

Škola - Frekvenční měniče

Škola - Servo

Škola - Motory

- [Nákup motorů](#)
- [Asynchronní motor](#)
- [Stejnoseměrný motor](#)
- [Krokový motor](#)
- [Servo motor](#)
- [Reluktanční motor](#)
- [Synchronní motor](#)
- [Piezoelektrický motor](#)
- [Lineární motor](#)
- [Účinnost motorů](#)
- [Ložiskový proud](#)
- [Druhy provozu](#)
- [Formy ochrany motorů](#)
- [Obvyklé otázky - motory](#)

Škola - Komunikace

Škola - Encoder

Škola - Pojistky

Škola - PID regulátor

Převod jednotek

Slovník pojmů

[Domů](#) / [ŠKOLA](#) / [Škola - Motory](#) / Ložiskový proud

## Škola - Ložiskový proud

Elektrický způsobený poškození ložiska v elektromotorech není nový problém. Problémy jsou stejně dlouhé jako historie elektrických motorů. Původně se jednalo o výrobní tolerance, magnetické materiály s méně dobrými vlastnostmi a někdy čisté havárie, která vedly k poškození ložisek.

Ložiskovými proudy míníme takové, které z nějakého důvodu procházejí hřídelí rotoru a jedním nebo několika ložisky asynchronního stroje. Ložiskové proudy nejsou nic nového, byly to vědní problémy již se stejnosměrnými pohony, ale i velkými střídavými pohony.

Problémy výrobních tolerancí a materiálů jsou nyní překonány. K nehodám, které vedou k poškození ložisek stále dochází, ale k elektrické erozi v ložiskách by již neměla být problém. Ale stále je jedním z dominantních problémů u pohonů - a to jak těch, které používají frekvenční měniče u synchronních motorů a těch, kteří používají SS motory s řízenými usměrňovači s tyristory nebo tzv. choppers.

**Největším problémem je pulzní šířková modulace (PWM) frekvenčních měničů pohánějící asynchronní motory**

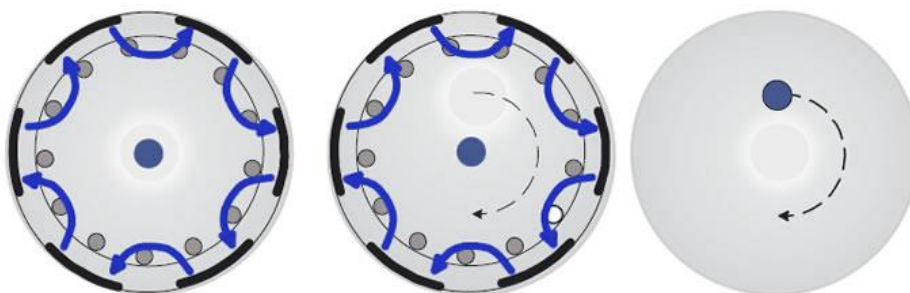


obr. 1

Obrázek zobrazuje příklad, jak poškozené ložisko může vypadat, když se rozdělí. Vidíme především vnější část s charakteristickým vzorkem připomínajícím zip. To je velmi charakteristické. Kuličky jsou charakteristicky matné - další typický znak poškození ložiskovými proudy.

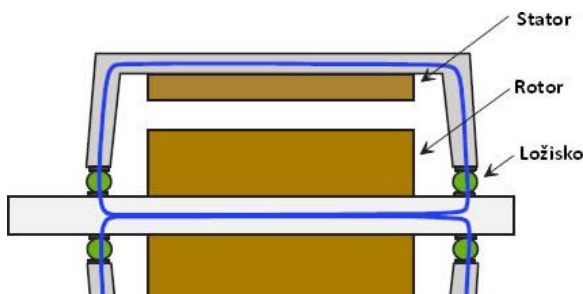
Klasická problematika ložiskových proudů u přímo-napájených strojů je spojena s velkými stroji s málo póly, především 2 nebo 4mi póly. U menších a vícepólových střídavých strojů je magnetická nesymetrie ve vzduchové štěrbině menší a tím jsou menší i ložiskové proudy.

