

# Měření V-A charakteristiky izolace statorového vinutí generátorů a rozdíly v metodice diagnostických laboratoří

Bohumil Paslavský  
Katedra elektroenergetiky a ekologie  
Fakulta elektrotechnická  
Západočeská univerzita v Plzni  
paslaboh@kee.zcu.cz

## Measurement of V-A Characteristic Insulation on Stator Winding of Generator and Differences in Methods of Diagnostic Laboratories

**Abstract** – The description of differences between measurements methods leakage current are in this paper. Differences between laboratories are in number of test level, time on test level and quantity of reading from the instruments. Analysis of differences searched better process for measurement of leakage current in insulation of rotation electric machines and evaluation measured values.

**Keywords** – DC Test Method; Diagnostic of Insulation System; Electric Rotation Machines; Insulation; Insulation Resistance; Leakage Currents; V-A Characteristic

### I. ÚVOD

Při komplexním hodnocení izolačního systému je diagnostik ve většině případů postaven do role „odhadce“, který má nejen posoudit stávající kondici izolačního systému generátoru nebo motoru, ale je po něm žádána možná predikce vývoje izolačního systému v budoucnu. To se může udát jen po podrobném seznámení se strojem a jeho dosavadním chodem. Na provozovateli je pak zajistit velké množství informací v podobě provozních stavů a hodin, blízkých poruchových stavů v energetické síti, časovou osu servisních zásahů a jejich rozsah a v neposlední řadě i jednotlivá diagnostická měření v průběhu života stroje a výrobní parametry. Z těchto informací se skládá predikční „mozaika“. Její komplexnost je pro predikci budoucího vývoje izolačního systému zásadní. Vždy tato mozaika bude obsahovat bílá místa a jejich rozsah bude zásadní pro věrohodnost prezentovaného výhledu. Všechny diagnostické metody nejsou jednotné a různé diagnostické laboratoře k dané metodě přistupují svým osobitým způsobem. Tím se v některých případech rozšiřují bílá místa v nastíněné mozaice sebraných faktů a informací ohledně izolačního systému generátoru.

### II. TEORIE K MĚŘENÍ PRŮSAKOVÝCH PROUDŮ

Měření průsakových proudů je stejnosměrná diagnostická metoda, která sleduje časové chování zatíženého izolačního systému v různých napěťových krocích. Proud protékající izolací po přiložení stejnosměrného napětí se skládá z několika složek, které ve své publikaci velmi dobře popisuje G. C. Stone [5]. Jednotlivé složky odeznívají v různých časových intervalech, přičemž z velikostí těchto intervalů je možné posuzovat stav izolace. Zaznamenané hodnoty jsou zaneseny v matici popsané

přiloženým napětím a časem, přičemž se dají vynést do tzv. V-A charakteristik. Jednotlivé počítané veličiny jsou izolační odpor (1), převrácená hodnota proudu a směrodatná odchylka od Ohmova zákona (2):

$$R_{iz} = \frac{u}{i} \quad (1)$$

$$K = R_1 \cdot \frac{i_i - i_{i-1}}{u_i - u_{i-1}} \quad (2)$$

V dalších krocích se připojují aproximace naměřených průběhu, jednotlivé trendy a výpočet teoretického průrazného napětí ze zjištěných aproximací. Možnosti hodnocení izolačního systému na základě naměřených hodnot jsou u této metody velmi široké. Základní hodnocení je v absolutní hodnotě izolačního odporu, pokud možno v již ustáleném stavu pro jednotlivé napěťové hladiny. Další již zmíněnou možností je posouzení teoretického průrazného napětí izolačního systému, přičemž tato hodnota je závislá na přesnosti odečtu a možnostech použité aproximace pro výpočet. Kontrolním mechanismem je postupný výpočet odchylky od Ohmova zákona, ta je blíže popsána v knize prof. Mentlíka [3]. V průběhu života stroje je možné porovnávat a posuzovat vývoj teoretického průrazného napětí i odchylky od Ohmova zákona.

Možnosti vynesení hodnot teoretický i praktický případ je uveden v konferenčním příspěvku [7]. Pro představu je zde uvedena i práce s jednoduchými aproximacemi, ale jak je popsáno v technické informaci [4] je velmi těžké zvolit vhodnou funkci na proložení získaných dat. To je samostatná kapitola vyhodnocení této měřicí metody a nižší úvahy se zaměří spíše na rozdíly mezi jednotlivými postupy, jejich rozsahem a možnostmi aplikace podobného vyhodnocení.

