

Životnost izolačního systému VPI při pulzním namáhání

Pavel Trnka

Oddělení elektrotechnologie, Katedra technologií a měření, Fakulta elektrotechnická,
Západočeská univerzita v Plzni

Spolu s neustálým rozvojem moderních pohonů založených na pulzních modulacích, je kladen stále větší důraz na vývoj a sledování vlastností izolačních systémů schopných odolávat pulznímu namáhání. Je již všeobecně znám fenomén zkrácení životnosti izolačního systému při namáhání pulzním napětím oproti namáhání běžným sinusovým průběhem napětí. Je zajímavé vyčíslit o kolik se u daného izolačního materiálu a systému zkrátí technická životnost při tomto druhu namáhání a hledat cesty jak ji prodloužit.

Úvod

V současnosti používané pohony s měničem frekvence a asynchronním motorem jsou široce používány v mnoha aplikacích, kde je třeba rychlost motoru precizně řídit. Součástí pohonu je napěťový střídač, kterým je asynchronní motor napájen i řízen. Pro řízení napětí na svorkách motoru je často používána pulzně šířková modulace (PWM). Pulzně modulované napětí je na svorky motoru přiváděno jako série napěťových pulzů. Hrany nárůstu napětí jednotlivých pulzů dosahují vysokých strmostí až desítky kV/ μ s. Opakovací frekvence se pohybuje v jednotkách kHz. Kvalita regulace se zvyšuje s frekvencí spínání, což klade nároky na rychlost spínacích součástí napěťového střídače. Zvyšování spínací frekvence představuje výhody jako je snižování spínacích ztrát a lepší stabilitu momentu. Současně však byl pozorován výrazný vliv pulzního napětí na životnost izolačního systému motoru. Zjištěno bylo výrazné snížení spolehlivosti izolačního systému asynchronního motoru při jeho napájení z měniče kmitočtu.

Pulzní namáhání izolačního systému může zejména způsobit:

- Lokální přehřátí zapříčiněné zvýšenými ztrátami
- Přepětové jevy na přívodním kabelu k motoru
- Zvýšení aktivity částečných výbojů
- Stárnutí izolačního systému díky zvýšenému namáhání při pulzním napětí
- Ložiskové proudy způsobující stárnutí ložisek

Částečné výboje jsou v některé literatuře [3] uváděny jako jedna z hlavních příčin poruch izolací při pulzním namáhání. Z tohoto důvodu jsou vyvíjeny materiály, které by účinkům výbojů odolávaly. Na trhu se již začínají objevovat materiály se zvýšenou odolností vůči částečným výbojům. Jsou označovány CR (*Corona Resistant*). Pro omezení nepříznivého vlivu strmých nárůstů napětí se někdy používají filtry. Použití filtrů je spojeno s problémy jejich umístění, odváděním ztrátového tepla a vysokou cenou.

Nejčastějším prostředkem užívaným k získání informací o chování materiálu v průběhu jeho technického života jsou životnostní zkoušky. Jedná se o postup, při kterém se provádí urychlené stárnutí při působení vybraného deterioračního faktoru nebo jejich kombinací. Ze získaných výsledků lze potom vyvozovat životnost materiálu vzhledem k danému působícímu faktoru.

Model elektrického stárnutí

Pro výpočet životnosti sledovaných izolačních materiálů byly použity jednoparametrické modely elektrického stárnutí. Modely elektrického stárnutí popisují děje

při elektrickém stárnutí materiálu. Použity byly dva modely: mocninný (1) a exponenciální (2).

$$\tau_1 = k.E^{-n} \quad (1)$$

$$\tau_2 = a.e^{-b.E} \quad (2)$$

Kde τ /h je životnost materiálu na sledované hodnotě elektrického gradientu E /kV.mm⁻¹, a , b , k a n jsou experimentálně zjištěné konstanty.

Tyto modely nejsou závislé na struktuře izolačního systému, na procesech stárnutí ani na konfiguraci elektrodového systému. Přesto výsledky velmi dobře odpovídají skutečnosti.

Popis experimentu

Důvodem, který vedl k testování materiálů při pulzním namáhání bylo získávání informací o procesu stárnutí při pulzním namáhání a získání životnostních křivek při pulzním a sinusovém namáhání.

