

Marián Hrinko, Iraida Kolcunová, Juraj Kurimský

Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach

Meranie povrchových a izolačných odporov vn statorových cievok

Abstrakt. Jednou zo základných metód na určovanie kvality izolácie je meranie odporu, či už sa jedná o izolačný alebo povrchový. Tieto veličiny sa používajú na zistenie kvality izolačného systému, na základe ktorých je možné celkovo ohodnotiť stav danej izolácie. Tento príspevok je zameraný na meranie povrchového odporu drážkovej časti izolácie, izolácie čiel vinutí a polovodiveho náteru aplikovaného na výstupe cievky z drážky statora. Ďalej zahŕňa merania izolačného odporu, z ktorého pomocou matematického aparátu je stanovený polarizačný index.

Abstract. One of the primary methods for determining the quality of the insulation system is measuring resistance, whether it is insulation resistance or surface resistance. These variables are used to determine the quality of the insulation system on which is possible to evaluate the overall condition of the insulation system. This article is aimed at measuring the surface resistance of the slot part of insulation, which is calculated per unit area. It includes measurement of insulation resistance and by means of the mathematical apparatus polarization index is calculated.

Kľúčové slová: izolačný systém, povrchový odpor, polarizačný index.

Keywords: insulation system, surface resistance, polarization index.

Úvod

Jednotlivé časti izolačného systému sú vyrábané s rôznou precíznosťou. Avšak komplexný izolačný systém musí vykazovať izolačné vlastnosti v stanovených medziach. Tie je možné posúdiť na základe niektorých elektrických veličín. Jednou z takýchto veličín je meranie elektrického odporu. Pri vysokonapäťových strojov točivých sa meria izolačný odpor a taktiež je možné zmerať povrchový odpor vodiveho náteru a polovodivej ochrany (v prípade ak je aplikovaný).

Meranie izolačného odporu sa realizuje z dôvodu posúdenia kvality izolácie elektrického zariadenia. Izolačný odpor má veľký vplyv na bezpečnosť a prevádzkovú schopnosť. Normy stanovujú minimálne hodnoty, ktoré zariadenia musia mať, aby mohlo byť uvedené do prevádzky. [1]

Podľa hodnôt izolačného odporu je možné posúdiť v izolácii prítomnosť defektov (mechanické poškodenie, praskliny, stopy po výbojoch), čo vedie k značnému zmenšeniu izolačného odporu. Nedostatkom merania je to, že hodnotu izolačného odporu veľmi ovplyvňuje zvodový prúd po povrchu izolácie. [2]

V praxi je postačujúce odmerať dva body R_{15} a R_{60} – odpor v čase 15 sec. a 60 sec. po pripojení napätia. Kvalita izolácie sa posudzuje podľa vzťahu: [2]

$$p_{i1} = \frac{R_{60}}{R_{15}} \quad (1)$$

kde p_{i1} je jednominutový polarizačný index.

Meranie povrchového odporu sa realizuje za účelom zistenia kvality vodivej vrstvy aplikovanej na drážkovej časti izolácie. Zvýšenie tejto hodnoty napr. vplyvom trenia tyče v drážke statora, môže viesť k zväčšeniu elektrického namáhania v priestore medzi povrchom hlavnej izolácie a stenou drážky statora a tým k vzniku vnútorných čiastkových výbojov.

Povrchový odpor, R_s , je definovaný ako pomer jednosmerného napätia U k prúdu I , ktorý tečie medzi dvoma elektródami spojenými s povrchom materiálu na rovnej strane, t.j.: [3]

$$R_s = \frac{U}{I_s} \quad (2)$$

Aby bolo možné medzi sebou porovnať odpory rôznych vodivých ochrán aplikovaných na rôznych rozmeroch tyčí, musí byť nameraná hodnota prepočítaná na tzv. štvorcový odpor. V podstate sa jedná o prepočet na štvorcové rozmery: [6]