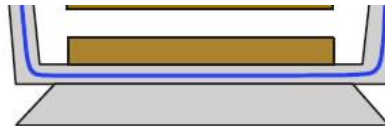
Na následující levém obrázku vidíme asynchronní stroj v řezu. Pokud napájíme vinutí sinusovým proudem, bude se osa rotoru celou dobu nacházet v nulovém bodě magnetického pole, které vytvoří stator. Tím se v ní žádné napětí neindukuje.



obr. 2

Pokud se však bude jedna fázová impedance odchylovat od ostatních, budou fázové proudy a tím i magnetické pole nesymetrické. Tím se osa stroje již nebude nacházet v nulovém bodě. Osa stroje můžeme považovat za tyč v magnetickém poli a napětí na ní indukované je funkce proudu procházejícím státorem a rychlosti, kterou prochází mag. polem.



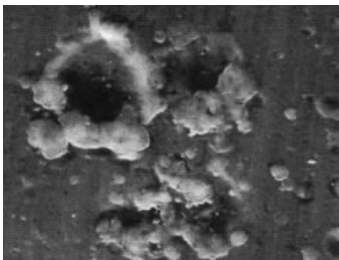


obr. 3

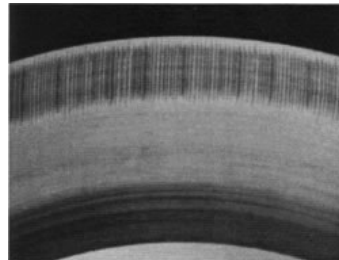
Napětí indukované v ose zapříčiní rozdíl potenciálů mezi konci osy. Tím vznikne rozdíl potenciálů mezi ložisky stroje. Je-li potenciál dostatečný vzniknou výboje, které se budou snažit eliminovat rozdíl potenciálů. Proud začne procházet ložisky a kostrou stroje.

**Průrazné napětí pro olejový film bývá 2-3V až do 20-30V v závislosti na typu ložiska.**

Když ložiskem prochází elektrický proud, dochází k výbojům mezi vnitřní a vnější ložiskovou dráhou a pouzdrem ložiska. teplo, která se při výbojích vyvíjí, zapříčiní lokální roztavení malých bodů v povrchu ložiskové dráhy. Tím vznikají krátery v dráze.



obr. 4 - kráter vytvořený EDM (SKF)



obr. 5 - valchovitý povrch - tzv. fluting (SKF)

Materiál povrchu kráteru znovu ztuhne na typ sklovitě tvrdého materiálu, materiál pod tímto povrchem zůstane ale měkký než než povrch kráteru ale i měkký než původní materiál. Velikost kráterů, která vznikají při pohonech frekvenčními měniči (dnes nejobvyklejší příčina vzniku) bývá 5-8 $\mu$ m.

Při otáčení vzniknou mechanické vibrace a typický valchovitý vzorek a matné zabarvení kuliček. Zbytky kovu při roztavení zůstávají v mazivu ložiska. Mazivo je též ovlivněno výboji - tmavne a tvrdne. Mazací vlastnosti se zhoršují.

S příchodem frekvenčních měničů se problémy ložiskových proudů posunuly i do malých strojů, kde kdysi tyto problémy nebyly. Existuje několik příčin a několik řešení těchto problémů:

## Pohony s frekvenčními měniči

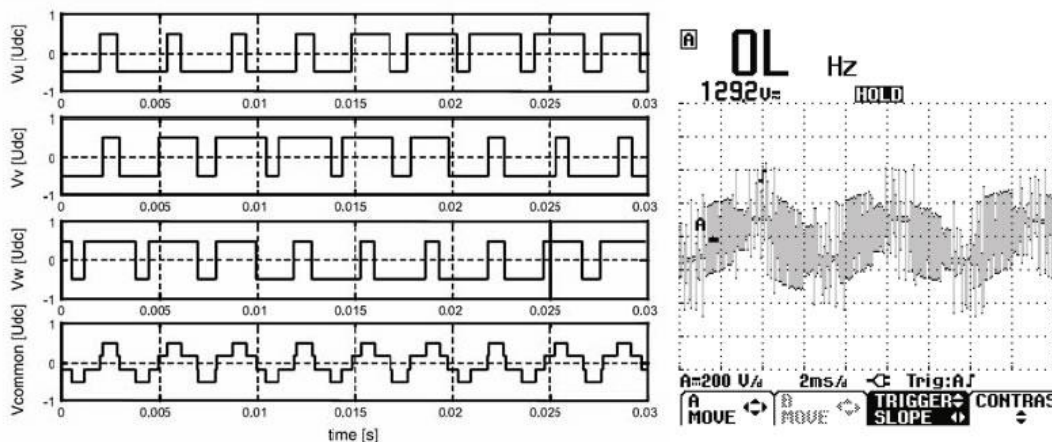
U pohonů s fr. měniči existují tři hlavní typy ložiskových proudů na které se podíváme blíže:

1. Vysokofrekvenční cirkulující proudy
2. Proudů zeměnou hřídelí
3. Kapacitní výboje

### 1. Vysokofrekvenční cirkulující proudy

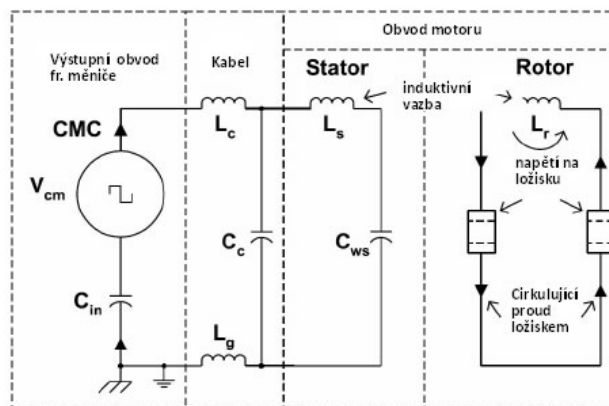
Vždy existují kapacity mezi vinutím stroje a kostrou stroje. Když se stroj napájí střídavým proudem, objeví se napětí a proudy i na kostře statoru. Když se motor napájí zcela symetrickým 3f napětím je suma rovna nule, protože fázový posun je 120°.

Jenže co se stane, když motor budeme napájet z frekvenčního měniče?



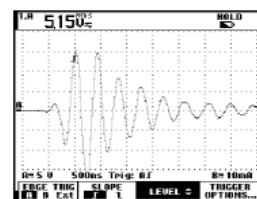
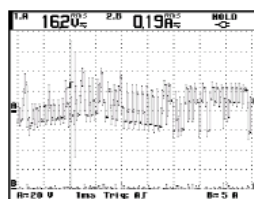
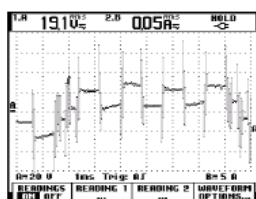
obr. 6

Při pohonu z fr. měniče se napětí mění mezi dvěma danými hodnotami v každé fázi - mezi 0V a  $U_{dc}$  - napětím na mezistupni měniče. To znamená, že obdržíme netto-napětí na kapacitách vinutí proti kostře statoru, které nebude nulové,  $V_{common}$  - v levé části obrázku 6. Pravý obrázek ukazuje naměřené napětí mezi nulovým bodem všech vinutí, Y-bodem, a kostrou motoru. Toto napětí způsobí proud v kostře motoru. Tento proud zapříčiní vysokofrekvenční magnetické pole ve vzduchové šterbině což bude indukovat napětí v ose rotoru. To odpovídá obrázku 2.



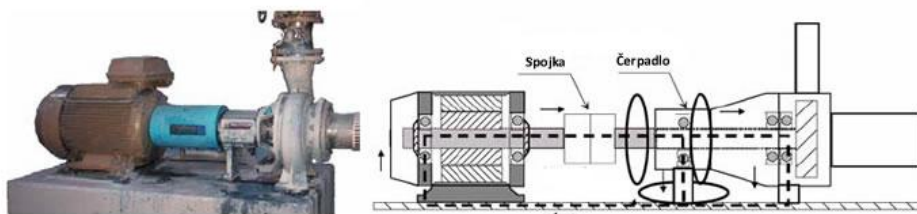
obr. 7 Obrázek zobrazuje jak proudy procházejí obvody motoru

Pokud je napětí na ložiscích dostatečné, vznikne průraz v ložisku a vznikne proud.



