

Technická analýza možné příčiny poškození stykačů

prof. Jiří Pavelka, DrSc.,

katedra elektrických pohonů a trakce ČVUT-FEL Praha

(český tisk, březen 2008) Jen něco málo přes rok od přírodní katastrofy v podobě orkánu Kirill čelila naše republika novému rádění přírodního živlu. O prvním březnovém víkendu tohoto roku přešla přes naše území směrem od západu tlaková níže Emma, provázená bouřkami a krupobitím, zejména však silným větrem, který v nárazech dosahoval rychlosti 120 až 140 km/h. Vichřice Emma zabýjela a ničila na značné části evropského kontinentu.



1. Úvod

Po vichřici Emma bylo následně v jednom významném průmyslovém podniku zjištěno, že v elektrických rozváděcích pro klimatizační komory došlo k poškození několika stykačů s napájením budících cívek ze střídavé sítě 230 V. Stykače (obr. 1) měly přerušena vinutí budících cívek. Po jejich rozebrání se ukázalo, že došlo k vytečení izolační hmoty do vzduchové mezery stykače (obr. 2). To bránilo přitažení kotvy stykače. Z vytečení izolační hmoty do mezery magnetického obvodu lze usuzovat, že stykače nebyly z nějakého důvodu přitaženy a k vytečení došlo následkem nedovoleného zvýšení teploty budících cívek stykačů.

2. Hypotéza příčiny

Za běžných okolností mají stykače dva normální pracovní stavy:

- budící cívka je vypnuta a neprotéká jí proud, kotva stykače je odpadlá,
- budící cívka je připojena na napájecí síť, cívkou protéká její jmenovitý proud a kotva stykače je přitažena.

K přitažení kotvy stykače dochází při určitém napětí, nazývaném napětí přitahu. Jeho hodnota bývá kolem $0,8 U_n$. Naopak k odpadnutí kotvy dochází při jiném napětí, nazývaném napětí odpadu. Jeho hodnota bývá kolem $0,6 U_n$.

Impedance budící cívky Z_{BC} je dána především reaktancí budící cívky X_{BC} . Z elektrotechniky je známo, že reaktance cívky je

závislá na napájecí frekvenci f a indukčnosti cívkou L_{BC} .

$$X_{BC} = \omega \cdot L_{BC} = 2\pi f \cdot L_{BC} \quad (1)$$

Napájecí frekvence f je v našem případě dána frekvencí v síti a v analyzovaném případě byla určitě konstantní. Indukčnost cívky L_{BC} je závislá na počtu závitů budící cívky N_{BC} a na magnetickém odporu magnetického obvodu cívky R_{mBC} podle vztahu

$$L_{BC} = \frac{N_{BC}^2}{R_m} \quad (2)$$

Zatímco počet závitů budící cívky N_{BC} je konstantní, magnetický odpor R_{mBC} se mění.



Obr. 1. Pohled na poškozený stykač



Obr. 2. Pohled do otevřeného stykače s viditelným vytečením izolační hmoty

Magnetický odpor je obecně dán vztahem

$$R_{mBC} = \frac{1}{\mu \cdot \mu_0} \cdot \frac{l_{mBC}}{S_{mBC}} \quad (3)$$

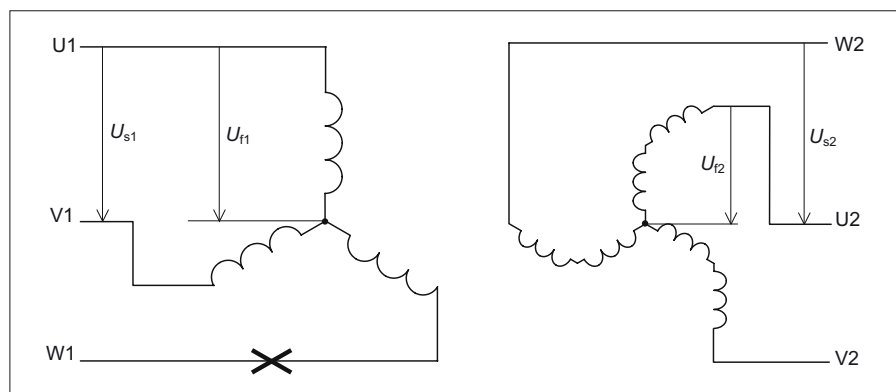
Délka magnetického obvodu l_{mBC} je tvořena jednak délkou magnetického obvodu v jeho plechách, jednak délkou magnetického obvodu přes jeho vzduchovou mezeru. Poměrná permeabilita materiálu plechů μ_{Fe} je o tři řády větší, než je poměrná permeabilita vzduchu μ_0 , a proto lze magnetický odpor cesty železem plechů zanedbat oproti magnetickému odporu vzduchové mezery.