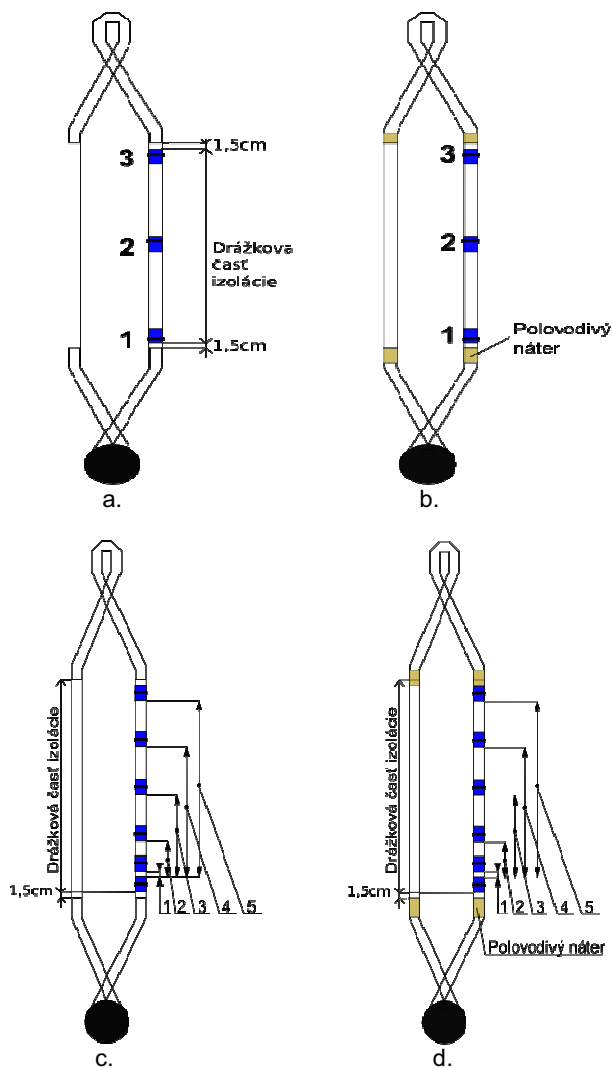
$$R = R_s \frac{l}{l} \quad [\Omega \text{cm/cm}] \quad (3)$$

Príprava vzorky na meranie

A. Meranie povrchového odporu

Meraným objektom boli dve vysokonapäťové cievky z asynchrónneho motora s menovitým združeným napätím $U_n = 6\text{kV}$, a menovitým výkonom $P_n = 2,1\text{MW}$. Drážková časť izolácie bola na báze sfudového papiera a sklenej tkaniny s epoxidovou živicom - RELASTIK, ktorej relatívna permitivita bola $\epsilon_r = 2,8 - 3,5$. [4] Jedna z cievok bola z prevádzky - viditeľne opotrebovaná a poškodená, druhá bola nová - bez poškodenia, ktorá mala na výstupe cievky z drážky statora aplikovanú polovodivú vrstvu. Na meranie povrchového odporu vodivej vrstvy drážkovej časti cievky boli použité dva spôsoby:

