

Mr.sc. Krešimir Meštrović, prof. v. šk.
Mr.sc. Dubravko Žigman, dipl.ing.
Goran Malčić, dipl.ing.
Tehničko veleučilište u Zagrebu - Elektrotehnički odjel

RG A3.06 *

PRVI REZULTATI MEĐUNARODNE ANKETE CIGRÉ O POUZDANOSTI VISOKONAPONSKE OPREME

SAŽETAK

Međunarodna radna grupa CIGRÉ WG A3.06 započela je s provođenjem ankete o kvarovima na visokonaponskoj opremi. Anketom su obuhvaćeni SF₆ prekidači, rastavljači, zemljospojnici, mjerni transformatori i plinom SF₆ izolirana postrojenja (GIS) nazivnog napona većeg od 60 kV. Zadatak ankete je doći do relevantnih podataka o pouzdanosti visokonaponske opreme i usporediti ih s rezultatima prethodnih anketa. Sakupljanje podataka o populaciji i o kvarovima na visokonaponskoj opremi započelo je u siječnju 2004. godine i trajat će do prosinca 2007. godine. Po prvi put u anketi sudjeluje i Hrvatska.

Referat prikazuje pozadinu i ciljeve ankete. Prikazani su upitnici i procedure za skupljanje podataka o populaciji i kvarovima na visokonaponskoj opremi. Prikazani su i prvi rezultati ankete koji pokazuju učešće korisnika u Hrvatskoj, kao i preliminarni rezultati učestalosti kvarova i tipova kvarova. Predložena je statistička metoda za analizu kvarova koja bi trebala dati pouzdanu informaciju korisnicima i proizvođačima visokonaponske opreme.

Ključne riječi: visokonaponska oprema, SF₆ prekidači, rastavljači, zemljospojnici, mjerni transformatori, plinom SF₆ izolirana postrojenja (GIS), veliki kvar, mali kvar, održavanje, populacijska kartica, kartica kvara

FIRST RESULTS FROM CIGRÉ ENQUIRY ON RELIABILITY OF HIGH VOLTAGE EQUIPMENT

SUMMARY

CIGRÉ WG A3.06 is presently carrying out a worldwide survey of failures in service on high voltage equipment rated for voltages greater than or equal to 60 kV. The survey covers circuit breakers (only SF₆ technology), disconnectors, grounding switches, instrument transformers and GIS. The objectives are to provide comprehensive reliability data for the equipment and to compare the findings with the results of previous studies.

* RG A3.06 (radna grupa studijskog odbora SO A3 HO CIGRÉ):
K. Meštrović (voditelj), E. Gašparini, M. Gudelj, Z. Kos, Ž. Kulušić, S. Piliškić, M. Popić, B. Šafar, Ž. Štefan, S. Šutila

The collection of information from utilities about their equipment populations, and about failures that occur in these populations, started in January 2004, and will go on until December 2007. For the first time Croatia is participating in the survey.

The paper briefly reviews the background and aim of the survey. The data collection forms and procedures applied are then described. The first results showing the utility participation in Croatia and also some very preliminary results on failure rates and types will be presented. A discussion of how the collected data should be statistically analysed to provide relevant and reliable information that both utilities and equipment manufacturers can benefit from, completes the paper.

Key words: high voltage equipment, SF6 circuit breakers, disconnectors, grounding switches, instrument transformers, gas insulated switchgear (GIS), major fault, minor fault, maintenance, population card, failure card

1. UVOD

Na zasjedanju međunarodne CIGRÉ u Parizu 2002. godine osnovana je radna grupa WG A3.06 – Reliability of high voltage equipment, s ciljem organiziranja i provođenja međunarodne ankete o kvarovima na visokonaponskoj opremi.

Početkom 2004. godine službeno je započela međunarodna anketa kojom su obuhvaćeni SF6 prekidači, rastavljači, zemljospojnici, mjerni transformatori i plinom SF6 izolirana postrojenja (GIS) nazivnog napona 60 kV i više.

