třeba vzít v úvahu, že magnetická pole z těchto kabelů mohou indukovat v blízko umístěných kovových výrobcích proudy, vedoucí k oteplení a zvýšeným ztrátám.

9.1.4.2 Paralelní symetrické kabely

Pokud kabely propojují vysokovýkonový měnič a motor, může být kvůli požadavkům na vysoký proud nutné použít několik paralelních vodičů. V tomto případě má být vhodná kabeláž pro snadnou (symetrickou) instalaci provedena podle obrázku 24.

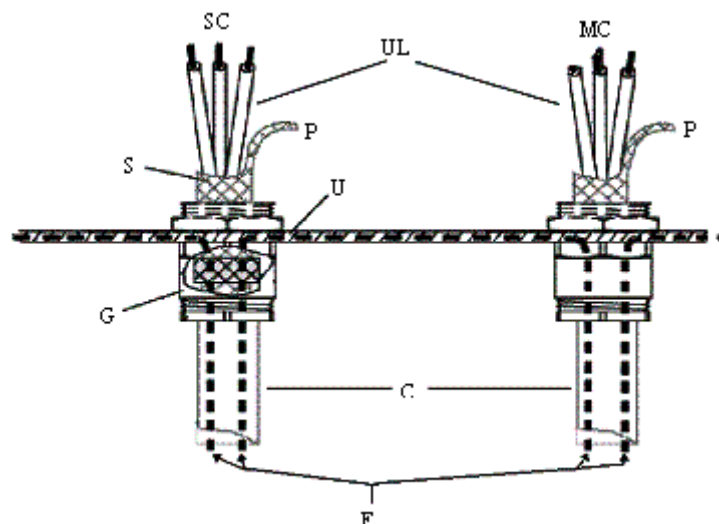


Obrázek 24 - Paralelní symetrické kabelové propojení vysokovýkonového měniče a motoru

9.1.4.3 Vývody kabelů

Při instalování kabelu motoru se má zajistit, aby stínění bylo vysokofrekvenčně (HF) spojeno jak s měničem, tak s krytem motoru. To vyžaduje, aby svorkovnice motoru byla vyrobena z elektricky vodivého materiálu, jako je hliník, železo atd., který je vysokofrekvenčně elektricky připojen ke krytu. Spoje stínění mají být provedeny s vývody v rozsahu 360°, což má za následek nízkou impedanci v širokém rozsahu kmitočtu od stejnosměrného proudu do 70 MHz. To účinně snižuje napětí v hřdli a kostře a zlepšuje vlastnosti EMC.

Příklady osvědčené praxe pro vývody měniče a motoru s nižším výkonem jsou znázorněny na obrázcích 25 a 26.



Legenda

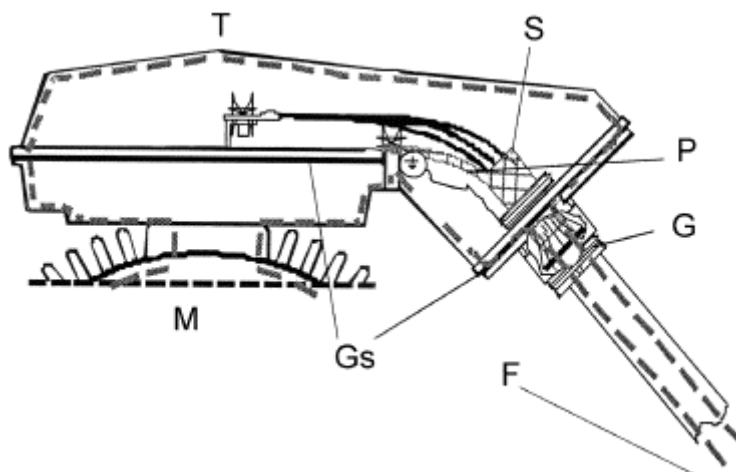
SC - Napájecí kabel
S - Stínění kabelu
G - Kabelové hrdlo s odpovídající EMC