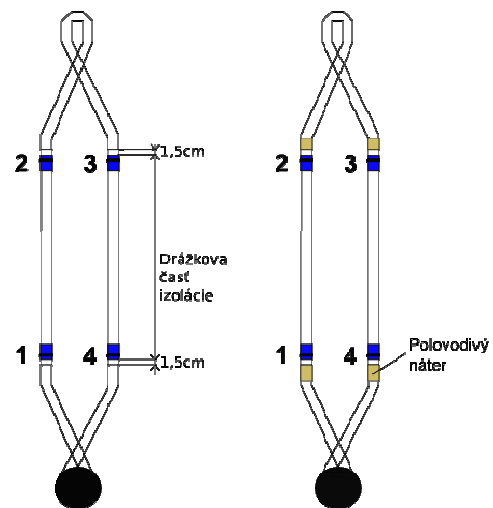
- v prvom prípade bolo vytvorených šesť meracích bodov. Jednotlivé body boli realizované prostredníctvom obtočenia pásika alobalu s hrúbkou 2 cm v špecifických miestach, ktoré boli očíslované 1, 2, 3 vid' Obr. 1 a., b.. Povrchový odpor sa meral medzi jednotlivými bodmi. Najprv sa zmeral odpor povrchu medzi susednými bodmi 1-2, 2-3 a následne medzi krajnými 1-3. Meranie bolo vykonávané pomocou ohm-metra AGILENT U152A s rozsahom do 50M Ω .
- v druhom prípade bol vytvorený vzťažný bod na jednej strane vysokonapäťovej cievky. Tento bod sa nachádzal vo vzdialenosti 1,5 cm od konca vodivej vrstvy drážkovej časti cievky vid' Obr. 1 c., d.. Ďalší bod bol pohyblivý s vopred nedefinovanými vzdialenosťami od vzťažného bodu (1 cm, 10 cm, 25 cm, 35 cm, 56 cm). Na meranie sa použil merací prístroj NORMA INSULATION TESTER: Jedná sa o merací prístroj, ktorý umožňuje merať odpor pri štyroch rôznych napätiach (500V, 1000V, 2500V, 5000V), pričom s narastajúcou hodnotou napätia rastie merací rozsah. Pri napätí 5000V bolo možné merať odpor do hodnoty 30T Ω .



Obr. 1. Princípová schéma zapojenia jednotlivých bodov pri meraní s meracím prístrojom AGILENT U1252A a., b. a s meracím prístrojom NORMA INSULATION TESTER c., d..

A. Meranie povrchového odporu

Na meranie sa použili dve novonavinnuté 6kV statorové cievky, jedna z nich bola bez polovodivej ochrany a druhá mala nanesenú polovodivú vrstvu. Cievky boli vyrobené pre asynchrónny stroj s menovitým fázovým napätím $U_n=3,6\text{kV}$, menovitým prúdom $I_n=27,6\text{A}$ a menovitým výkonom $P_n=200\text{kW}$. Hlavná izolácia cievok bola Resin Rich, čo predstavuje kalcínovo-sľudovú izoláciu spájanú epoxidovou živcou, navinutou diskontinuálne. Na elimináciu povrchových výbojov na výstupe cievok z drážky statora sa použila polovodivá ochrana – fenolová živica s polovodivým plnivom, napätovo nezávislá. [5]



Obr.2. Princípová schéma zapojenia jednotlivých bodov pri meraní izolačného odporu (a. – pre poškodenú cievku bez polovodivej ochrany, b.– pre novú cievku s polovodivou ochranou)

Pri meraní izolačného odporu boli vytvorené štyri body merania – 1,5cm od koncov vodivého náteru drážkovej časti izolácie vid' Obr.2. Najprv boli odmerané jednotlivé body samostatne. V ďalšom meraní sa spojili body oproti sebe vodivou sieťovinou (1-4, 2-3). Posledné meranie bolo vykonané pri spojení všetkých meracích bodov. Merania pri spomínaných spôsoboch boli vykonávané pri všetkých napätových hladinách meracieho prístroja NORMA INSULATION TESTER (500V, 1000V, 2500V, 5000V).

Namerané hodnoty

A. Meranie povrchových odporov s meracím prístrojom AGILENT U1252A

Vzdialenosť'		R_m [k Ω]	R_{vyp} [k $\Omega\text{cm/cm}$]
Body	Dĺžka [cm]		
1-2	22,4	537,2	206,246
2-3	27	160	50,963
1-3	49,4	698	120,297

Tabuľka 1. Namerané hodnoty povrchového odporu pre poškodenú cievku z prevádzky

Vzdialenosť'		R_m [k Ω]	R_{vyp} [k $\Omega\text{cm/cm}$]
Body	Dĺžka [cm]		
1-2	25	4,65	1,6
2-3	25,7	4,78	1,6
1-3	50,7	6,62	1,123