Anketa će trajati 4 godine, 2004. – 2007., a prvi rezultati biti će prezentirani na zajedničkom kolokviju grupa A3 i B3 u Tokiju krajem rujna 2005. godine.

Anketa se provodi pomoću upitnika napravljenih u Microsoft Excelu, a sadrži:

- populacijsku karticu (ispunjava se jedanput godišnje)
- karticu kvara (ispunjava se kada se desi kvar)
- karticu procedura održavanja (samo za GIS).

Glavni cilj ankete je dobivanje informacija koje su od direktnog interesa za korisnike visokonaponske opreme, a odnose se na važna područja upravljanja dobrima (asset management) i pouzdanosti. Dobiveni podaci analizirat će se cijelo vrijeme trajanja ankete, a rezultati će se prezentirati korisnicima koji sudjeluju u anketi. Svi podaci dobiveni anketom dostupni su samo članovima radne grupe i strogo su povjerljivi.

U ovom trenu, skoro 1000 korisnika visokonaponske opreme iz preko 30 zemalja potvrdilo je svoje sudjelovanje u anketi, a po prvi put u anketi sudjeluje i Hrvatska.

2. POVIJESNA POZADINA, PRETHODNE ANKETE

Visokonaponski prekidači:

- | | |
|---------------|---|
| 1974. – 1977. | Provedena prva međunarodna anketa |
| 1981. | Publicirani rezultati prve međunarodne ankete |
| 1985. | Napravljene razne studije CIGRÉ |

Prva međunarodna anketa utjecala je na:

- | | |
|---------------|--|
| 1987. | IEC Publ. 56, Ed 4: Mehanička ispitivanja, 2000 i 10000 mehaničkih sklopnih ciklusa, ispitivanje kod snižene i povišene temperature, i ispitivanje u vlažnoj atmosferi |
| 1992. | IEC Publ. 1208 Upute za održavanje |
| 1988. – 1991. | Provedena druga međunarodna anketa |
| 1994. | Publicirani rezultati druge međunarodne ankete |

Mjerni transformatori:

Prvu anketu o kvarovima na konvencionalnim mjernim transformatorima proveo je studijski odbor SC 23, a rezultati su publicirani u CIGRÉ Technical Report 57, 1990, «The paper-oil insulated measurement transformer». Obuhvatila je kvarove u vremenskom intervalu 1970 – 1986. godine. U anketi su sudjelovali i proizvođači i korisnici.

Drugu anketu proveo je studijski odbor SC 12, a obuhvatila je razdoblje 1985. – 1995. godine. U anketi su sudjelovali samo korisnici. Rezultati ankete još nisu objavljeni.

Rastavljači i zemljospojnici:

Do sada još nije bilo ankete za ovu vrstu visokonaponske opreme.

Plinom SF6 izolirana postrojenja (GIS):

Studijski odbor SC 23 je do sada proveo dvije ankete. Prva je obuhvatila razdoblje do 1990. godine, a rezultati su publicirani 1991. godine. Sudjelovali su i proizvođači i korisnici. Druga anketa provela se 1996. godine, a rezultati su publicirani 2000. godine. Sudjelovali su samo korisnici. Objekti obuhvatili su ukupnu populaciju GIS-a, uključujući i aparate.

3. ORGANIZACIJA NOVE ANKETE

Prilikom organizacije međunarodne ankete CIGRÉ vođeno je računa o slijedećim faktorima:

- različiti dijelovi upitnika moraju imati uniformnu strukturu,
- rezultati ankete moraju biti usporedivi s rezultatima prethodnih studija,
- imena proizvođača ne navode se u upitniku,
- informacije se skupljaju s ciljem da se omogući analiza utjecaja održavanja, filozofije održavanja i metoda nadgledanja,
- informacije se prikupljaju i da se omogući analiza utjecaja starosti opreme, kako bi se formirala politika zamjene, odnosno revitalizacije opreme,
- za prekidače analizira se utjecaj različitih tipova, npr. vodni prekidač, transformatorski prekidač i sl.,
- uzimaju se u obzir samo veliki i mali kvarovi, dok su defekti isključeni iz ankete,
- uključeno je i nekoliko pitanja vezanih za politiku održavanja opreme.

