

# Měření povrchového odporu ochrany proti koruně drážkové části tyčí turbogenerátoru a sledování průběhu odporu po tepelných cyklech

Krupauer P. – fa BRUSH, Plzeň

## Anotace

*Příspěvek shrnuje hledání optimální metody pro měření povrchového odporu ochrany proti koruně v drážkové části točivých strojů. Příspěvek popisuje srovnání několika metod měření a na základě výsledků stanoví univerzální způsob měření. Dále se příspěvek zabývá sledováním povrchového odporu vybraných ochrany proti koruně v průběhu tepelného cyklování.*

## Úvod

Některé turbogenerátory jsou provozovány přerušovaně a během dne může docházet k několika tepelným cyklům stroje, tím pádem dochází k dilatování tyčí v drážce. Dochází k tření vinutí v drážce o plechy magnetického obvodu. Protože se na povrchu tyče nachází vodivá ochrana proti koruně, bylo zákazníkem požadováno měření tohoto povrchového odporu během tepelného cyklování. Zákazník se obával toho, že pokud by povrchový odpor vodivé ochrany proti koruně poklesl během provozování stroje pod určitou mez, mohlo by dojít k lokálním zkratům v magnetickém obvodu.

## Univerzální způsob měření povrchového odporu vodivé ochrany proti koruně

Tepelné cyklování zkušebních tyčí bylo prováděno dle specifikace IEEE 1310. V této specifikaci v bodě 7.6 je popsána doporučená sonda, pomocí níž lze měřit povrchový odpor vodivé ochrany. V podstatě se jedná o dvě soustředné kruhové vodivé elektrody, které mají specifický rozměr. Průměr plné (vnitřní) elektrody je 13,6mm. Průměry vnější elektrody jsou 25,4mm a 38,1mm. Hledaná hodnota čtvercového odporu je pak dána 10ti násobkem naměřené hodnoty. Jako měřicí přístroj lze dle specifikace použít libovolný digitální multimetr s vnitřní 9V baterií.

Protože doporučenou sondu s danými rozměry elektrod nebylo možno nikde zakoupit, rozhodli jsme se v rámci vývoje danou sondu vyrobit dle doporučení v normě. Měření se sondou s pružinou je ukázáno na obr.1. Na obr.2 je zobrazeno měření se sondou v klešťovém provedení.