Tabuľka 2. Namerané hodnoty povrchového odporu pre novú nepoškodenú cievku

**B. Meranie povrchových odporov s meracím prístrojom
NORMA INSULATION TESTER**

l [cm]	U [V]				R _m [kΩ]	R _{vyp} [kΩcm/cm]
	0,5kV	1kV	2,5kV	5kV		
1	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	11,18
10	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	1,892
25	3,5	3,4	3,4	3,4	3,425	1,178
35	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	1,032
56	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	0,983

Tabuľka 3. Namerané hodnoty povrchového odporu pre novú nepoškodenú cievku

l [cm]	R [kΩ]				R _m [kΩ]	R _{vyp} [kΩcm/cm]
	0,5kV	1kV	2,5kV	5kV		
1	37,5	37,4	37,4	37,4	37,4	321,855
10	80,2	80,3	80,2	80,2	80,2	68,99
25	673	610	610	610	625,8	215,528
35	762	681	680	680	700,8	170,184
56	1179	1124	1000	1000	1075,7	165,2

Tabuľka 4. Namerané hodnoty povrchového odporu pre poškodenú cievku z prevádzky

C. Meranie izolačných odporov

Miesto merania	Odpor v čase	Skúšobné napätie [kV]			
		0,5	1	2,5	5
0-1	R ₁₅ [GΩ]	121	68	60	65
	R ₆₀ [GΩ]	-	182	132	119
	P ₁₁ [-]	-	2,7	2,2	1,8
0-2	R ₁₅ [GΩ]	68	64	54	59
	R ₆₀ [GΩ]	154	136	118	111
	P ₁₁ [-]	2,3	2,1	2,2	1,9
0-3	R ₁₅ [GΩ]	98	69	64	55
	R ₆₀ [GΩ]	-	169	132	101
	P ₁₁ [-]	-	2,4	2,1	1,8
0-4	R ₁₅ [GΩ]	68	67	68	58
	R ₆₀ [GΩ]	139	137	127	108
	P ₁₁ [-]	2	2	1,9	1,9
0-1-4	R ₁₅ [GΩ]	93	34	44	33
	R ₆₀ [GΩ]	-	108	75	66
	P ₁₁ [-]	-	3,2	1,7	2
0-2-3	R ₁₅ [GΩ]	48	38	45	33
	R ₆₀ [GΩ]	146	93	75	64
	P ₁₁ [-]	3	2,4	1,7	1,9
0-1-2-3-4	R ₁₅ [GΩ]	67	43	47	35
	R ₆₀ [GΩ]	-	133	89	82
	P ₁₁ [-]	-	3,1	1,9	2,3

Tabuľka 5. Namerané hodnoty povrchového odporu pre cievku bez polovodivej ochrany

Miesto merania	Odpor v čase	Skúšobné napätie [kV]			
		0,5	1	2,5	5
0-1	R ₁₅ [GΩ]	-	213	219	223
	R ₆₀ [GΩ]	-	-	1430	1170
	P ₁₁ [-]	-	-	6,53	5,247
0-2	R ₁₅ [GΩ]	218	156	139	146
	R ₆₀ [GΩ]	-	350	300	286
	P ₁₁ [-]	-	2,24	2,158	1,959
0-3	R ₁₅ [GΩ]	150	172	179	190
	R ₆₀ [GΩ]	-	590	570	490
	P ₁₁ [-]	-	3,43	3,184	2,579
0-4	R ₁₅ [GΩ]	122	135	135	181
	R ₆₀ [GΩ]	282	287	280	310
	P ₁₁ [-]	2,311	2,126	2,074	1,713
0-1-4	R ₁₅ [GΩ]	136	144	161	149
	R ₆₀ [GΩ]	-	1119	1110	830
	P ₁₁ [-]	-	7,771	6,894	5,57
0-2-3	R ₁₅ [GΩ]	93	91	109	122
	R ₆₀ [GΩ]	-	750	720	660
	P ₁₁ [-]	-	8,242	6,606	5,41
0-1-2-3-4	R ₁₅ [GΩ]	121	112	113	122
	R ₆₀ [GΩ]	-	710	710	600
	P ₁₁ [-]	-	6,34	6,283	4,918

Tabuľka 6. Namerané hodnoty povrchového odporu pre cievku bez polovodivej ochrany