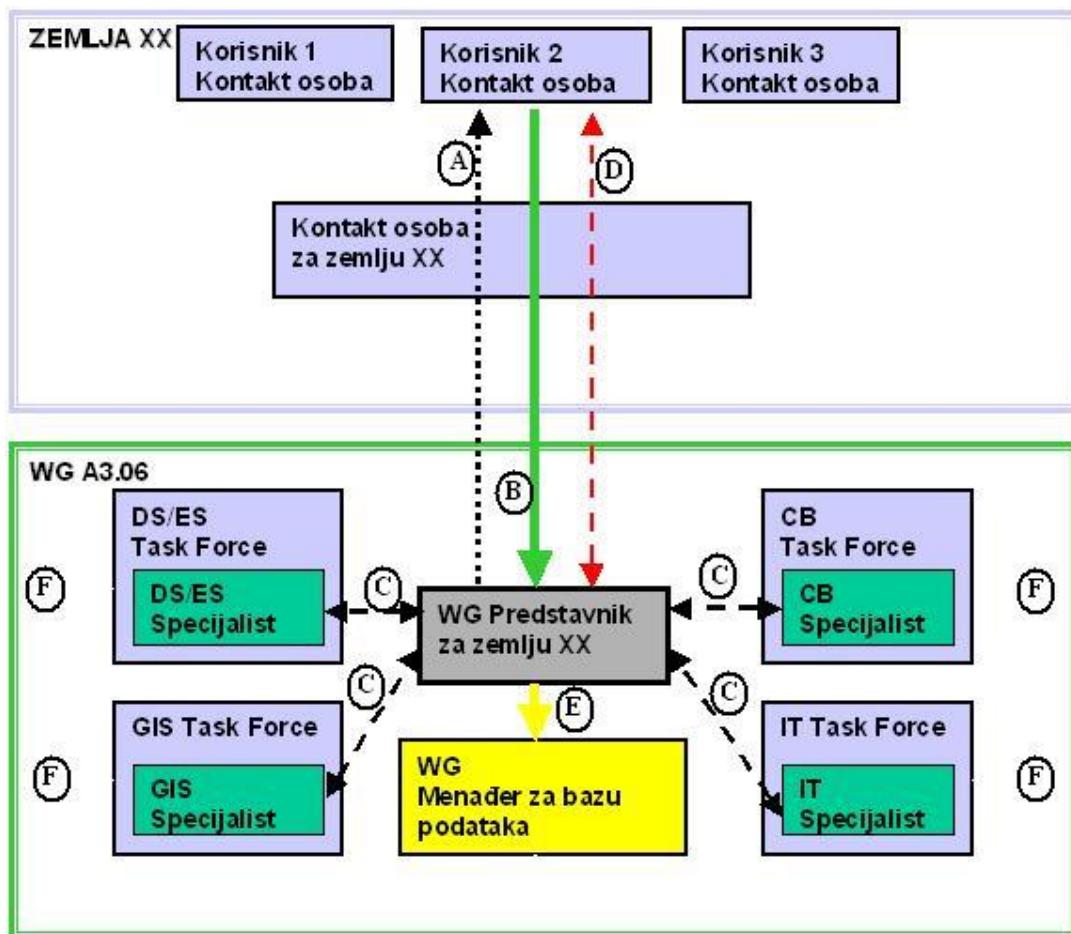
Cilj ankete je:

- analizirati tipove kvarova i njihovu učestalost,
- obraditi karakteristike velikih i malih kvarova,
- utvrditi utjecaj različitih faktora na pouzdanost visokonaponske opreme, kao što su npr.:
 - utjecaj pogonskih uvjeta
 - utjecaj vrste pogonskog mehanizma
 - utjecaj tipa klucišta
 - utjecaj mesta ugradnje
 - utjecaj filozofije održavanja
 - utjecaj starosti opreme
- omogućiti usporedbu rezultata s rezultatima prethodnih anketa, i
- dati preporuke za buduće slične ankete.