MC - Kabel motoru
P - „Pigtails“ (krátký ohebný přívod k pohyblivé součásti) (co nejkratší)
C - Kabely (vnější kryt)

UL - Nestíněná část (co nejkratší)
U - Deska s kabelovými hrdly bez nátěru
F - Spojitá Faradayova klec

Obrázek 25 - Připojení měniče vysokofrekvenčními kabelovými hrdly v rozsahu 360° představující Faradayovu klec

Strana 42

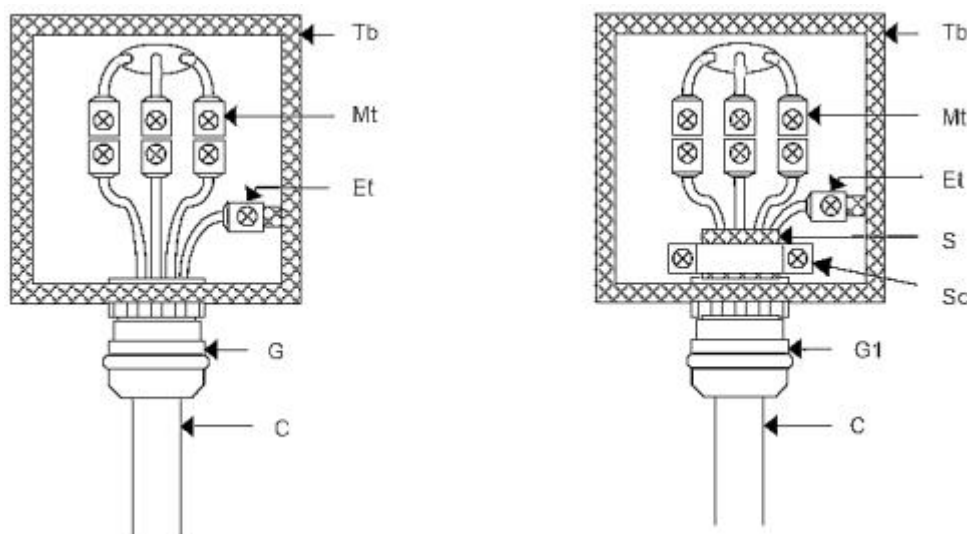


Legenda

- | | | |
|------------------------------------|------------------------|--|
| T - Svorkovnice (vodivá) | S - Stínění kabelu | P - „Pigtail“ (krátký ohebný přívod k M - Kostra motoru pohyblivé součásti) (co nejkratší) |
| Gs - Vodivé ploché těsnicí kroužky | G - EMC kabelové hrdlo | F - Spojitá Faradayova klec |

Obrázek 26 - Kabelová koncovka na motoru s připojením v rozsahu 360°

Připojení stínění na svorkovnici motoru mají být provedena buď kabelovým hrdlem s odpovídající EMC, znázorněným na obrázku 27 a), nebo příchýtkou stínění, znázorněnou na obrázku 27 b). Podobná připojení jsou požadována na krytu měniče.



Legenda

- | | | | |
|-------------------------|--------------------|------------------------|--------------------|
| Tb - Svorkovnice motoru | Mt - Svorky motoru | Et - Uzemňovací svorka | S - Stínění kabelu |
|-------------------------|--------------------|------------------------|--------------------|

Obrázek 27 - Připojení stínění kabelu

9.1.4.4 Kabeláž a uzemnění pomocných zařízení

Pomocná zařízení, jako jsou tachometry, mají být elektricky izolována od motoru, aby se zabránilo vytvoření jimi procházejících proudových drah, což vede k nesprávným odečítaným hodnotám nebo možnému poškození. Možným řešením pro enkodér vazbového typu je elektricky izolovaná spojka. Izolace může být provedena pro tachometr s dutým hřídelem izolováním kulových kloubů nebo tyče zasouvacího ramene. Stínění kabelu tachometru má být izolováno od kostry tachometru. Druhý konec stínění je uzemněn na měniči.