Testované materiály

Testovány byly čtyři rozdílné izolační systémy. Prvním byl materiál Remikapor 45.024 vyráběný firmou Elektroisola a.s. Tábor. Tento materiál sestává z polyesterové folie, Remika papíru a malého množství epoxidového pojiva. Vzorky vyrobené z tohoto materiálu byly vytvrzeny metodou vakuově tlakové impregnace. Impregnačním materiálem byl Rütapox[®]0162 x Härter HM.

Druhým materiálem byl Poroband vyráběný firmou Isovolta AG. Tento materiál obsahuje slídový papír a skleněná vlákna. Impregnace byla provedena lakem H 62C. Je to izolační materiál používaný pro izolace točivých strojů.

Třetím sledovaným materiálem byl Porofol s lakem H 62C obsahující slídový papír a polyesterovou folii spojené modifikovanou pryskyřicí.

Posledním materiálem byl 609ASR 16-30 od fy Cogebi.

Tab. 1: Izolační pásky a použité impregnantry (VPI technologie).

Izolační páska	Impregnační lak
Remikapor 45.024	Rütapox [®] 0162
Poroband	H 62C
Porofol	H 62C
609ASR 16-30	Rütapox [®] 0162

Tab. 2: Počáteční hodnoty elektrické pevnosti (průměrné hodnoty).

Materiál vzorku	Elektrická pevnost /kV.mm ⁻¹
Remikapor	112,00
Poroband	49,96
Porofol	33,96
609ASR 16-30	37,03

Vzorky byly vyrobeny ve tvaru rovných částí izolačních tyčí statorového vinutí.

V tabulce 1 jsou uvedeny testované materiály s použitým impregnantem. V tabulce 2 jsou uvedeny hodnoty elektrické pevnosti vzorků v dodaném stavu.

Výběr napětí pro expozici

Pulzní napětí přiváděné na svorky motorů mají různé průběhy případ od případu. Závisí na spínacích součástkách, použitím střídači, kabelu a motoru. Přesto se všeobecně předpokládá, že pro simulaci vlivu střídače na izolační systém je možno použít jednoduchý tvar pulzů (unipolární i bipolární). Důležité je zaručit vysokou strmost nárůstů napětí na vzorku.

Generátor pulzů, který byl použit k namáhání vzorků je popsán v [1]. Maximální hodnota testovacího napětí byla 5 kV při frekvenci 10 kHz.

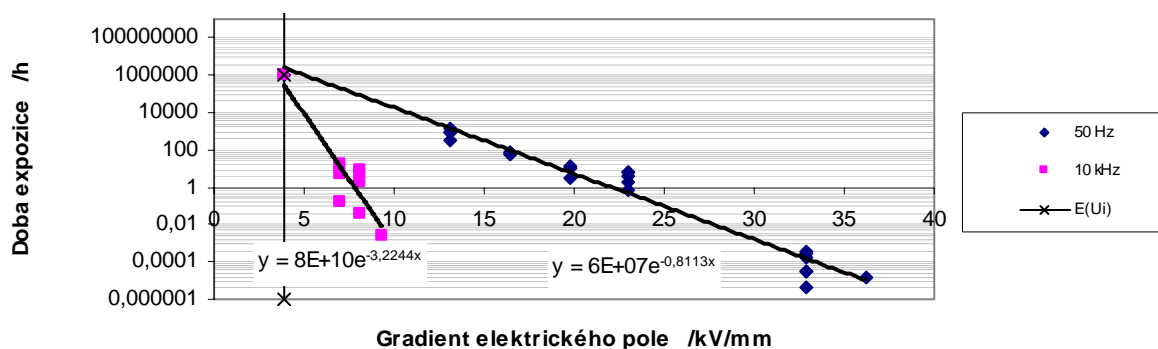
Měřené veličiny

Během testů byl měřen ztrátový činitel, izolační odpor, zapalovací a zhášecí napětí částečných výbojů a zdánlivý náboj částečných výbojů.

Z hodnot životností na zvolených hladinách gradientu elektrického pole byly sestaveny životnostní čáry pro namáhání sinusovým napětím a pulzním napětím.

Naměřené výsledky

Životnostní křivky sestavené na základě exponenciálního modelu jsou uvedeny na obrázku 1. Výrazné snížené životnosti izolačního systému je jasně patrné a kvantifikované. Tento model dobře popisuje chování materiálu při „vyšších“ hodnotách gradientu elektrického pole.