Zhodnotenie nameraných výsledkov

Meranie povrchových odporov drážkovej časti izolácie ukázalo rôzne hodnoty odporov pre novú cievku a cievku z prevádzky. Hodnoty povrchového odporu pri novej nepoškodenej cievke sa pohybovali radovo v jednotkách kΩ a pri cievke z prevádzky radovo v stovkách kΩ a to pri oboch spôsoboch merania (s prístrojom AGILENT U1252A a s prístrojom NORMA INSULATION TESTER). Vyššie hodnoty povrchového odporu cievky z prevádzky poukazujú na zhoršenú kvalitu nanosennej vodivej vrstvy. Cievka bola viditeľne opotrebovaná a zošúchaná. Meraním sa overila viditeľná skutočnosť opotrebovania vodivej vrstvy cievky z prevádzky.

Meraním izolačného odporu cievok s polovodivou aj bez polovodivej ochrany boli zistené rôzne hodnoty polarizačných indexov. Cievka s polovodivou ochranou vykazovala nižší rozdiel odporov v časoch pätnástej a šesťdesiatej sekunde, čo viedlo k nižším hodnotám polarizačného indexu. Ten sa pohyboval v rozmedzí 1,8 – 3,1. Takéto hodnoty polarizačného indexu poukazujú na suchú a čistú izoláciu. [2] Hodnoty polarizačných indexov cievky bez polovodivej ochrany boli vyššie, ktoré sa pohybovali v intervale 1,7 – 7,8. Dolná hranica vypovedá o suchej neznečistenej izolácii, avšak vyššie hodnoty polarizačného indexu môžu poukazovať na rozvrstvenie izolácie. Keďže sa jedná o nové cievky, môže to znamenať rozdielny spôsob technológie výroby, napr. cievka bez polovodivej ochrany nebola vytvrdená v peci rovnaký čas ako cievka s polovodivou ochranou.

Literatúra

- [1] KRUPAUER, P.: Měření povrchového odporu ochrany proti koroně drážkové části tyčí turbogenerátoru a sledování průběhu odporu po tepelných cyklech. Plzeň. Dostupné na internete: <http://home.zcu.cz/~steiner/MZEK/Prednas\ka/mereni.doc> mereni izolacniho odporu.-6.
- [2] KOLCUNOVÁ, Iraida: Diagnostika elektrických strojov, Technická univerzita Košice 2006, ISBN 80-8073-550.
- [3] MARYNIAK, William A, UEHARA, Toshio, NORA, Maciej A.: Surface Resistivity and Surface Resistance Measurements.
- [4] HRINKO, Marián: Vplyv prevádzkových namáhání na životnosť statorovej izolácie, Diplomová práca, Košice 2010.
- [5] HRINKO, Marián, KOLCUNOVÁ, Iraida, KURIMSKÝ, Juraj: Meranie výbojovej činnosti na cievkach s termosetickou izoláciou a s polovodivou ochranou, Electrical Engineering and Informatics 2 : Proceeding of the Faculty of Electrical Engineering and Informatics of the Technical University of Košice. - Košice : TU, 2011 S. 509-512. - ISBN 978-80-553-0611-7.

Autori:

Marián Hrinko, Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky Technickej univerzity v Košiciach, Letná 9, 042 00 Košice, E-mail: marian.hrinko@tuke.sk

Iraida Kolcunová, Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky Technickej univerzity v Košiciach, Letná 9, 042 00 Košice, E-mail: iraida.kolcunova@tuke.sk
Juraj Kurimský, Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky Technickej univerzity v Košiciach, Letná 9, 042 00 Košice, E-mail: juraj.kurimsky@tuke.sk



Tento článok bol vypracovaný s podporou projektu Vývoj unikátneho nízkoenergetického statického zdroja pre elektrosystémy, ITMS 26220220029, ktorý je spolufinancovaný zo štruktúrneho fondu EÚ ERDF v rámci výzvy OPV a V-2008/2.2/01-SORO a prioritnej osi 2 Podpora výskumu a vývoja.