Tachometry s dutým hřídelem s elektrickou izolací mezi dutým hřídelem a kostrou tachometru umožní připojení stínění kabelu ke kostře tachometru.

Použití dvojité stíněného kabelu se dává přednost u impulzního enkodéru. Aby se omezily na minimum problémy s vysokofrekvenčním rušením, stínění má být uzemněno na straně enkodéru přes kondenzátor. Jeden stíněný kabel může být použit s analogovým tachometrem.

Aby se zabránilo nežádoucí vazbě, kabelové trasy pomocných zařízení mají být odděleny od kabelových tras výkonových kabelů.

9.1.4.5 Kabeláž integrovaných snímačů

Všeobecně doporučení pro analogové tachometry uvedená v 9.1.4.4 platí pro integrované snímače (například termočlánky). Protože jsou však spoje k integrovaným snímačům obvykle umístěny blízko výkonových spojů v motoru, je třeba, aby jejich izolace byla dostatečná pro vyšší napětí, která se vyskytují. V těchto případech nemusí být vždycky možné použití stíněného kabelu.

9.2 Tlumivky a filtry

9.2.1 Všeobecně

V některých instalacích, například pro omezení namáhání napětím nebo pro zlepšení vlastností EMC, může být výhodné použití tlumivek nebo výstupních filtrů.

9.2.2 Výstupní tlumivky

Jsou to speciálně navržené tlumivky, které jsou přizpůsobeny pro tvar vlny PWM a používají se pro omezení dv/dt a špičkového napětí. Je však třeba opatrnosti, protože tlumivky mohou teoreticky prodloužit dobu trvání překmitu, nejsou-li správně zvoleny - zvláštní péči je třeba věnovat tlumivkám s feritovým jádrem. V případě znázorněném na obrázku 28 a) přidání tlumivky prodloužilo dobu náběhu na asi 5 ms a snížilo špičkové napětí na 792 V. Normálně se výstupní tlumivka montuje do skříně měniče. Výstupní tlumivky se také mohou používat pro kompenzování nabíjecích proudů kabelu a mohou se používat u větších pohonů pro motorové kabely o délce do mnoha set metrů.

9.2.3 Filtr omezující napětí (filtr dv/dt)

V tomto případě může být použito pro omezení dv/dt zařízení sestávající z kondenzátorů, tlumivek a diod nebo rezistorů, které výrazně snižuje amplitudu a zvyšuje dobu náběhu špičkového napětí. V příkladu znázorněném na obrázku 28 b) je špičkové napětí sníženo na 684 V s dv/dt 40 V/ms. Určité zvýšení ztrát 0,5 % - 1,0 % by mělo být přijatelné a může dojít ke snížení záběrného momentu a momentu zvratu.

9.2.4 Sinusový filtr

Speciální provedení dolních propustí umožňuje odvedení vysokofrekvenčních proudů a výsledný tvar napěťové vlny na výstupu do motoru se stane sinusovým. Sdružené výstupní napětí (rozdílové) po dobu přibližně 1,5 periody spínacího kmitočtu je znázorněno na obrázku 28 c). Obecně jsou dva typy sinusových filtrů:

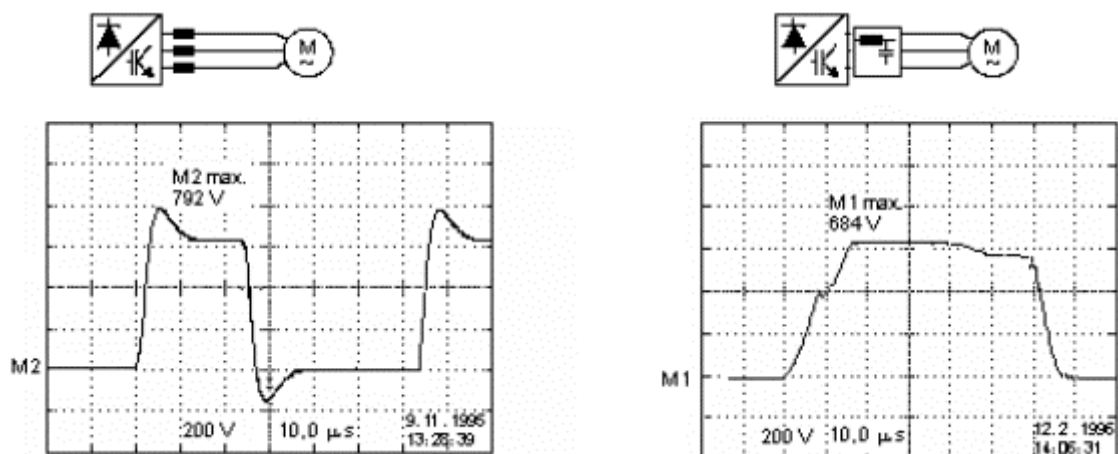
- 1) Provedení s filtrováním jak fáze-zem, tak fáze-fáze
- 2) Provedení s filtrováním pouze fáze-fáze