3.1 PRIKUPLJANJE PODATAKA

Na slici 1 prikazan je tijek prikupljanja podataka.

- Član radne grupe CIGRÉ šalje upute i upitnike korisnicima koji se nalaze u zemljama za koje je on zadužen.
- Predstavnici korisnika šalju potpuno ispunjene upitnike (populacijske kartice, kartice kvara, kartice održavanja) članu radne grupe koji ih provjerava.
- Ukoliko član radne grupe nije zadovoljan s anketnim podacima, može konzultirati specijalista iz jedne od radnih skupina (Task Force) unutar radne grupe. Postoje četiri radne skupine: TF za prekidače, TF za rastavljače i zemljospojnike, TF za mjerne transformatore i TF za GIS. Specijalist sugerira rješenje, ali ne mijenja podatke u upitniku.
- Ukoliko član radne grupe smatra da podaci koje je dobio od predstavnika korisnika nisu potpuni, ili imaju grešku, on vraća upitnik korisniku na doradu. Ista procedura se rabi i nakon konzultacije sa specijalistom, opisane u točki C.
- Ukoliko je član radne grupe siguran da su svi podaci u upitniku ispravni, šalje popunjeni upitnik menađeru baze podataka.
- U pravilnim intervalima menađer baze podataka šalje pristigle podatke odgovarajućoj radnoj skupini na analizu.



Slika 1 Tijek podataka

3.1.1 Populacijska kartica

Populacijska kartica za svaku vrstu visokonaponske opreme (prekidači, rastavljači i zemljospojnici, mjerni transformatori, GIS) popunjava se svake godine. Ova kartica pokazuje stanje populacije unutar jedne godine. Vrijeme popunjavanja ove kartice nije strogo definirano, međutim preporuča se da to bude ili na početku ili na kraju godine. Na slici 2 prikazan je primjer Populacijske kartice SF6 prekidača.

Populacijska kartica SF6 prekidača						
Nazivna naponska klasa	Glavna funkcija	Vista pogona	Pogonski mehaničar m	Lokacija	Broj prekidača	Glavna filozofija održavanja
1 : 60<= ... <100 kV 2 : 100<= ... <200 kV 3 : 200<= ... <300 kV 4 : 300<= ... <500 kV 5 : 500<= ... <700 kV 6 : >= 700 kV	1 : Prekidač 2 : Transformator 3 : Kabel 4 : Prigušnica 5 : 6 : Spojno polje 7 : Drugo	1 : Nedzemni vod 2 : Teretna sklopka	1 : Hidraulički 2 : Pneumatski 3 : Optički 4 : Drugo	1 : Upruta 2 : Vani 3 : Porculan (live 4 : Metalni oklop 5 : G1S: vani- 6 : G1S: vani- 7 : hibridni 8 : hibridni 9 : hibridni 10 : hibridni	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	1 : Vremenski 2 : Održavanje prema 3 : Izlazak na kvar 4 : Komunikacija raznih 5 : Drugo
<p>ime korisnika</p> <p>Kontakt ime za "Populacijsku karticu" prekidača</p> <p>Telefon</p> <p>E-mail</p> <p>Datum ispunjavanja</p>						

Slika 2 Populacijska kartica SF6 prekidača

3.1.2 Kartica kvara

Kartica kvara ispunjava se odmah nakon što se desio kvar. Kartica bi trebala pokazati najbolje moguće dostupne informacije o kvaru. Na slici 3 prikazan je dio Kartice kvara SF6 prekidača.

Kartica kvara SF6 prekidača

4,4 Opis kvara za veliki kvar

?