Proud protékající budící cívkou stykače je dán vztahem:

$$\begin{aligned} I_{BC} &= \frac{U_{sítě}}{Z_{BC}} \approx \frac{U_{sítě}}{X_{BC}} \approx \frac{U_{sítě}}{2\pi \cdot L_{BC}} = \frac{U_{sítě} \cdot R_m}{2\pi \cdot N_{BC}^2} \\ &= \frac{U_{sítě} \cdot l_{mBC}}{2\pi \cdot N_{BC}^2 \cdot \mu_0 \cdot S_{mBC}} = K \cdot U_{sítě} \cdot l_{mBC} \quad (4) \end{aligned}$$

Jestliže je stykač odpadlý, je délka vzduchové mezery l_{mBC} velká, a tedy i odebraný proud I_{BC} je velký. Po přitnutí stykače na napětí $U_{sítě}$ o velikosti zaručující jeho přitah se jedná pouze o krátkodobý, přechodový, protože vlivem přitažlivé síly ve vzduchové mezeře dojde okamžitě k přitažení kotvy stykače, vzduchová mezerka l_{mBC} se zmenší a proud I_{BC} se také zmenší na hodnotu, pro kterou je vinutí budící cívky stykače navrženo.

Dojde-li ale ke stavu, že budící cívka stykače je napájena sníženým napětím, při kterém ještě nedojde k přitažení kotvy stykače, potom cívkou protéká zvětšený proud díky malé impedanci obvodu cívky. Na tento zvětšený proud není ale vinutí budící cívky dimenzováno. Ztráty ve vinutí budící cívky vzrostou natolik, že může dojít k nadměrnému zvýšení teploty vinutí budící cívky a následkem toho k jejímu zničení. Konkrétní



Obr. 3. Schéma zapojení primárního a sekundárního vinutí třífázového transformátoru Yz1

hodnoty tohoto zvětšeného proudu závisejí na konkrétním typu stykače, ale v poměrných hodnotách se nebudou příliš lišit.

3. Výsledky měření na stykači

V laboratoři katedry elektrických pohonů a trakce Elektrotechnické fakulty ČVUT

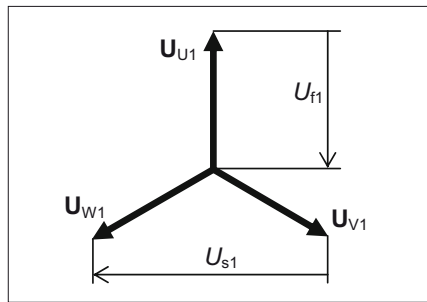
odebíraný proud při jmenovitém napětí budicí cívky	230 V	20 mA
mez vrčení při odpadu	napětí 90 V	odebíraný proud 96 mA
mez vrčení při přitahu	napětí 120 V	odebíraný proud 110 mA

v Praze bylo provedeno měření zvětšení proudu při napájení stykače sníženým napětím. Měření byla provedena na stykači 25 A firmy Schrack, typ LA3-0101 25 A, 3x 380 V.

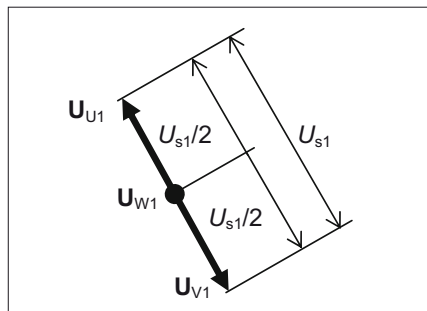
K maximálnímu zvýšení proudu budicí cívky dochází tedy těsně před přitažením kotvy stykače a toto zvýšení představuje $(110/20) = 5,5$ násobek jmenovitého proudu. Tepelné ztráty ve vinutí budicí cívky jsou úměrné kvadrátu proudu vinutím. 5,5násobnému zvětšení proudu budicí cívkou odpovídá tedy $5,5^2 = 30,25$ násobné zvětšení ztrát v budícím vinutí cívky stykače. Takto veliké zvětšení ztrát po delší dobu musí vést zcela jistě k nadměrnému zvětšení teploty vinutí budicí cívky s následným zničením izolace, a tím i celého stykače.