Tyto filtry jsou drahé a mají také jiná omezení. Zabraňují tomu, aby napětí motoru překročilo 90 % napájecího napětí (tím odlehčují měnič). Rovněž nebudou vhodné pro aplikace, které vyžadují vysoké dynamické vlastnosti.

Strana 44

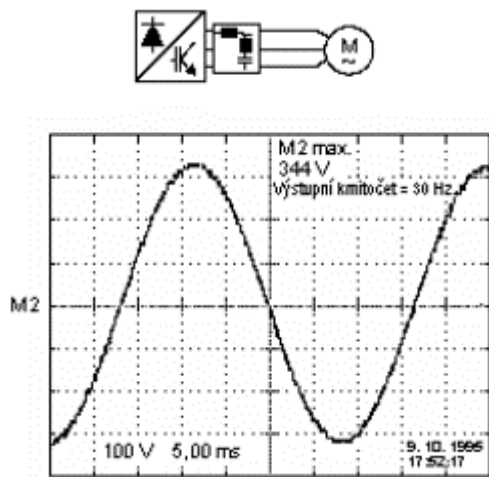
9.2.5 Jednotka s filtry pro motor

Jednotka s filtry pro motor může být připojena na svorky motoru. Jejím účelem je přizpůsobení impedance motoru impedanci kabelu, čímž se zabrání odrazům napětí na motoru. V příkladu znázorněném na obrázku 28 d) je špičkové napětí nyní pouze 800 V s dobou náběhu 2 ms. V typickém případě tyto filtry přidávají asi 0,5 % - 1,0 % ztrát.

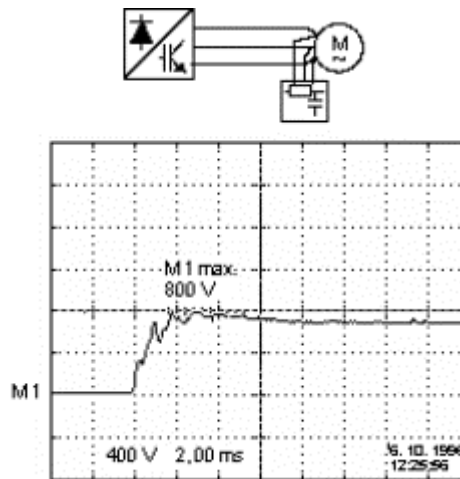


Obrázek 28 a) - Výstupní tlumivka (3 %)