Molim odgovorite

?	Ne uklapa na komandu
?	Ne isklapa na komandu
?	Uklapa bez komande
?	Izklapa bez komande
?	Ne vodi struju.
?	Proboj prema zemlji u uklapljenom stanju
?	Proboj prema zemlji za vrijeme uklapanja
?	Proboj prema zemlji u izkloprenom stanju
?	Proboj prema zemlji za vrijeme izklapanja
?	Proboj između polova u uklapljenom stanju
?	Proboj između polova za vrijeme uklapanja
?	Proboj između polova u izkloprenom stanju
?	Proboj između polova za vrijeme izklapanja
?	Proboj na jednom polu (unutrašnji) za vrijeme uklapanja (ne vodi struju)
?	Proboj na jednom polu (unutrašnji) i izkloprenom stanju
?	Proboj na jednom polu (unutrašnji) za vrijeme izklapanja (ne prekida struju)
?	Proboj na jednom polu (vanjski) za vrijeme uklapanja
?	Proboj na jednom polu (vanjski) i izkloprenom položaju
?	Proboj na jednom polu (vanjski) za vrijeme izklapanja
?	Blokira u izkloprenom ili uklapljenom stanju (alarm je potaknut od kontrolnog sistema)
?	Gubitak mehaničkog integriteta (mehaničko oštećenje raznih djelova kao što su izolatori, i sl.)
?	Drugo

4,5 Opis kvara za mali kvar

?

Molim odgovorite

?	Ispuštanje zraka ili ulja u radnom mehanizmu
?	Malo istjecanje SF6
?	Ispuštanje ulja na visokonaponskim kondenzatorima
?	Promjene u mehaničkim karakteristikama
?	Promjene u električnim karakteristikama
?	Promjene u funkcionalnim karakteristikama nadzora i pomoćnih krugova
?	Drugo

5 Uvjeti pogona

5,1 Radni uvjeti prekidača kada je kvar otkriven

Molim odgovorite

Bez energije (napajanja) - sposoban za rad
 Normalni pogon - nema komande uklopa (u uklapljenom ili izkloprenom stanju)
 Zahtjev za normalnim pogonom
 Izklapanje kvara
 Radni ciklus izведен bez komande
 Za vrijeme ili nakon testiranja/održavanja (npr. dijagnostičko testiranje, testiranje relejnog i nadzornog sistema..)

6 Naprezanja za koja se prepostavlja da su doprinijela nastanku kvara

6,1 Uvjeti okoline (moguće je više odgovora)

Nema doprinosa
 Temperatura preniska
 Temperatura previsoka
 Jaki vjetar
 Kiša

Molim odgovorite

Slika 3

Kartica kyara SF6 prekidača

3.1.3 Kartica procedura održavanja

Kartica održavanja GIS-a ispunjava se jedanput godišnje. Kartica pokazuje trenutnu filozofiju održavanja. Na slici 4 prikazan je dio Kartice održavanja GIS-a.

Kartica održavanja GIS-a

Dijagnostička ispitivanja

3.4 Jeste li specificirali dijagnostička ispitivanja za vaš postojeći GIS?

Molim odgovorite

[?] Da Ne

Ako da, koja?

3.5 Jeste li specificirali dijagnostička ispitivanja za buduća GIS postrojenja?

Molim odgovorite

[?] Da Ne

Ako da, koja?

3.6 Po vašem mišljenju jeli upotreba dijagnostičkih ispitivanja sprječila unutrašnji proboj?

Molim odgovorite

[?] Da Ne

3.7 Dali upotrebljavate diagnostiku i za pomoćnu opremu?

Molim odgovorite

[?] Da Ne

Ako da, koju?

3.8 Upotrebljavate li bilo kakvu diagnostiku za uklopne otpornike i visokonaponske kondenzatore na prekidačima?

Molim odgovorite

[?] Da Ne

3.9 Provjeravate li klasu točnosti GIS mjernih transformatora? Ako da, koliko često?

Molim odgovorite

[?] Da Ne

Ako da, koliko često?