4. Možná příčina hlubokého poklesu napájecího napětí

Každý odběr v nízkonapěťové síti je napájen ze sítě vn přes třífázový napájecí transfor-



Obr. 4. Fázorový diagram primárních napětí třífázového systému pro stav připojení všech tří fází



Obr. 5. Fázorový diagram primárních napětí třífázového systému pro stav přerušené fáze W1

mátor. S ohledem na lepší rozložení nerovnoměrného odběru z jednotlivých fází mají tyto tzv. distribuční transformátory do výkonu 160 kV·A obvykle zapojení Yz1, popř. Yz11. Transformátory většího výkonu od 250 kV·A mají většinou zapojení Dy1 nebo Dy11. Schéma zapojení vinutí Yz1 je na obr. 3. Sekundární vinutí je rozděleno na dvě části. Na společném sloupcu každé fáze je kromě primárního vinutí a jedné části sekundárního vinutí také druhá část sekundárního vinutí sousední fáze. Jedna z obvyklých poruch ve venkovních sítích vn je přerušení napájení jedné fáze z důvodu přetržení vodiče jedné fáze nebo přepálení pojistky v jedné fázi. Takový-

to stav je na obr. 3 vyznačen přerušením fáze W1. V tomto případě se změní napájecí soustava z třífázové na jednofázovou.

Odpovídající fázorový diagram pro třífázovou napájecí soustavu je na obr. 4 a pro případ přerušení fáze W1 je na obr. 5. Vidíme, že fázová napětí na U_{U1} a U_{W1} se snížila na polovinu sdruženého napětí tj. v poměru $\sqrt{3}/2 = 0,866$ původních fázových napětí a fázové napětí U_{V1} kleslo na nulu.

Následkem toho klesne na fázovém vinutí fáze V1 napětí na nulu a fázová napětí zbylých dvou fází U1, W1 klesnou na polovinu sdruženého napětí. Jak je zřejmé z fázorového diagramu (obr. 5), klesnou tato fázová napětí na $\sqrt{3}/2 = 0,866$ původního fázového napětí U_{fn} .

Pro plné sdružené napětí U_s mezi zbývajících dvěma fázemi na primárním vinutí transformátoru klesne na dvou fázích sekundárního vinutí transformátoru fázové napětí na velikost:

$$0,577 \cdot 0,5 \cdot U_s = 0,577 \cdot 0,5 \cdot 400 = 115 \text{ V}$$

Na třetí fázi bude napětí:

$$0,577 \cdot U_s = 0,577 \cdot 400 = 230,8 \text{ V}$$

5. Závěr

Provedené výpočty a měření potvrzují hypotézu, že možnou příčinou poškození stykačů bylo přerušení jedné fáze přívodu primárního vinutí distribučního transformátoru.

Pokles napětí ve dvou fázích z 230 na 115 V způsobil, že stykače nepřitáhly a jimi odebíraný pětinašobně větší proud způsobil nadměrné zvýšení teploty budicích cívek stykačů a následně zničení izolace. Podobný pokles napětí nastává i pro zapojení trafo Dy1 nebo Dy11. ☒

Kalibrace měřicích přístrojů pro revizní techniky

Ing. Ivo Lipovský, ILLKO, s. r. o.

Stále více techniků vnímá kalibrace měřicích přístrojů ne jako nutné trpěné příkoří, ale jako službu, která jim umožňuje zvýšit kvalitu a spolehlivost jejich práce. V následujícím příspěvku se pokusím odpovědět na nejčastěji kladené otázky, se kterými se setkávají pracovníci kalibračních laboratoří.

Jak často kalibrovat revizní přístroje a kdo stanovuje interval kalibrací?

Odpověď je kupodivu docela jednoduchá – délku kalibračních intervalů si stanovuje přímo organizace provozující měřidlo

na základě metrologického řádu společnosti. Vzhledem k tomu, že přístroje pro revize elektrických zařízení nepatří mezi tzv. stanovená měřidla, kde je kalibrační interval jednoznačně určen, je dobré při stanovování doby mezi dvěma kalibracemi vycházet z následujících faktorů:

- ☐ **Doporučení výrobce.** Základní a velmi důležitý údaj, který je vhodné respektovat.
- ☐ **Podmínky používání.** Měřicí přístroje jsou většinou poměrně složitá zařízení, a přestože se výrobci snaží o jejich maxi-

mální odolnost, hrají právě podmínky používání velmi důležitou roli při stanovení kalibračního intervalu. Je zřejmé, že měřidlo, které firma občas použije pro kontrolu spotřebičů v rámci vlastní společnosti, bude výrazně méně namáháno než stejný přístroj, se kterým jeho uživatel každý den vykoná desítky kontrol spotřebičů na stavbách.

- ☐ **Sledování historie údajů v kalibračních listech.** Porovnávání naměřených hodnot umožňuje vysledovat trend změny přesnosti měřicího přístroje. Je-li z kalibrač-