Obrázek 28 b) - Výstupní filtr dv/dt



Obrázek 28 c) - Sinusový filtr



Obrázek 28 d) - Jednotka s filtry pro motor

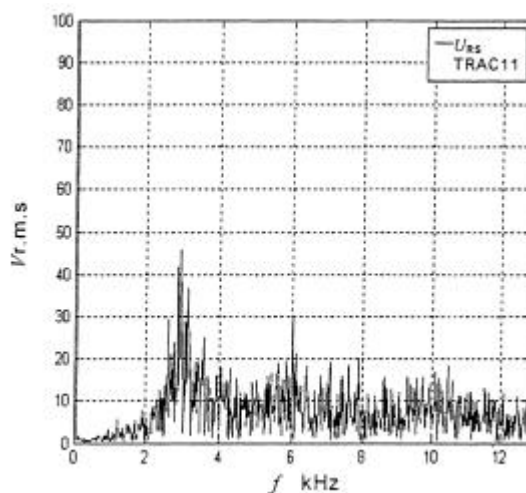
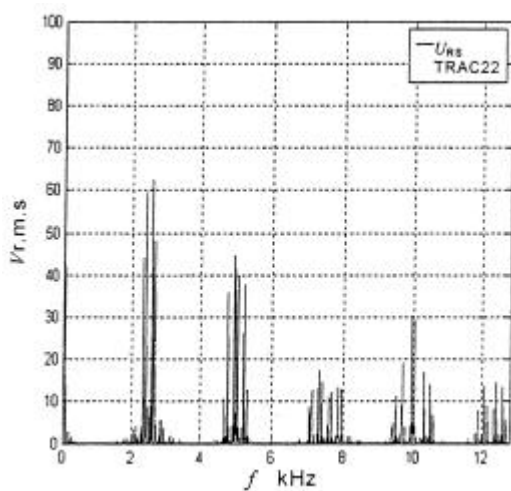
Obrázek 28 - Charakteristiky při jednotlivých preventivních opatřeních

Strana 45

Příloha A (informativní)

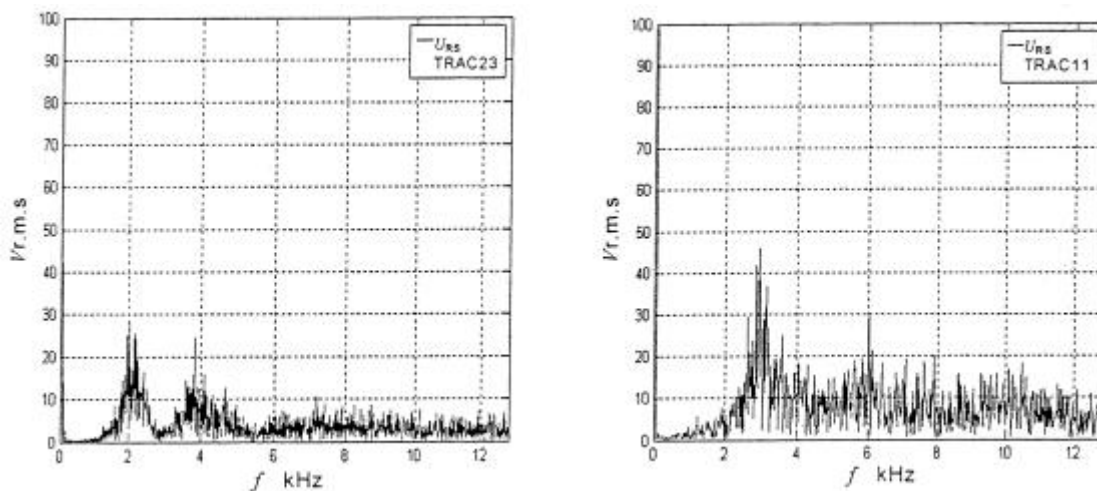
Výstupní spektra měniče

Tvar vlny výstupního napětí měniče, a tedy spektrum výstupního napětí, se liší podle metody vytváření výstupního napětí měniče. Příklady složek kmitočtu na výstupech měniče se spínáním PWM konstantního kmitočtu (asi 2,5 kHz) a měniče s hysterézním spínáním (průměrný kmitočtet asi 2,2 kHz) jsou na obrázcích A.1 a) a A.1 b). Na obrázku A.2 je porovnání typického spektra náhodného kmitočtu (průměrná hodnota asi 2,2 kHz) měniče s PWM se spektrem měniče s hysterézním spínáním. Ve všech případech byl výstupní kmitočtet do motoru asi 40 Hz a zatěžovací charakteristiky motoru byly udržovány konstantní. Složky kmitočtu hysterézního spínání nebo spínání PWM náhodného kmitočtu mají obvykle nižší amplitudu než složky spínání PWM konstantního kmitočtu, jsou však rozloženy v kmitočtovém pásmu ve větší šířce.



