

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA**

Krešimir Meštrović

**POSTUPCI ODREĐIVANJA
POKAZATELJA POUZDANOSTI
VISOKONAPONSKIH SF₆ PREKIDAČA**

DOKTORSKA DISERTACIJA

Zagreb, 2008. godina

Doktorska disertacija je izrađena u:

- Zavodu za visoki napon i energetiku Fakulteta elektrotehnike i računarstva
- Zavodu za sklopne aparate i postrojenja Končar – Instituta za elektrotehniku

Mentor: Prof. dr. sc. Sejid Tešnjak

Doktorska disertacija ima 174 stranice

Disertacija br.:

Povjerenstvo za ocjenu doktorske disertacije:

1. Dr. sc. Vladimir Mikuličić, red. prof. FER Zagreb
2. Dr. sc. Sejid Tešnjak, red. prof. FER Zagreb
3. Dr. sc. Stjepan Car, izv. prof. KONČAR-Institut za elektrotehniku, Zagreb

Povjerenstvo za obranu doktorske disertacije:

1. Dr. sc. Vladimir Mikuličić, red. prof. FER Zagreb
2. Dr. sc. Sejid Tešnjak, red. prof. FER Zagreb
3. Dr. sc. Stjepan Car, izv. prof. KONČAR- Institut za elektrotehniku,
Zagreb
4. Dr. sc. Zlatko Maljković, red. prof. FER Zagreb
5. Dr. sc. Ante Marušić, red. prof. FER Zagreb

Datum obrane disertacije: 16. svibnja 2008. g.

**POSTUPCI ODREĐIVANJA POKAZATELJA POUZDANOSTI
VISOKONAPONSKIH SF₆ PREKIDAČA**

SADRŽAJ

1.	UVODNA RAZMATRANJA I CILJ DISERTACIJE	1
2.	VISOKONAPONSKI SF₆ PREKIDAČI	5
2.1	PRINCIP RADA	6
2.1.1	Kompresijski princip	6
2.1.2	Autokompresijski princip	8
2.2	KONSTRUKCIJA	10
2.3	POGONSKI MEHANIZAM	12
2.3.1	Elektrohidraulički pogon	12
2.3.2	Motorno opružni pogon	14
2.3.3	Elektromotorni pogon	17
2.4	UPRAVLJAČKI I KONTROLNI KRUGOVI	18
2.5	ODRŽAVANJE	20
2.6	DIJAGNOSTIKA I MOTRENJE	25
2.6.1	Dijagnostika visokonaponskih SF ₆ prekidača	26
2.6.2	Motrenje visokonaponskih SF ₆ prekidača	27
2.7	KVAROVI	32
2.7.1	Veliki kvar	32
2.7.2	Mali kvar	33
2.7.3	Podsklopovi ili komponente „odgovorne“ za kvar	34
2.7.4	Izvor i uzrok kvara	35
2.7.5	Radni uvjeti pogona prekidača u trenutku kvara	37
3.	PREGLED IZVEDBI VISOKONAPONSKIH SF₆ PREKIDAČA U HRVATSKOM ELEKTROENERGETSKOM SUSTAVU	38
4.	ZASNIVANJE POSTUPAKA PRAĆENJA I ISPITIVANJA RADA VISOKONAPONSKIH SF₆ PREKIDAČA	47
4.1	SUSTAV ZA PRIKUPLJANJE, UPIS I KLASIFIKACIJU PODATAKA	50
4.1.1	Identifikacija korisnika	51
4.1.2	Populacijska kartica	53
4.1.3	Kartica kvara	53
4.1.4	Definicije	56
4.2	BAZA PODATAKA	59
5.	ODREĐIVANJE POKAZATELJA POUZDANOSTI VISOKONAPONSKIH SF₆ PREKIDAČA U HRVATSKOM ELEKTROENERGETSKOM SUSTAVU	66
5.1	POPULACIJA	68
5.2	ZNAČAJKE VELIKIH I MALIH KVAROVA	72
5.3	VELIČINE KOJE IMAJU UTJECAJ NA POKAZATELJE POUZDANOSTI	75