- Levé měření ukazuje napětí na ložisku pro 400 kW, 4-pólový asynchronní motor, který je napájen z fr. měniče.
- Měření uprostřed zobrazuje napětí na ložisku pro 110 kW, 2-pólový motor.
- Obrázek napravo je zvětšenina středního obrázku, jednoho pulzu. Všimněte si rozdílu v amplitudě pulzů.

Tento typ ložiskových proudů je nejobvyklejší u středních a vysokovýkonových strojů s výškou osy dle IEC 315, tedy pro 100 kW a více.

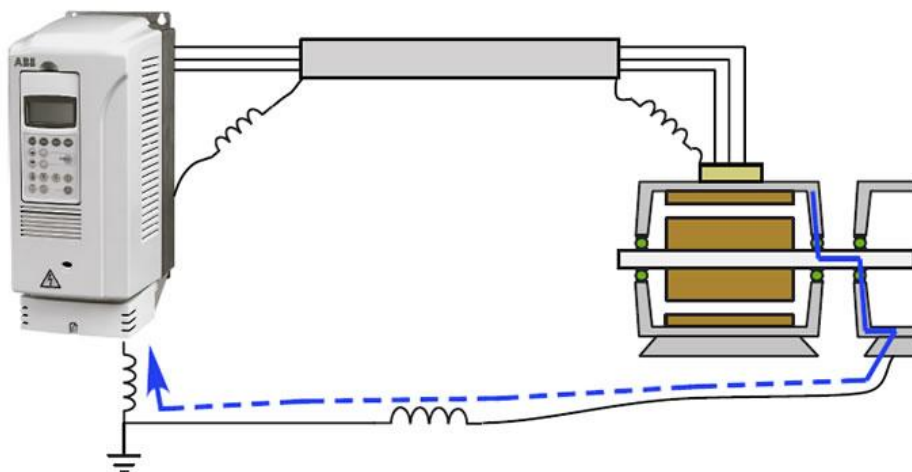


Můžeme obdržet bludné proudy např. u pohonů čerpadel, když impedance mezi osou motoru a zemí má malou hodnotu díky např. ložisku v čerpadlu nebo jiné připojené zátěži, jako je převodovka, než je impedance ložiska u pohonné části.

V závislosti na konstrukci ložiska ve vnějším obvodu můžeme obdržet havárii ložiska, která vznikne mnohem dříve než u volné části ložiska ve stroji. V tom případě jsme zcela ztratili kontrolu, jaké škody mohou vzniknout díky ložiskovým proudům. V mnoha případech pak může být mnohem dražší a obtížnější vyměnit ložiska v převodovce než v motoru.

## 2. Proudů zemněnou hřídelí

Napětí, které vznikne mezi vinutím motoru a jeho kostrou, zapříčiní vznik proudu v obvodu. Ideálně by se tento proud vrátil zpět k fr. měniči po napájecím kabelu.

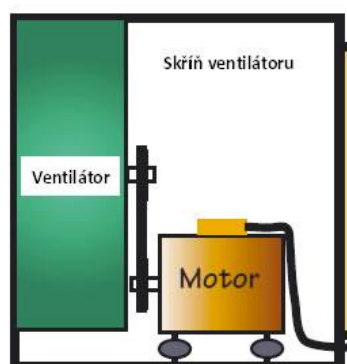


Jenže všechny kabely vykazují impedanci a nikde není zaručeno, že stínění mezi motorem a fr. měničem bude mít tu nejnižší impedanci. Nesmíme zapomenout, že proudy, o kterých mluvíme mají frekvenci přes 1 MHz! To znamená, že impedance, které jsou zanedbatelné při 50 Hz, mohou vykazovat velký odpor pro vysokofrekvenční proud.

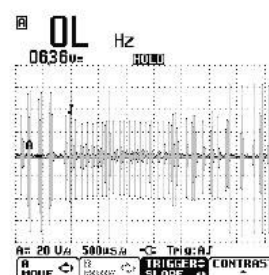
Pokud je tedy osa motoru uzemněna spojením přes zátěž a ostatní zpětné zemní vodivé spojení, mohou tyto mít nižší impedanci než zemní vodič v napájecím kabelu. My pak obdržíme napěťový potenciál na ložiskách motoru a pokud je napětí dostatečné, vznikají průrazy a ložisky protéká proud.