b)

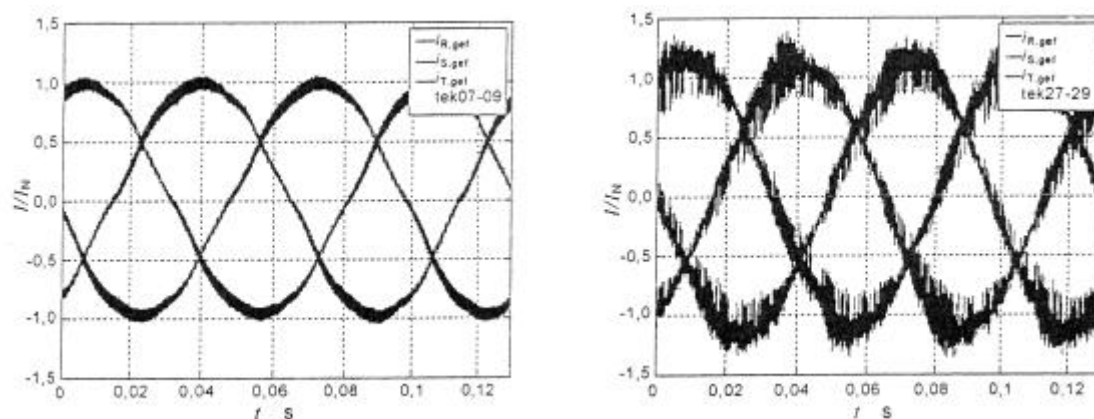
Obrázek A.1 - Typická kmitočtová spektra výstupního napětí měniče s a) řízením PWM konstantního kmitočtu a b) hysterezním řízením



Obrázek A.2 - Typická kmitočtová spektra výstupního napětí měniče s a) řízením PWM náhodného kmitočtu a b) hysterezním řízením

Strana 46

Na obrázku A.3 jsou typické (normalizované) časové charakteristiky proudu motoru z měniče využívajícího spínání PWM konstantního kmitočtu (obrázek A.3 a) a měniče s hysterezním spínáním (obrázek A.3 b)). V tomto případě byl výstupní kmitočet do motoru asi 10 Hz.



Obrázek A.3 - Typické časové charakteristiky proudu motoru s a) řízením PWM konstantního kmitočtu a b) hysterezním řízením

POZNÁMKA Obrázky A.1, A.2 a A.3 jsou uvedeny pouze pro ilustraci. Nemají se používat pro kladné nebo záporné hodnocení metod vytváření napětí jako takových. Všechny metody vytváření výstupního napětí mohou být optimalizovány speciálními způsoby, aby se vyvážily výhody a nevýhody v aplikaci.

Pokud jde o důsledky na hluk systému, viz kapitolu 6.

Bibliografie

IEC 61000-5-1 *) Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 5: Installation and mitigation guidelines - Section 1: General considerations - Basic EMC publication

(Elektromagnetická kompatibilita (EMC) - Část 5: Směrnice o instalacích a zmírňování vlivů - Oddíl 1: Všeobecná ustanovení - Základní publikace EMC)

IEC 61000-5-2 **) Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 5: Installation and mitigation guidelines - Section 2: Earthing and cabling

(Elektromagnetická kompatibilita (EMC) - Část 5: Směrnice o instalacích a zmírňování vlivů - Oddíl 2: Uzemnění a kabeláž)

IEC 61800-6 ***) Adjustable speed electrical power drive systems - Part 6: Guide for determination of types of load duty and corresponding current ratings

(Elektrické výkonové pohonné systémy s říditelnými otáčkami - Část 6: Návod pro určení průběhu zatížení a odpovídajících hodnot proudů)

NÁRODNÍ POZNÁMKY

*) IEC/TR 61000-5-1:1996 nebyla v rámci EU převzata jako EN a není zavedena jako ČSN.

