



DRAGO BAN
Fakultet elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu
TOMISLAV ČORAK
SAP Hrvatska d.o.o, Zagreb
DAMIR GRUBIĆ
KONČAR- Generatori i motori d.d, Zagreb

11-11

AUTOMATIZIRANO ISPITIVANJE VELIKIH ASINKRONIH STROJEVA ZA TERMoeLEKTRANE

SAŽETAK

U referatu su opisani postupci i prikazani rezultati automatiziranog ispitivanja visokonaponskih asinkronih motora velikih snaga. U procesu prikupljanja i obrade podataka koristi se trofazni analizator snage, osobno računalo i komercijalni programski paket TESTPOINT®. Zbog ograničenih instaliranih snaga ispitnih stanica posebnim se problemom javlja ispitivanje velikih motora, a naročito u kratkom spoju, bez obzira da li se radi o automatiziranom ili tzv. klasičnom načinu ispitivanja. U referatu se prikazuje mogućnost kombinacije rezultata automatiziranog ispitivanja i analitičke metode za dobivanje veličine struje kratkog spoja pri nazivnom naponu. Uspoređeni rezultati proračuna, ispitivanja u tvornici te ispitivanja na mjestu upotrebe za veliki broj konkretnih motora potvrđuju valjanost predložene metode kombiniranog određivanja struje kratkog spoja pri nazivnom naponu.

Ključne riječi: asinkroni motor, automatizirano ispitivanje, kratki spoj.

AUTOMATED TESTING OF LARGE INDUCTION MACHINES FOR THERMAL POWER PLANTS

SUMMARY

This paper presents testing method's procedures and test results for large high voltage induction machines. During the process of data acquisition and data processing, a three-phase power analyser, a personal computer and a commercial software package TESTPOINT® are used. Due to the limited installed power of test departments, testing of large motors is a specific problem, especially during locked rotor test, and regardless of the used testing approach; either the automated or so called standard testing. The possibilities of combining the automated test's results with analytical method for determining the value of locked rotor current at rated voltage are described. Compared results of calculation, factory testing and on-site testing, show that the proposed combined method for determining locked rotor current at rated voltage can be acceptable for a great number of considered motors.

Key words: induction motor, automated testing, locked rotor test.

1. UVOD

U pogonima vlastite potrošnje termoelektrana koristi se asinkroni motor kao pogonski motor različitih crpki, ventilatora, mlinova ugljena i sličnih pogona. Veliki asinkroni motori koji se razmatraju u referatu koriste se u klasičnim termoelektranama i u nuklearnim elektranama. Napon napajanja često je 6 kV, rjeđe 10 kV, 50 Hz, a snage im dosežu do 10 MW. Uglavnom se radi o nereguliranim elektromotornim pogonima

Obzirom na visoku cijenu velikih asinkronih motora i njihovu važnost za rad elektrane, kupac se mora uvjeriti u njihovu ispravnost već prilikom preuzimanja u ispitnim stanicama proizvođača. Da bi se ocijenila i potvrdila kvaliteta asinkronog motora potrebno je provesti čitav niz ispitivanja za utvrđivanje mehaničkih i električnih svojstava u skladu s podacima definiranim prilikom ugovaranja posla. Pokusom praznog hoda motora provjerava se mehanički hod, struja praznog hoda te gubici magnetskog kruga i gubici trenja i ventilacije, te se uspoređi s projektnim podacima. Jedan od važnih podataka s kojim se određuje električna ispravnost asinkronog stroja je iznos struje kratkog spoja pri nazivnom naponu. Prema IEC standardu [11], dozvoljene su tolerancije na veličinu struje kratkog spoja pri nazivnom naponu u iznosu od + 20 %, u odnosu na njenu veličinu dobivenu u procesu projektiranja stroja. Veličina te struje je važan podatak za računanje padova napona, trajanja zaleta, izbora rasklopnih aparata i uopće utjecaja pokretanja velikih asinkronih motora na prilike u elektrani i mreži. Struju kratkog spoja velikog motora pri nazivnom naponu općenito nije moguće izmjeriti u postrojenju ispitne stanice proizvođača zbog ograničenih mogućnosti izvora za napajanje. Općenito je prihvaćena praksa da se u takvim slučajevima izmjeri struja kratkog spoja pri sniženom naponu (obično do iznosa potrebnog za nazivnu struju), a zatim se preračunava na nazivni napon, različitim grafičkim i/ili analitičkim postupcima. Rezultati dobiveni na takav način mogu znatno odstupati od stvarnih vrijednosti što će biti moguće provjeriti tek nakon puštanja motora u pogon na mjestu upotrebe.