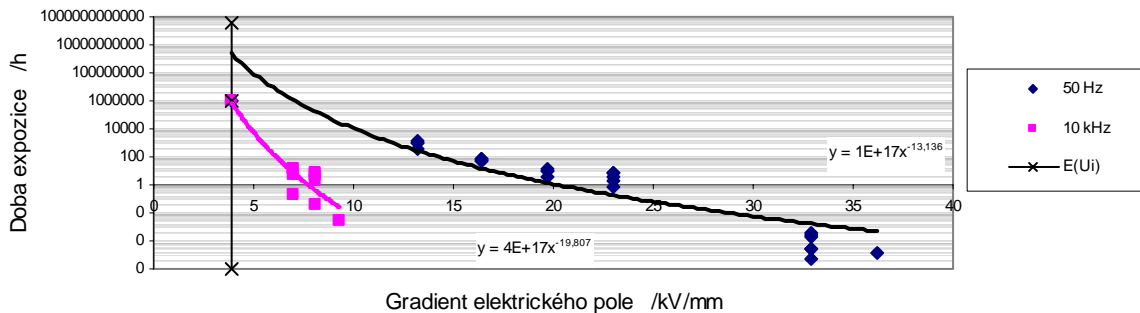


Obr. 1: Sestavené životnostní křivky dle exponenciálního modelu pro materiál 609ASR pro namáhání 50 Hz sinus a pulzní 10 kHz.

Životnostní křivky dle mocninného modelu jsou uvedeny v obrázku 2. Tento model dává lepší výsledky v úzké oblasti hodnot gradientů těsně nad zapalovacím napětím částečných výbojů. Oba modely selhávají pro gradienty elektrického pole nižší, než je zapalovací napětí částečných výbojů. Při těchto gradientech ovšem již elektrické stárnutí materiálů neprobíhá a uplatňují se jiné mechanismy stárnutí. Naopak vysokonapěťové točivé stroje se obvykle provozují nad hodnotou zapalovacího napětí ČV.

Pro další tři sledované materiály vykazovaly životnostní křivky stejný trend zkrácení životnosti.

Ze získaných grafů byly identifikovány konstanty modelů stárnutí. O kolik se při daném gradientu elektrického pole zkrátí životnost materiálu při pulzním namáhání je uvedeno v tabulce 3.



Obr. 2: Sestavené životnostní křivky dle mocninného modelu pro materiál 609ASR pro namáhání 50 Hz sinus a pulzní 10 kHz.

Tab. 3: Vypočítané životnosti – srovnání životnosti testovaných materiálů pro pulzní a sinusové namáhání (Exponenciální model).

Materiál	E /kV.mm ⁻¹	Zkrácení životnosti / %
609ASR 16-30	5	99,2
Remikapor 45.024	20	82
Poroband + H 62C	8	95,89
Porofol + H 62C	13	99,99

Závěr

Výsledky tohoto experimentu dobře ilustrují výrazný vliv pulzního namáhání na životnost izolačních systémů. Je to zřejmé zejména porovnáním životnostních křivek pro jednotlivá namáhání. Naměřená data napomáhají k lepšímu pochopení degradačních dějů v izolačních materiálech a mohou posloužit k návrhům jak negativní vlivy pulzního namáhání omezit. Identifikované rovnice modelů elektrického stárnutí mohou posloužit k výpočtu životnosti izolačního systému asynchronního motoru, který bude napájen z měniče kmitočtu, resp. k výpočtu zkrácení životnosti při tomto namáhání.

Literatura

1. Mentlík V., Kučerová E., Boček V., Matějka F., Šebík P, Šlais J., Trnka P.: Spolehlivost pohonů s elektrickými motory napájenými pulzním napětím, [Závěrečná zpráva grantu 102/00/362], Plzeň: ZČU, FEL, KET, Plzeň 2002.
2. Mentlík V., Kučerová E., Boček V., Šebík P, Trnka P., Interaction Aspects of Pulse Stress and Insulation Systems, XIV Seminarium Techniczne, Problemy Eksploatacji Maszyn i Napędów Elektrycznych, Ustroń Jaszowiec, 2005, ISSN 0239-3646, s. 83.
3. Trnka, P.: Aspekty návrhu modelového zdroje pulzního namáhání. In: DISEE 2004, Bratislava: STU, 2004, ISBN 80-227-2110-7, s. 187-188.

Poděkování

Príspevek vznikl v rámci řešení výzkumného záměru MSM 4977751310 - Diagnostika interaktivních dějů v elektrotechnice.