### III. PRAKTICKÁ MĚŘENÍ JEDNOTLIVÝCH LABORATOŘÍ

Možnosti vynesení hodnot teoretický i praktický případ je uveden v konferenčním příspěvku [7]. Pro představu je zde uvedena i práce s jednoduchými aproximacemi, ale jak je popsáno v technické informaci [4] je velmi těžké zvolit vhodnou funkci na proložení získaných dat. To je samostatná kapitola vyhodnocení této měřicí metody a nižší úvahy se zaměří spíše na rozdíly mezi jednotlivými postupy, jejich rozsahem a možnostmi aplikace podobného vyhodnocení.

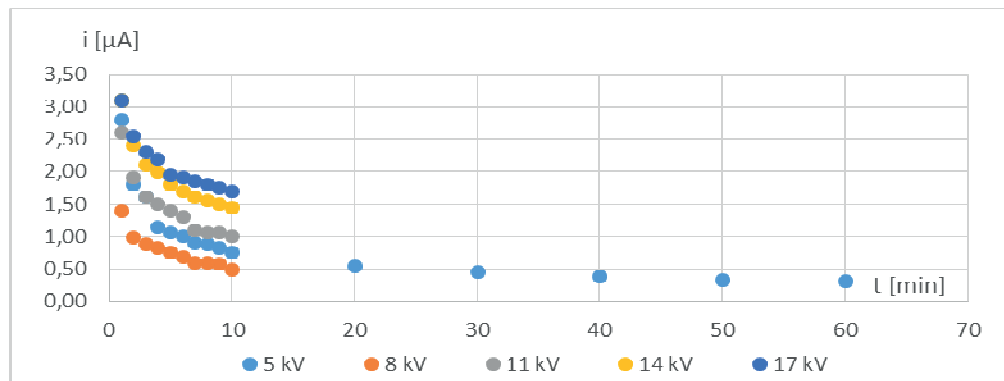
#### A. Měřicí postup dle předpisů Škoda ES

Tento postup je velmi podrobný a postupně získává velké množství dat. To je spojeno s velkou časovou náročností, která je v rozmezí 50 – 110 minut na jednu část izolačního systému (danou fází vinutí el. točivého stroje). Měření se provádí v šesti rovnoměrných krocích, přičemž poslední je současně stejnosměrnou výdržnou napěťovou zkouškou, tento krok je možné neprovést. Velmi dobře jsou zde nastaveny jednotlivé podmínky, pouze krok první je dle postupu variabilní v rozmezí 20 – 60 minut. Následují čtyři kroky o délce 10 minut a případná výdržná napěťová zkouška v délce jedné minuty.

Naměřené hodnoty je možné vidět na obrázku I. Z těchto hodnot se počítá převrácená hodnota ustáleného proudu, směrodatná odchylka a proložením grafu  $1/i$  se hledá teoretické stejnosměrné průrazné napětí.

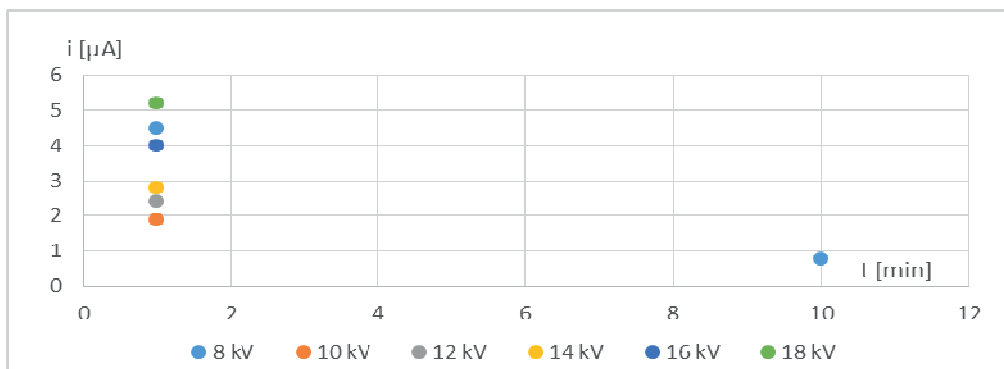
### B. Metodika dle inspekční zprávy ABB

Výhodou tohoto postupu je velmi malá pracnost, ale odpovídá tomu i počet získaných hodnot. Z vnějšího pohledu je zde velmi málo prostoru pro obdobnou investigaci naměřených hodnot jako u předešlého měření.