Da bi se optimizirao mjerni proces u pokusu praznog hoda i kratkog spoja asinkronog motora potrebno je izvršiti automatizaciju ispitivanja. Tijekom razvoja sustava za automatizirano ispitivanje asinkronih motora treba:

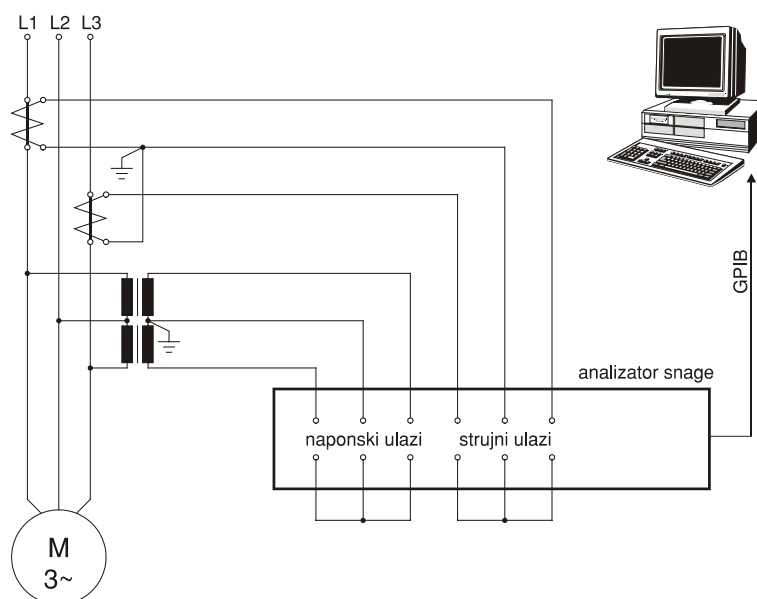
- automatizirati upravljanje elektromotornim pogonom ispitne stanice za ispitivanje
- automatizirati proces prikupljanja podataka te
- automatizirati proces obrade podataka.

Automatizacija upravljanja elektromotornim pogonom za ispitivanje podrazumijeva automatsko podešavanje radne točke motora tijekom snimanja karakteristika. Ovo je ujedno najsloženiji i najskuplji zahvat u procesu automatizacije. Automatizaciju prikupljanja podataka je preporučljivo vršiti pomoću specijalnih instrumenata (npr. trofaznih analizatora snage) kojima se daljinski upravlja pomoću računala. Upravljanje računalom je potrebno zbog prijenosa podataka u računalo što je važno zbog automatiziranja obrade podataka tj. izračunavanja karakterističnih veličina i, na osnovi toga, brze izrade protokola ispitivanja za kupca.

2. DIJELOVI AUTOMATIZIRANOG SUSTAVA ZA PRIKUPLJANJE I OBRADU PODATAKA

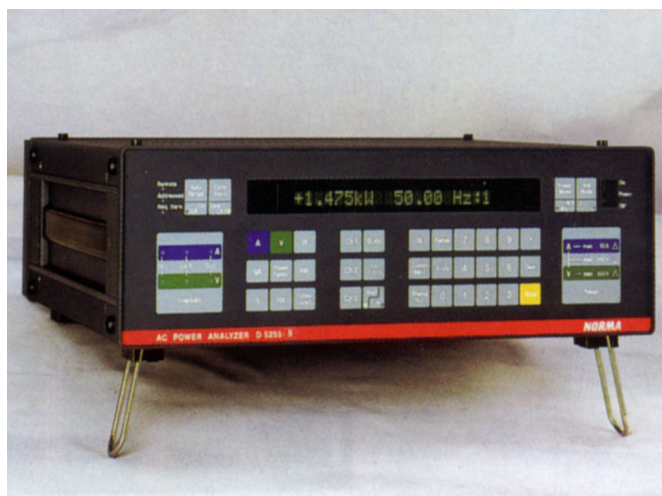
U tvornici KONČAR - Generatori i motori d.d. zasnovan je i primijenjen mjerni sustav za automatizirano prikupljanje i obradu podataka iz pokusa praznog hoda, kratkog spoja i opterećenja asinkronog motora. Mjerni se sustav sastoji od dva naponska i dva strujna mjerna transformatora te od trofaznog analizatora snage koji je, pomoću sučelja prema IEEE488 standardu, vezan na osobno računalo s instaliranim programskim paketom TESTPOINT®.