Obr.1: Pružinová sonda



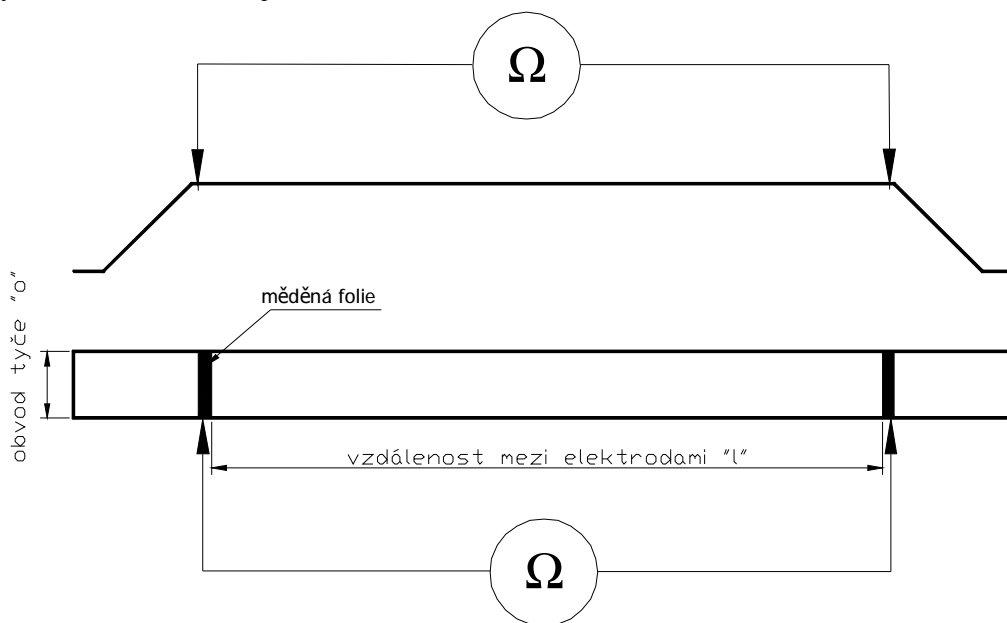
Obr.2: Klešťová sonda

Z prvotních měření však bylo zjištěno, že naměřený povrchový odpor silně závisí na přitlačení sondy na povrch tyče. Povrch tyče není ideálně rovný a použitá tenká měděná folie nebyla schopna plně kopírovat nerovný povrch s drobnými vlisy. Proto byly vyvinuto klešťové provedení (viz obr. 2), jejíž přítlak byl nezávislý na obsluhujícím personálu.

Avšak dalším měřením bylo zjištěno, že povrchový odpor je dosti lokální veličina, respektive na malé ploše (cca 10x10cm) se povrchový odpor zalisované pásky značně mění. Je to dáno tím, že vodivá páska je nestejněmálně pórovitá a během vytvrzování izolace v lisu je vodivá páska vmáčknuta do vycezuující se pryskyřice. Naměřené hodnoty vykazovaly velký rozptyl (až 20%). Pro uspokojivé statistické vyhodnocení by bylo nutné učinit desítky měření na jedné tyči. Měření povrchového odporu s takovou sondou by bylo značně zdlouhavé.

Cílem však bylo sledovat povrchový odpor ochran během tepelného cyklování (jeden tepelný cyklus obsahoval ohřátí tyče z 40°C do 155°C a pak ochlazení zpět na 40°C). Vzhledem k velikosti tyče (průřez, délka) má sonda malý rozměr a jedná se tudíž o značně lokální měření s velkým rozptylem. Se sondou bychom nebyli schopni měřit změny povrchového odporu během tepelného cyklování. A bylo by také obtížné sondu přikládat pokaždé do stejného místa.

Hledali jsme proto univerzální způsob měření a to takový, který by poskytoval vždy pouze jednu hodnotu a my bychom byli schopni sledovat změnu pouze této jedné měřené hodnoty. Takováto metoda je znázorněna na obr.3.



Obr.3: Univerzální způsob měření povrchového odporu

Aby bylo možné porovnávat mezi sebou odpory různých vodivých ochran aplikované na rozdílné rozměry tyčí, musí být naměřená hodnota přepočítána na tzv.čtvercový odpor. V podstatě se jedná o přepočet na čtvercové rozměry - viz vzoreček:

$$R/\square = \frac{R_m}{\frac{l}{o}} \quad [ \Omega / \square ] \quad [ \Omega \text{ cm/cm} ]$$