**) IEC/TR 61000-5-2:1997 nebyla v rámci EU převzata jako EN a není zavedena jako ČSN.

***) IEC/TR 61800-6:2003 byla v době vydání této ČSN CLC/TS 60034-25 v rámci EU převzata jako návrh CLC/prTR 61800-6:2006; odpovídající ČSN se připravuje.

Příloha ZA (normativní)

Normativní odkazy na mezinárodní publikace s jejich příslušnými evropskými normami

Pro používání tohoto dokumentu jsou nezbytné dále uvedené referenční dokumenty. U datovaných odkazů platí pouze citovaná vydání. U nedatovaných odkazů platí poslední vydání referenčního dokumentu (včetně změn).

POZNÁMKA Pokud byla mezinárodní publikace upravena společnou modifikací, vyznačenou pomocí (mod), používá se příslušná EN/HD.

<u>Publikace</u>	<u>Rok</u>	<u>Název</u> <u>EN/HD</u>	<u>Datum</u>
IEC 60034-1	- 1)	Točivé elektrické stroje Část 1: Jmenovité údaje a vlastnosti <i>(Rotating electrical machines)</i>	

Part 1: Rating and performance)
EN 60034-1 2004 ²⁾

IEC 60034-2 + IEC 60034-2A	1972 1974	Část 2: Metody určování ztrát a účinnosti točivých elektrických strojů ze zkoušek (s výjimkou strojů pro trakční vozidla) <i>(Part 2: Methods for determining losses and efficiency of rotating electrical machinery from tests (excluding machines for traction vehicles))</i>	EN 60034-2	1996
	A1	1995	A1	1996
	A2	1996	A2	1996
	IEC 60034-6	- ¹⁾ Část 6: Způsoby chlazení (IC kód) EN 60034-6 1993 ²⁾ <i>(Part 6: Methods of cooling (IC Code))</i>		
IEC 60034-9 (mod)	- ¹⁾	Část 9: Mezní hodnoty hluku <i>(Part 9: Noise limits)</i>	EN 60034-9	2005 ²⁾
	IEC 60034-14	- ¹⁾ Část 14: Mechanické vibrace určitých strojů s výškou EN 60034-14 2004 ²⁾ osy od 56 mm - Měření, hodnocení a mezní hodnoty mohutnosti vibrací <i>(Part 14: Mechanical vibration of certain machines with shaft heights 56 mm and higher - Measurement, evaluation and limits of vibration severity)</i>		
	IEC/TS 60034-17	- ¹⁾ Část 17: Asynchronní motory nakrátko napájené CLC/TS 60034-17 2004 ²⁾ z měničů - Návod na používání <i>(Part 17: Cage induction motors when fed from converters - Application guide)</i>		
	IEC 61800-2	- ¹⁾ Systémy elektrických výkonových pohonů EN 61800-2 1998 ²⁾ s nastavitelnou rychlostí Část 2: Všeobecné požadavky - Specifikace výkonu pro nízkonapěťové systémy střídavých výkonových pohonů s nastavitelným kmitočtem <i>(Adjustable speed electrical power drive systems Part 2: General requirements - Rating specifications for low voltage adjustable frequency a.c. power drive systems)</i>		

1) Nedatovaný odkaz.

2) Platná publikace k datu vydání této normy.

<u>Publikace</u>	<u>Rok</u>	<u>Název</u> <u>EN/HD</u>	<u>Datum</u>
IEC 61800-3	- ¹⁾	Část 3: Požadavky EMC a specifické zkušební metody EN 61800-3	2004 ²⁾ <i>(Part 3: EMC requirements and specific test methods)</i>
IEC 61800-5-1	- ¹⁾	Část 5-1: Bezpečnostní požadavky - Elektrické, EN 61800-5-1	2003 ²⁾ tepelné a energetické <i>(Part 5-1: Safety requirements - Electrical, thermal and energy)</i>

Prázdna strana

Prázdna strana

-- Vynechaný text --