U klasičnom se mjernom sustavu pojedina mjerna točka sastoji od mjerenja frekvencije linijskog napona, tri fazne struje, i snage koja se mjeri pomoću dva vatmetra u Aronovom spoju. Za svaku radnu točku potrebno je istovremeno očitati otklon kazaljke na 6 instrumenata. Preračunavanje vrijednosti i crtanje karakteristika vrši se nakon mjerenja. U automatiziranom mjernom sustavu računalo upravlja očitavanjem mjernih veličina. Na početku ispitivanja se definira konstanta mjerenja napona i struje ovisno o mjernim transformatorima. Tako se tijekom ispitivanja vrši automatizirano očitavanje stvarnih vrijednosti mjernih veličina. Očitavanje mjernih veličina se dešava gotovo trenutno, a sva izračunavanja i preračunavanja se odvijaju u analizatoru snage prije prebacivanja u računalo i spremanja na tvrdi disk. Ovime se smanjuje broj osoba potrebnih za ispitivanje i povećava se pouzdanost mjernog procesa. Slika 1 prikazuje shemu automatiziranog sustava.



Slika 1. Shema automatiziranog sustava za prikupljanje podataka

Analizator snage je precizni digitalni vatmetar. On služi za ispitivanje svih električnih strojeva: bilo za izmjeničnu ili istosmjernu struju. Instrumentu se dovode tri signala proporcionalna mjerenoj naponu i tri signala proporcionalna mjerenoj struji. Iz ovih se veličina pomoću mikroprocesora ugrađenog u analizator snage izračunava: radna snaga, jalova snaga, prividna snaga, faktor snage, energija, impedancija mjernog objekta, radni otpor mjernog objekta i druge specifične veličine vezane uz objekt ispitivanja. Analizator snage NORMA [14] koji je korišten pri ispitivanjima je prilagođen za ispitivanje motora.



Slika 2. Trofazni analizator snage NORMA D 5255 M

3. PROGRAMI ZA AUTOMATIZIRANO ISPITIVANJE

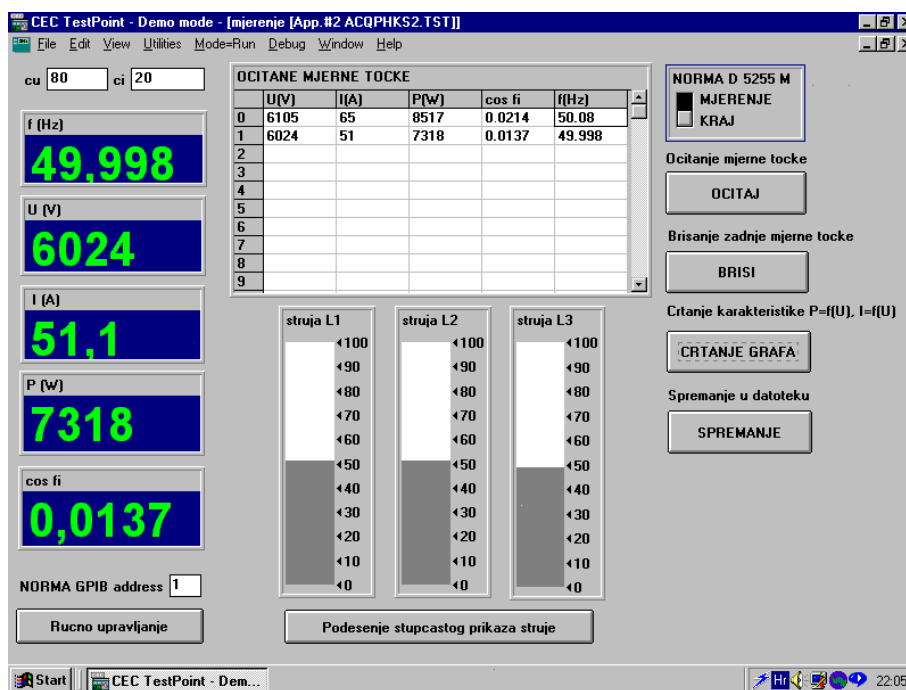
Svi programi koji upravljaju ispitivanjem i obradom podataka napisani su u okviru programskog paketa TESTPOINT® [13]. On spada u grupu gotovih paketa za izradu aplikacija za prikupljanje podataka i upravljanje mjernim procesom pomoću DAQ (Data Acquisition) kartica i instrumenata s ugrađenim IEEE488 ili RS232/485 sučeljcima. Programiranje u TESTPOINT®-u je jednostavno jer se korisnika ne opterećuje s pisanjem naredbi već se one automatski generiraju. Prednost Testpointa nije samo u jednostavnosti programiranja već i u činjenici da sadrži pogonske programe za veliki broj DAQ kartica te predloške za upravljanje preko 200 instrumenata s IEEE488 sučeljem što još više olakšava rad.