Slika 4 Kartica održavanja GIS-a

4. PRVI REZULTATI ANKETE

2004. je bila godina u kojoj se polako uhodavala anketa, kako u svijetu, tako i u Hrvatskoj. Studijski odbor SO A3 HO CIGRE formirao je radnu grupu RG A3.06 zaduženu za organizaciju i provođenje ankete o kvarovima na visokonaponskoj opremi u postrojenjima HEP-a. Radna grupa RG A3.06 sastoji se od predstavnika međunarodne radne grupe CIGRÉ WG A3.06 i predstavnika HEP – Prijenos, HEP – Proizvodnja i HEP - Distribucija:

CIGRÉ WG A3.06 (jedan član – koordinator ankete za Hrvatsku)

HEP – Prijenos (2 člana – koordinatori za HEP)

PrP Zagreb (1 član)

PrP Osijek (1 član)

PrP Split (1 član)

PrP Opatija (1 član)

HEP – Distribucija

DP Elektra Zagreb (1član)

HEP – Proizvodnja (1 član - koordinator)

PP HE Sjever (1 član)

PP HE Zapad (1 član)

PP HE Jug (1 član)

Tijekom 2004. godine u Hrvatskoj su sakupljeni slijedeći podaci:

Tablica 1 Rezultati međunarodne ankete o kvarovima na visokonaponskoj opremi tijekom 2004. godine u Hrvatskoj

	POPULACIJSKA KARTICA				KARTICA KVARA							
	SF6 prekidači	rastavlј.	mjerni trafoi	GIS	SF6 prekidači		rastavlј.		mjerni trafoi		GIS	
					V	M	V	M	V	M	V	M
PrP Zagreb	146	891	1368	2	3	32	0	52	2	16	0	0
PrP Osijek	77	600	764	-	5	5	1	1	3	1	-	-
PrP Split	70	775	887	1	3	17	1	9	24	1	0	0
PrP Opatija	63	695	720	-	1	11	0	9	1	4	-	-
DP Elektra Zgb.	19	43	77	1	1	0	0	0	0	0	0	0
PP HE Sjever	9	38	81	-	1	0	0	0	0	0	-	-
PP HE Zapad	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PP HE Jug	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
UKUPNO	384	3042	3897	4	14	65	2	71	30	22	0	0

V - veliki kvar

M - mali kvar

U tablici 2 prikazani su prvi neslužbeni rezultati podataka o kvarovima koji su prikupljeni u svijetu. Pri tome treba naglasiti kako u vrijeme pisanja ovog referata još nisu bili obrađeni i klasificirani svi pristigli podaci o populaciji i kvarovima, pa ove podatke treba uzeti s velikom rezervom.

Prvi službeni rezultati biti će objavljeni na kolokviju koji organiziraju studijski odbori CIGRÉ SC A3 i SC B3, a održava se krajem rujna 2005. u Tokyu.

Analizirajući pristigle podatke, odnosno zemlje koje su ih poslale vidljivo je da još uvijek velik broj zemalja (USA, Kanada, Francuska, Italija, Brazil, Australija, Kina, Rusija) nije potvrdio svoje sudjelovanje u ovoj anketi.

Tablica 2 Rezultati međunarodne ankete o kvarovima na visokonaponskoj opremi tijekom 2004. godine u svijetu

	POPULACIJSKA KARTICA		KARTICA KVARA	
	SVIJET (bez Japana)	JAPAN	SVIJET (bez Japana)	JAPAN
SF6 PREKIDAČI	6109	16308	246	*
RASTAVLJ./ZEMLJ.	34826	32237	290	*
MJERNI TRANSF.	41892	61149	292	*
GIS	38	9365	11	*

* u trenutku pisanja ovog referata ovi podaci još nisu bili obrađeni

Podaci iz tablice 2 odnose se na 41 korisnika iz 12 zemalja koji su se tijekom 2004. godine uključili u međunarodnu anketu CIGRÉ.