**Upozorňuji, že nyní mluvíme o ložiskách v zátěži – ne v motoru.**

Tento typ problematiky ložiskových proudů je nezávislý na velikosti motoru. Jediné, co je třeba, je motor napájený fr. měničem, jehož osa je uzemněna přes zátěž motoru. Nevhodné kabely pak situaci ještě zhorší.



**Napětí mezi motorem a skříní ventilátoru**



Obrázek ukazuje problém s kabely, jejichž impedance stínění je vysoká pro vysokofrekvenční proudy, které mají být přivedeny zpět do fr. měniče. Obrázek představuje kovovou skříň ventilátoru. Motor je namontován na patkách tlumících vibrace. Stroj je spojen se zemí skříně pouze stíněním kabelu motoru, jelikož patky jsou nevodivé.

Při měření rezistance mezi motorem a skříní dostaneme téměř 0  $\Omega$ , čímž se zda být vyrovnávání potenciálů v pořádku.

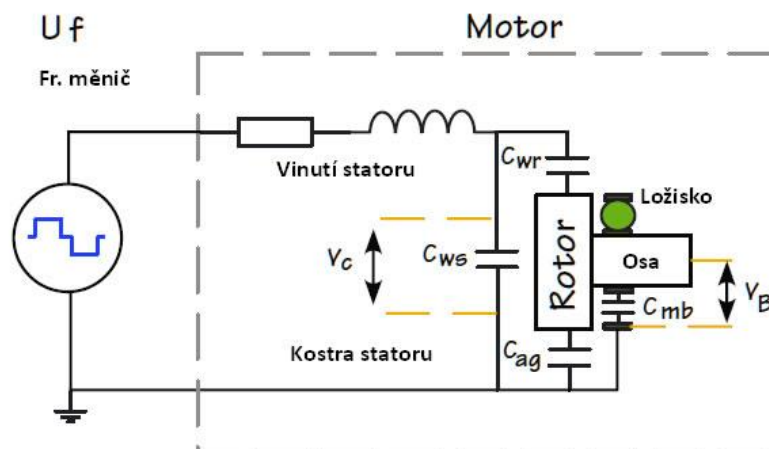
Jenže když nastartujeme fr. měnič a změříme napětí mezi motorem a skříní přístrojem, který zvládne měřit vyšší frekvence (min. 20 MHz), zjistíme úbytek napětí na stínění kabelu. Mezi skříní a motorem vznikne značný rozdíl napěťového potenciálu. Všimneme si, že napěťový rozdíl zaznamenáme pouze pro vyšší frekvence, žádné napěťové komponenty o 50 Hz v měření nenajdeme. Měření je provedeno na motoru, který je napájen přes 50 m dlouhý kabel.

Tímto měřením jsme chtěli zdůraznit význam kabelů, které jsou opatřeny stíněním určeným pro vedení vysokofrekvenčních proudů.

#### Externí nabití hřídele motoru

Dříve, než se podíváme na třetí variantu ložiskových proudů při pohonu motorů fr. měniči, je třeba se zmínit, že občas vzniknou ložiskové proudy díky statickým výbojům. Motory ventilátorů pohaněné nevodivým řemenem a řemenicí jsou typickým příkladem. Toto může postihnout i motory pro přímý pohon.

### 3. Kapacitní vybíjecí proudy



Třetí příčinu ložiskových proudů budeme hledat i malých motorů - 30kW a menších.

Pokud se podíváme na motor, který není zeměn skrze svou zátěž (např. motor, který přes řemenici a řemen pohání svou zátěž), zjistíme 2 kapacitní spojení se státorem. Jedno ze statorového vinutí na rotor a jedno z kostry statoru na rotor. Tato spojení jsou na obrázku označena jako  $C_{wr}$  respektive  $C_{ag}$ .