3.1. Primjer programa za upravljanje automatiziranim prikupljanjem podataka

Ovaj program služi za upravljanje procesom prikupljanja podataka tijekom izvođenja pokusa praznog hoda i kratkog spoja asinkronog motora uz pomoć trofaznog analizatora snage NORMA D5255M. Osim toga, program vrši zapis očitanih mjernih točaka i podataka o ispitivanju u datoteku koju je moguće spremiti bilo na čvrsti disk računala ili na neki od prijenosnih medija za pohranjivanje podataka. Zapis se vrši u prikladnom formatu, koji će se kasnije koristiti za obradu podataka i izračunavanje karakterističnih veličina, npr. gubitaka trenja i ventilacije, struje praznog hoda pri nazivnom naponu, struje kratkog spoja pri nazivnom naponu i sl.

Unutar programa su definirana četiri različita prozora koja se koriste za: prikupljanje podataka, grubi grafički prikaz snimljenih mjernih točaka, podešavanje stupčastog prikaza struje po fazama te spremanje podataka. Korištenjem više prozora unutar jednog programa dobiva se na preglednosti slike na zaslonu monitora. Slika 3. prikazuje izgled glavnog prozora koji se nalazi pred korisnikom za vrijeme mjerenja. Na lijevoj se strani prozora nalaze objekti u kojima se neprestano prikazuju mjerne veličine. U sredini prozora se nalazi tablica u koju se zapisuju očitane mjerne veličine, a ispod nje se nalaze stupčasti prikazi struja u svakoj fazi, koji se koriste se za grubo praćenje simetrije i eventualnih naglih promjena. Na desnoj strani prozora nalaze se izvršni objekti:

- OCITAJ: koristi se za očitavanje mjerne točke i zapis u tablicu snimljenih mjernih veličina;
- BRISI: koristi se za brisanje zadnje očitane točke iz tablice snimljenih mjernih veličina;
- CRTANJE GRAFA: koristi se za grubi grafički prikaz snimljenih mjernih točaka;
- SPREMANJE: koristi se za zapis snimljenih mjernih veličina u datoteku ASCII (txt) formata zapisa.



Slika 3. Glavni prozor za prikupljanje podataka, primjer za prazni hod

3.2. Primjer programa za automatiziranu obradu podataka

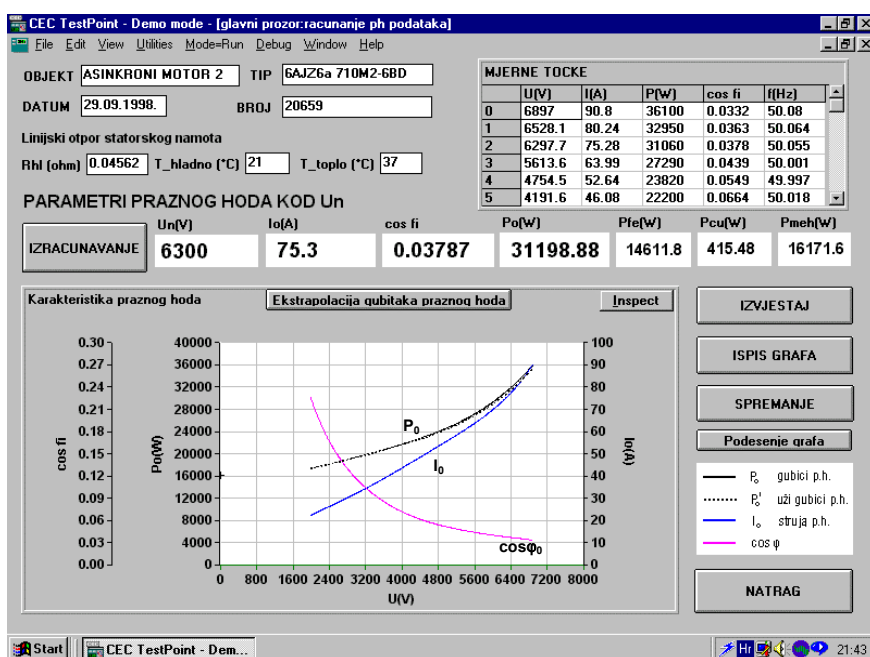
Obrada podataka i izrada protokola o ispitivanju se provode unutar posebnog programa koji je podijeljen u tri dijela: obrada podataka prikupljenih u pokusu praznog hoda, obrada podataka prikupljenih u pokusu kratkog spoja i obrada podataka prikupljenih u pokusu opterećenja.