5.3.1	Vrsta pogona	75
5.3.2	Pogonski mehanizam	75
5.3.3	Vrsta kućišta	77
5.3.4	Mjesto ugradnje	77
5.3.5	Strategija održavanja	78
5.3.6	Životna dob opreme	79
5.4	POKAZATELJI POUZDANOSTI SF₆ PREKIDAČA	80
5.4.1	Funkcija učestalosti kvara SF ₆ prekidača	80
5.4.2	Pokazatelji stanja SF ₆ prekidača	90
6.	USPOREDBA POKAZATELJA POUZDANOSTI VISOKONAPONSKIH SF₆ PREKIDAČA U SVIJETU S REZULTATIMA DO SADA PROVEDENIH ISTRAŽIVANJA	98
6.1	POPULACIJA	99
6.2	ZNAČAJKE VELIKIH I MALIH KVAROVA	103
6.3	UČESTALOST KVARA	107
7.	DIGITALNI SIMULACIJSKI MODEL VISOKONAPONSKOG SF₆ PREKIDAČA	111
7.1	STRUKTURA SIMULACIJSKOG MODELA VISOKONAPONSKOG SF₆ PREKIDAČA	111
7.2	REZULTATI ISPITIVANJA I SIMULACIJE NA PREKIDAČU U POGONU	119
7.2.1	Sustav za motrenje visokonaponskih prekidača u realnom vremenu	119
7.2.2	Rezultati dijagnostičkih ispitivanja i motrenja prekidača u realnom vremenu	125
7.2.3	Rezultati simulacija normalnog i nenormalnog rada prekidača	128
7.3	PRIJEDLOZI ZA NASTAVAK RADA NA DOGRADNJI SIMULACIJSKOG MODELA SF₆ PREKIDAČA	131
8.	OCJENA STANJA, POUZDANOSTI I PREOSTALE ŽIVOTNE DOBI SF₆ PREKIDAČA U PRIJENOSNOM PODRUČJU ZAGREB	133
8.1	OCJENA STANJA NA OSNOVI ANALIZE POGONSKIH DOGAĐAJA	133
8.2	DIJAGNOSTIČKA ISPITIVANJA NA IZABRANIM UZORCIMA SF₆ PREKIDAČA U POSTROJENJIMA	136
8.3	OCJENA STANJA I PREOSTALE ŽIVOTNE DOBI SF₆ PREKIDAČA U HEP-OPS, PrP ZAGREB	138
9.	MJERE I PREPORUKE ZA POVEĆANJE POUZDANOSTI VISOKONAPONSKIH SF₆ PREKIDAČA	142
9.1	ZAHVATI NA KONSTRUKCIJI	142
9.2	DODATNA MEHANIČKA I ELEKTRIČNA ISPITIVANJA	142
9.3	POSTUPCI ODRŽAVANJA	150
9.4	DIJAGNOSTIČKA ISPITIVANJA	150
9.5	NADZOR U REALNOM VREMENU	152
9.6	EKSPERTNI SUSTAV	156
10.	ZAKLJUČAK	159
11.	LITERATURA	162

12.	POPIS OZNAKA	171
13.	PRILOZI	P - 1
13.1	POPULACIJSKA KARTICA SF₆ PREKIDAČA	P - 2
13.2	KARTICA KVARA SF₆ PREKIDAČA	P - 3
13.3	OBRAZAC ZA PROCJENU STANJA SF₆ PREKIDAČA	P - 8
13.4	PREGLED IZVEDBI SF₆ PREKIDAČA U HEP – OPS, PrP ZAGREB	P - 9
13.5	PREGLED BROJA I VISINE STRUJA KVARA U RASKLOPNIM POSTROJENJIMA HEP – OPS, PrP ZAGREB	P -13
13.6	PROCJENA PREOSTALE ŽIVOTNE DOBI SF₆ PREKIDAČA U HEP – OPS, PrP ZAGREB	P -17