Tyto dvě kapacity působí jako napěťový dělič.  $C_{ws}$  je kapacita mezi vinutím statoru a kóstrou statoru. Pokud není rotor uzemněn, nalezneme potenciál, který vznikne na rotoru také na kapacitě ložiska -  $C_{mb}$

Napětí na ložisku vypočítáme takto:

$$V_B = \frac{C_{WR}}{C_{WR} + C_{AG}} \times V_C$$

Když studujeme výpočet vidíme, že jak vzrůstá kapacita  $C_{ag}$  (a tím klesá jeho impedance), tím klesá napětí na této impedanci – na ložisku.

Maximální napětí, které na ložisku můžeme obdržet, je funkcí několika kapacit motoru. To znamená, že toto napětí můžeme ovlivnit již konstrukcí motoru.

Je velmi pravděpodobné, že v budoucnu budou konstruovány stroje s nízkým ložiskovým napětím.

[Přečtěte si více na : Preventivní opatření](#)



#### Škola - Frekvenční měniče

- K čemu je Frekvenční Měníč
- Princip
- Správná instalace - úvod
- Normy
- Způsoby regulace
- Lineární/Kvadratický moment
- Zvolte správný FM
- Správná velikost FM
- FM jako zdroj rušení
- 87 Hz princip
- 70 Hz princip
- Extra funkce
- Sinusový filtr
- FM - zdroj ložiskového proudu
- Preventivní opatření
- EMC
- Odkazy a videa
- 1f motor a FM
- Obvyklé otázky

Škola - Servo

Škola - Motory

Škola - Komunikace

Škola - Encoder

Škola - Pojistky

Škola - PID regulator

Převod jednotek

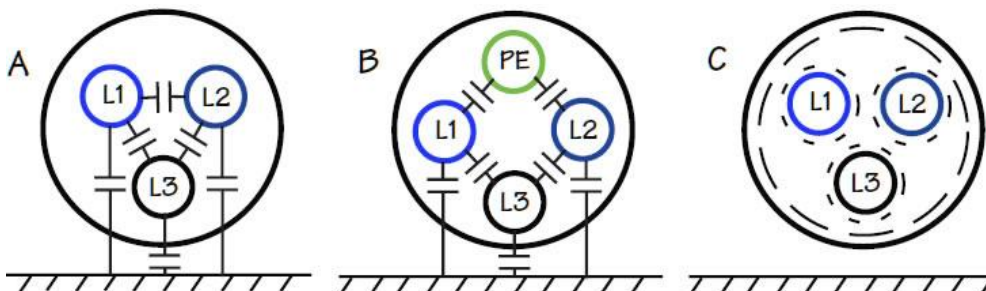
Slovník pojmů

[Domů](#) / [ŠKOLA](#) / [Škola - Frekvenční měniče](#) / [FM - zdroj ložiskového proudu](#) / [Preventivní opatření](#)

## Preventivní opatření - Ložiskové proudy

### 1. Vysokofrekvenční cirkulující proudy.

Nyní se zaměříme na vhodná opatření při konstrukci motorových pohonů abychom omezili vliv zmíněných typů ložiskových proudů.

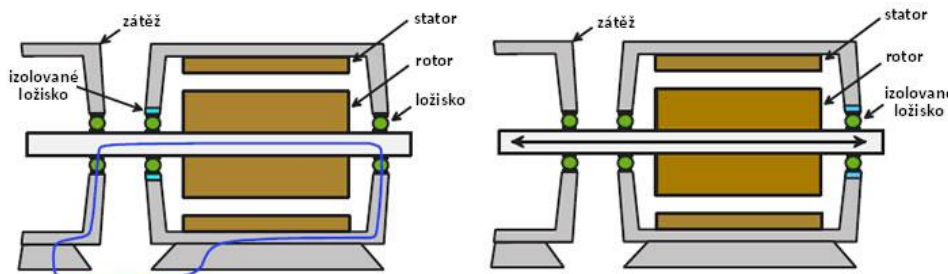


Pro zajištění dobré kapacitní symetrie je důležité zvolit správný druh motorových kabelů. Kabel by měl obsahovat pouze tři fázové vodiče a stínění. Viz kabel **C** na obrázku.