U nastavku će referata biti opisani dijelovi programa koji se odnose na obradu podataka prikupljenih u pokusu praznog hoda i kratkog spoja. U svakom se dijelu programa izračunavaju karakteristične veličine asinkronog motora. To su u praznom hodu gubici trenja i ventilacije te struja i gubici praznog hoda na nazivnom naponu, a u kratkom spoju struja kratkog spoja na nazivnom naponu te napon kratkog spoja kod kojeg kroz statovski namot teče nazivna struja. Program pruža i mogućnost

izrade izvještaja, koji sadrže sve potrebne podatke o provedenom ispitivanju i obradi podataka. Uz izvještaje postoji i mogućnost štampanja samo grafičkog prikaza karakteristika što je pogodno za ispis na u službenim mjernim listovima. Na kraju da bi se rezultati obrade trajno sačuvali, daje se mogućnost spremanja podataka u datoteku u ASCII (txt) formatu.

3.2.1. Obrada podataka iz pokusa praznog hoda

Nakon učitavanja, moguće je snimljene mjerne točke interpolirati polinomom n-tog stupnja čime se dobiju polazni podaci za izračunavanje karakterističnih veličina praznog hoda pri nazivnom naponu ($U=6300$ V): struja praznog hoda, $\cos\phi$ praznog hoda, gubici u željezu i gubici zbog trenja i ventilacije. Gubitke je ovdje važno odrediti jer oni uz napon stalnog iznosa i frekvencije predstavljaju konstantno opterećenje na mrežu neovisno o opterećenju motora. Slika 4. prikazuje završni prozor nakon provedenog izračunavanja veličina. Ovdje se na jednom prozoru vide sve karakteristične veličine, od podataka o tipu i tvorničkom broju motora, do nazivnih podataka motora i snimljenih mjernih točaka u pokusu praznog hoda, a uz to moguće je i ispisati izvještaj o ispitivanju u praznom hodu.