**Obrázek I. Měřicí postup dle metodiky ŠKODA**

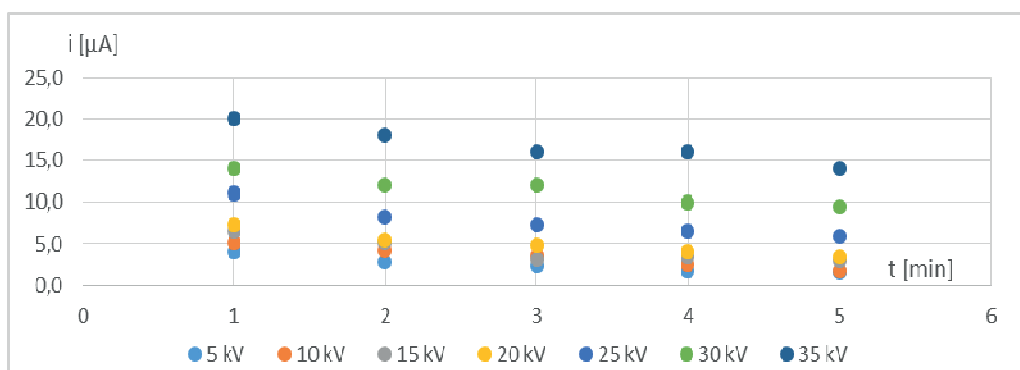
Samotné měření je provedeno v šesti krocích po jedné minutě, pouze první krok se drží po 10 minut. Nabízí se zde možnost pokusit se porovnat hodnotu aproximace minutových měření u tohoto postupu a u měření dle Škoda. Zaznamenané hodnoty jsou na obrázku II.



**Obrázek II. Rozsah zaznamenaných hodnot postupem ABB**

### C. Pracovní postup dle metodiky ČEZ

Pracovní postup je někde na pomezí postupů dle Škoda a ABB, je prováděn v pěti krocích, každý o délce časového intervalu 5 minut. V našem případě je kroků sedm, Zkoušený stroj byl testován před konečným rozebráním, tj. mohl nastat i okamžik průrazu izolačního systému. Záznam hodnot je na obrázku III.



**Obrázek III. Zanesení hodnot dle diagnostické laboratoře ČEZ**

#### IV. ZÁVĚR

Výše uvedené postupy mezi sebou mají velký časový rozptyl a vzájemné porovnání je velmi obtížné, protože nejpodrobnější popis operuje ve svých výpočtech s pokud možno ustálenými hodnotami. Jednotlivé měřené hladiny jsou ovlivněny dodanou energií na předcházející úrovni pro absorpční složku proudu. Rozdíl aplikovaných aproximací je velký a nedá se uvažovat, že je možné nahradit regresi z ustáleného stavu s identickým či podobným výsledkem. Z těchto výsledků jsou patrné nedostatky pro postup firmy ABB, avšak vyhodnocené nedostatky postupu mohou pramenit z nedostatečné znalosti vyhodnocovacího postupu, který je interním know-how firmy. Používání částečně ustálené hodnoty dle postupu firmy ČEZ je chyba menší, a od teoretického průrazného napětí získaného aproximací ustálených hodnot se pohybuje v rozmezí 10 – 20 %. V případě, kdy není diagnostická skupina tlačena časovým rozvrhem, doporučuji provedení prací s dostatečným ustálením na jednotlivých hladinách.

#### PODĚKOVÁNÍ

Tento článek vznikl za podpory projektu SVK-2018-005 na podporu studentských vědeckých konferencí, projektu SGS-2018-023: Analýza a vyhodnocení dodávky elektrické energie simulací a modelováním pro dodržení optimálních spolehlivostních a kvalitativních parametrů, s respektováním integrace nových distribuovaných a obnovitelných zdrojů do elektrizační soustavy i odpovídající akumulace, při využití nových, pokročilých metod teoretického a aplikačního výzkumu v elektroenergetice a společnosti BRUSH SEM spol. s r.o.

#### LITERATURA

- [1] Aproximace měření průsakových proudů izolačního systému generátorů, B. Paslavský, Elektrotechnika a informatika 2016, FEL ZČU v Plzni, Plzeň 2016
- [2] Life Assessment Report for Torrent Power AEC ltd., A. S. Choughule, C. Pinto, ABB, 2006
- [3] Diagnostika elektrických zařízení, V. Mentlík, J. Pihera, R. Polanský, P. Prosr, P. Trnka, BEN, Praha 2008
- [4] Technická informace: Leaking Currents Measurement, P. Krupauer, J. Reindl, BRUSH SEM, Plzeň 2007
- [5] Electrical Insulation for Rotating Machines – Design, Evaluation, Aging, testing, and Repair, G. C. Stone, I. Culbert, E. A. Boulter, H. Dhirani, IEEE Press Wiley, 2014
- [6] Approximation of measurement of leakage current in insulation system of generators, B. Paslavský, F. Kováč, 17th ISC EPE 2016, CVUT, Praha 2016
- [7] Monitorování DC napěťové závislosti polarizačního proudu, J. Šulcek, ČEZ a.s., Štěchovice 2017