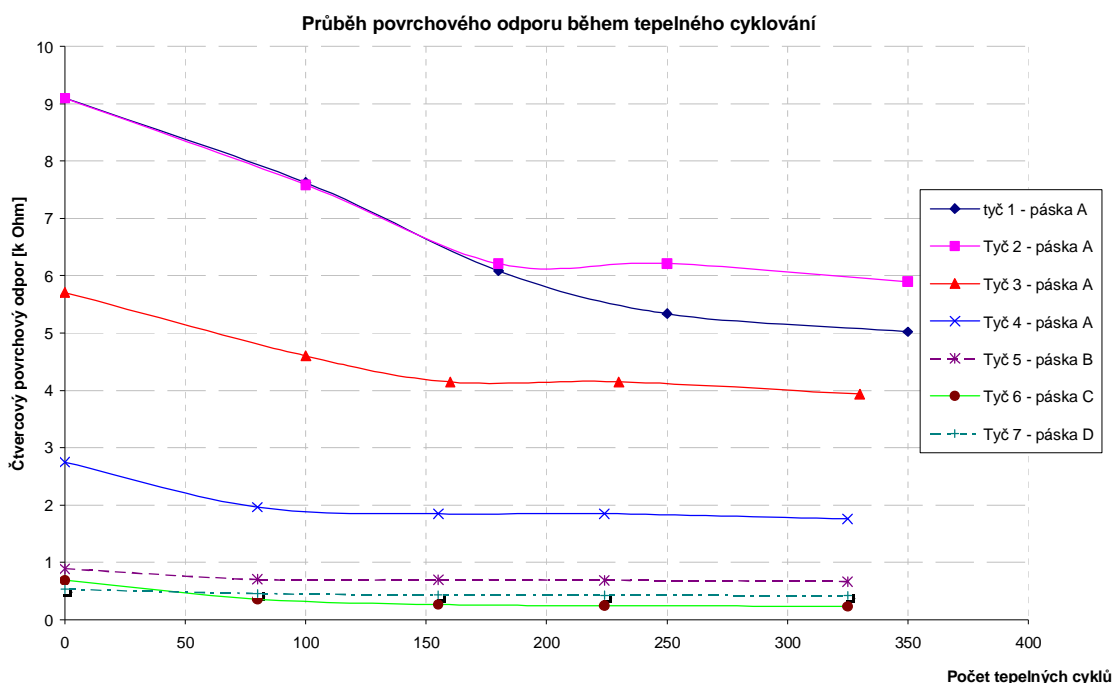
**R<sub>m</sub>**....celková hodnota zobrazená na displeji mulimetru; **l**.....vzdálenost mezi elektrodami;  
**o** ....obvod tyče

Pro měření se použijí dva tenké proužky samolepící měděné pásky. Jedná se o EMI/RFI stínící pásku z měděné folie opatřené z jedné strany termosetovým vodivým lepidlem. Celková tloušťka folie i s lepidlem je 0,06 mm. Tato páska má velmi dobrou přilnavost a vodivé lepidlo zaručuje nízký přechodový odpor mezi měděnou folií a měřeným objektem. Tyto pásky se nalepí po obvodu tyče - jedna na začátek a druhá na konec protikoronové ochrany v rovné části – ukázka měření na tyči viz obr.4.



Obr.4: Způsob aplikace proužků měděných pásek na zkušební tyče a způsob měření

Tato metoda bylo aplikována na zkušebních tyčích cca 1m dlouhých. Vždy po několika desítkách tepelných cyklů byly měřeny povrchové odpory do izolace zalisovaných vodivých pásek. Měřeny byly 4 vodivé pásky různého povrchového odporu od různých výrobců. Pásky jsou označeny písmeny „A“ až „D“. Jak je patrné z grafu na obr.5 čtvercová hodnota povrchového odporu u všech pásek klesá s počtem tepelných cyklů. Dále je z grafu patrné, že k ustálení hodnot dochází cca po 100 až 150 tepelných cyklech.



Obr.5: Průběh čtvercového odporu v závislosti na počtu tepelných cyklů

## **Závěr**

Sledování hodnot povrchového odporu vodivých pásek během tepleného cyklování bylo požadováno zákazníkem. Doporučený způsob měření pomocí sondy se soustřednými elektrodami se ukázal jako problematický vzhledem k nutnosti měřit vždy na tom samém místě a vzhledem k velkému rozptylu hodnot. Bylo by tudíž velmi obtížné sledovat změnu vypočtených průměrných hodnot. Proto byl zvolen způsob, kdy bylo měřeno pouze jednou a celková hodnota povrchového odporu byla přepočtena na její čtvercovou hodnotu.

Dále byl potvrzen předpoklad, že během tepelných cyklů povrchový odpor vodivých ochranných klesne. Hodnota povrchového odporu se na zkušebních vzorcích ustálí po 100 až 150 cyklech.

## **Literatura**

1. IEEE Std 1310-1996; Trial use Recommended Practise for Thermal Cycle Testiny of Form-Wound Stator Bars and Coils for Large Generators

## **Autor**

Ing. Petr Krupauer, Ph.D.; Konstrukce vinutí, firma Brush, Edvarda Beneše 39, 3100 Plzeň; e-mail: [pkrupauer@sem.fki-et.com](mailto:pkrupauer@sem.fki-et.com)