SAŽETAK I KLJUČNE RIJEČI

SUMMARY AND KEYWORDS

ŽIVOTOPIS

CURRICULUM VITAE

SAŽETAK

U radu su predloženi postupci određivanja pokazatelja pouzdanosti prekidača u elektroenergetskim postrojenjima Hrvatske elektroprivrede. Razvijen je sustav za prikupljanje i obradu podataka o kvarovima na prekidačima. Provedena je detaljna statistička obrada i analiza prikupljenih podataka na populaciji 1224 prekidač godina. Određena je učestalost velikog i malog kvara u ovisnosti o vremenu eksploatacije kao i o nazivnom naponu prekidača. Rezultati su uspoređeni s rezultatima sličnih anketa o kvarovima prekidača u Svijetu. Kako bi se došlo do što točnijih podataka o vladanju visokonaponskih SF₆ prekidača razvijen je prijenosni sustav za trajno motrenje, koji je bio ugrađen i testiran 3 mjeseca u spojnem polju u transformatorskoj stanici JARUN u Zagrebu, kao i fiksni sustav trajnog motrenja koji će biti ugrađen tijekom 2008. godine u jedno polje u transformatorsku stanicu MELINA kraj Rijeke. U cilju povećanja pouzdanosti prekidača, predložen je novi postupak određivanja pokazatelja stanja koji uzima u obzir rezultate ankete o kvarovima, rezultate dijagnostičkih ispitivanja, rezultate motrenja kao i rezultate postupaka održavanja. Definirano je šest pokazatelja stanja prekidača: dielektrično stanje - stanje plina SF₆; sklopna vremena; pad napona; broj sklopnih „operacija“; funkcijske provjere i ispitivanja; i prekidna moć. Postupak određivanja pokazatelja stanja visokonaponskih SF₆ prekidača uspješno je testiran na tzv. populaciji prekidača u Hrvatskoj elektroprivredi - Prijenosno područje Zagreb.

KLJUČNE RIJEČI

visokonaponski SF₆ prekidač, kvar, populacijska kartica, kartica kvara, učestalost kvara, pokazatelji kvalitete, dijagnostika, motrenje, održavanje, simulacijski model

PROCEDURES FOR DETERMINATION OF HIGH VOLTAGE SF₆ CIRCUIT BREAKERS RELIABILITY INDICES

SUMMARY

The procedures for determination of circuit breakers reliability indices in Croatian electrical utility are shown. The system for collecting and analyzing failure data is developed. Detailed statistical analysis of collected data on the population of 1224 circuit breaker years is performed. The failure rate of major and minor failures versus exploitation time and nominal voltage are determined. The results are compared with the results of similar surveys of circuit breakers failures in the world. In order to collect accurate data about circuit breaker behaviour the mobile circuit breaker monitoring system was developed, installed and tested for three months in bus coupler bay in transformer substation JARUN in Zagreb. Also the on-line circuit breaker monitoring system is developed and will be installed during 2008 in one bay of transformer substation MELINA near Rijeka. For the purpose of increasing circuit breaker reliability the brand new method for the determination of circuit breaker quality indices is proposed. This method takes in account survey results, diagnostic results, monitoring results as well as results of maintenance. The six circuit breaker quality indices are defined: dielectric state - state of SF₆ gas; operation times; voltage drop; switching operations; functional verification and testing; breaking capability. The procedure for determination of circuit breakers quality indices was successfully tested on circuit breaker population in Croatian electrical utility – Transmission operator Zagreb.

KEYWORDS

high voltage SF₆ circuit breaker, failure, population card, failure card, failure rate, quality indices, diagnostic, monitoring, maintenance, simulation model