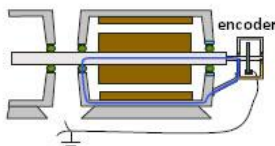
Zcela ideální je kabel se zvláštním stíněním pro každý fázový vodič plus jedno společné kocoentrické stínění. Tím jsou pak minimalizována rušivá pole z motorového kabelu. Nestíněné kabely a/nebo kabely s PEN vodičem vytváří zbytečně velké kapacitní vazby proti obklopujícímu prostředí plus nesymetrické kapacitní proudy, které zvyšují problémy s ložiskovými proudy. Viz kabely **A** a **B** na obrázku.

Možné řešení je izolovat ložiska stroje. Ne však izolovat obě ložiska stroje, tím bychom obdrželi velmi vysoké napěťové potenciály mezi osou rotoru a statorem díky kapacitnímu spojení mezi statorem a rotorem. Na našem stroji budeme mít pouze jedno izolované ložisko, ale nelze izolovat libovolné ložisko. Pokud bychom izolovali ložisko na poháněné straně, je risk, že proud osou motoru bude pokračovat do zátěže a skrz ložisko v zátěži přes zem a přes druhé –volné- ložisko se proudová smyčka uzavře. Viz levá ilustrace na následujícím obrázku.

Jediné, čeho se dosáhne, že se problém ložiskového proudu rozdělí mezi více strojů, což můžeme těžko považovat za úspěch, jelikož zcela ztratíme kontrolu, která ložiska mohou být poškozena.



Pokud ale umístíme izolované ložisko na volnou (nepoháněnou) stranu stroje, dosáhneme požadovaného výsledku – přerušíme spojení ale pořád máme pod kontrolou napěťový potenciál osy rotoru – viz pravá ilustrace obrázku.



Mnoho asynchronních strojů v průmyslu pohání procesy, které mají vysoké požadavky na přesnost otáček. Proto jsou otáčky snímány encodéry, aby se dosáhlo nejlepší možné regulace otáček. Když se encoder namontuje na volnou (nepoháněnou) stranu stroje, je třeba se zamyslet, abychom zase neuzavřeli proudovou smyčku.

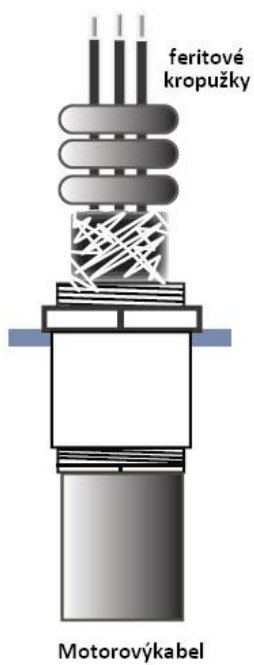
Obrázek ukazuje, co se stane, když namontujeme encoder na asynchronní stroj. Jelikož ložisko encoderu je malé, zničí se mnohem snadněji než ložisko motoru nebo zátěže.

Havárie ložiska se projeví jako vibrace, které se objeví v signálu encodéru a budou rušivým prvkem regulaci momentu nebo otáček.

Nesmíme zapomenout na stínění signálního kabelu k encodéru. Jelikož stínění je uzemněno na encodérové straně, uzavřeme smyčku při připojení konektoru encodéru. Tím zkratujeme izolaci, kterou jsme vytvořili při izolaci ložiska encoderu.

## Common mode a du/dt filtr

## Připojení k fr. měniči



Pro snížení problémů s vysokofrekvenčními cirkulujícími proudy ve statoru můžeme použít něco, čemu se říká **common mode filtr**. Ten se skládá z jednoho nebo několika feritových kroužků, které se navléknou na motorový kabel na straně měniče před stínění. Viz.

Tyto kroužky fungují jako místní indukce pro nesinusové proudy. Sinusové proudy se vzájemně vyruší, takže součet jejich magnetických polí bude nula.

Pro nesinusové proudové komponenty dostaneme součtové magnetické pole. Induktance pak díky kroužkům v tomto bode kabelu bude vyšší a nesinusové proudy se zmenší.

Tímto se dosáhne zmenšení kolísání momentu v připojeném motoru. To však dnes již nebývá nějaký větší problém u moderních měničů díky vysokým spínacím frekvencím

Na stránce se pracuje