5. STATISTIČKE METODE ZA ANALIZU KVAROVA

U ovoj anketi postoji pet tipova pitanja, odnosno odgovora:

- Binarni odgovor (1 od 2, npr. Kvar uzrokuje vatru i/ili eksploziju prekidača?).
- Samo jedan odgovor od više ponuđenih (1 od nekoliko, npr. Tip kvara?).
- Više mogućih odgovora (više od nekoliko ponuđenih, npr. Utjecaji okoline za koje se prepostavlja da su doprinijeli pojavi kvara?).
- Numerički odgovor (npr. Koliko je napravljeno sklapanja do sada?).
- Otvoreni odgovor (npr. Ako je odgovor «da» objasni?).

Ovisno o vrsti odgovora preporuča se uporaba jedne od slijedećih statističkih metoda:

- Binarni odgovori → **Binominalna analiza**
- Samo jedan odgovor od više ponuđenih → **Multinominalna analiza**
- Više mogućih odgovora → provjera korelacije i binominalna analiza za svaki individualni odgovor.

Binominalna analiza

Treba odgovoriti na pitanje:

Koja je vjerojatnost da se pojavi **k** puta od **n** mogućih ako je vjerojatnost kvara **p** ($0 \leq p \leq 1$)?

$$\text{Bin}(k,n,p) = \binom{n}{k} p^k (1-p)^{n-k}; \text{ pri čemu je } \binom{n}{k} = \frac{n!}{k!(n-k)!}$$

- radi se o diskretnoj razdiobi (n, k su cijeli brojevi)
- zadnja dva faktora računaju vjerojatnost da imamo k kvarova i $(n-k)$ odsutnosti kvara
- ovu je razdiobu moguće nadomjestiti Gaussovom razdiobom uz odgovarajuće uvjete,
 - o Gaussova razdioba ima realne nasumične varijable
 - o Ako je $k > 5$ i $n-k>5$ onda se čini kao da je Gaussova razdioba centrirana na $p_{\max}=k/n$

ali to nije potrebno.

Multinomialna analiza

Treba odgovoriti na pitanje:

Koja je vjerojatnost da se pojavi k_0 puta tip 0, k_1 puta tip 1 od ukupno n , za zadanu vjerojatnost p_i ?

$$\text{Mul}(k_1, k_2, \dots, k_a, n, p) = \binom{n}{k_1, k_2, \dots, k_a} p_1^{k_1} p_2^{k_2} \dots p_a^{k_a}$$

pri čemu je $\binom{n}{k_1, k_2, \dots, k_a} = \frac{n!}{k_1! k_2! \dots k_a!}; \sum_{i=1}^a p_i = 1; \sum_{i=1}^a k_i = n$

6. ZAKLJUČAK

Glavna zadaća međunarodne ankete CIGRÉ je identificiranje trendova kvarova na visokonaponskoj opremi na osnovi usporedbe rezultata s rezultatima prethodnih anketa. Upravo zbog toga je i većina definicija i pitanja identična ili vrlo slična onima iz prethodnih anketa. Naravno da su dodane i neke teme koje su se pojavile u proteklih par godina a vrlo su važne s aspekta održavanja visokonaponske opreme, npr. gospodarenje dobrima i dijagnostičke metode.

U trenutku pisanja ovog referata još nisu bili potpuno sređeni podaci o broju zemalja, odnosno o populaciji i broju kvarova visokonaponske opreme tijekom 2004. godine, pa će se ovi podaci izložiti na samom savjetovanju.

7. LITERATURA

1. CIGRÉ SC 13: The first international enquiry on circuit-breaker failures and defects in service, Electra No 79 (1981)
2. CIGRÉ SC 13: Final report of the second international enquiry on HV circuit-breaker failures and defects in service, Technical Brochure No 83 (1994)
3. CIGRÉ SC 13: User guide for application of monitoring and diagnostic techniques for switching equipment for rated voltages of 72.5kV and above, Technical Brochure 167 (2000)
4. CIGRÉ SC 13: Life management of circuit breakers, Technical Brochure No 165 (2000)
5. CIGRÉ SC 23: Report on the 2nd international survey on high voltage gas insulated substations (GIS) service experience, Technical Brochure No 150 (2000)
6. CIGRÉ SC 23/39: An international survey of maintenance policies and trends, Technical Brochure No 152 (2000)