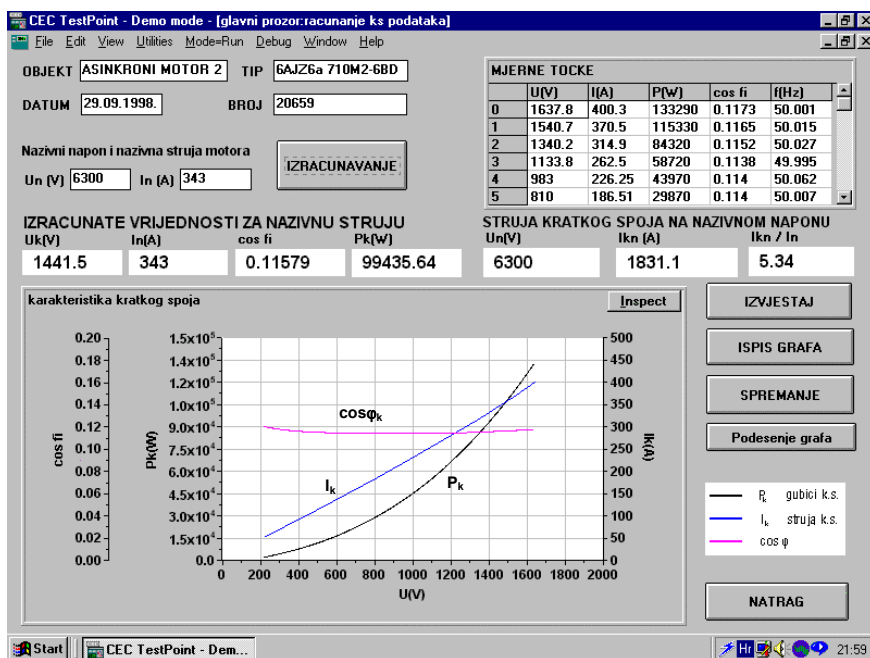


Slika 4. Završni prozor nakon obrade podataka praznog hoda

3.2.2. Obrada podataka iz pokusa kratkog spoja

Kad se snimljene mjerne točke učitaju u dio programa za obradu podataka iz pokusa kratkog spoja, moguće ih je interpolirati polinomom. Struja kratkog spoja se u ovom slučaju aproksimira pravcem koji se provlači kroz prve dvije snimljene mjerne točke. Ovakav, klasičan pristup aproksimacije struje kratkog spoja opisan u [1] prihvaćen je i u ispitnom postupku proizvođača KONČAR -Generatori i motori d.d. U nastavku teksta opisan će se i alternativni, suvremeniji, pristup primjenom kojega bi se mogli dobiti pouzdaniji rezultati za veličinu struje kratkog spoja.

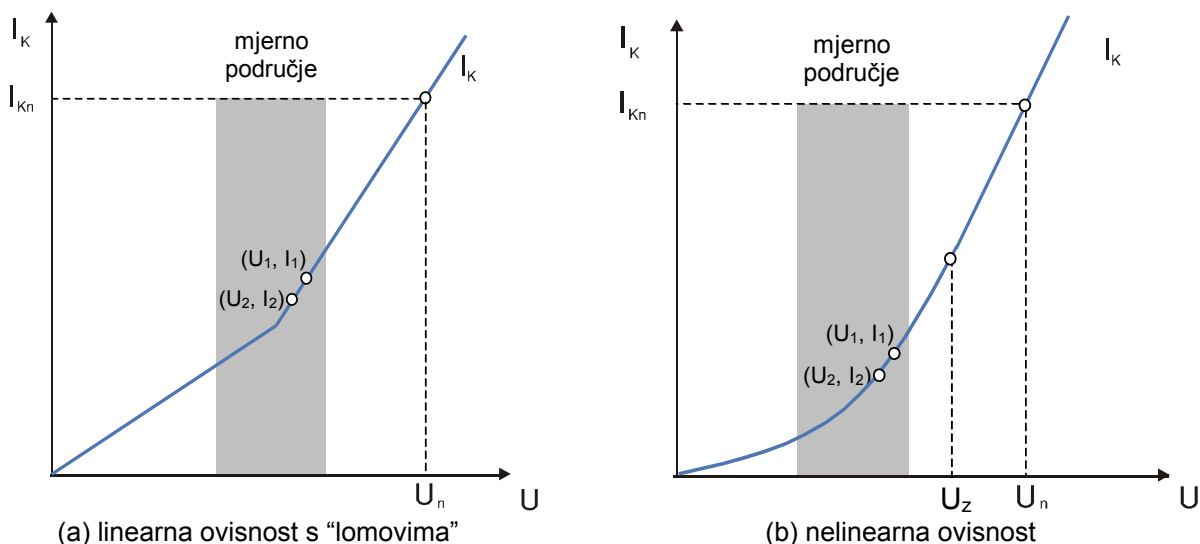
Iz aproksimacijskih krivulja moguće je estimirati struju kratkog spoja pri nazivnom naponu (I_{kn}) i izračunati napon (U_k), kod kojeg kroz statorski namot motora teče nazivna struja. Slika 5. prikazuje završni prozor nakon provedenog izračunavanja veličina. Kao i kod pokusa praznog hoda, ovdje se također na jednom prozoru vide podaci o motoru i karakteristične veličine iz pokusa kratkog spoja, a moguće je i ispisati izvještaj o ispitivanju.



Slika 5. Završni prozor nakon obrade podataka kratkog spoja

4. ANALITIČKA METODA ZA ESTIMACIJU STRUJE KRATKOG SPOJA NA NAZIVNOM NAPONU

Iz iskustva je poznato da struja kratkog spoja pri nazivnom naponu za asinkrone motore može biti od 4 do 8 puta veća od nazivne struje motora, ovisno o broju polova motora, veličini, magnetskom iskorištenju, projektu i drugim parametrima [7]. Taj iznos najčešće nije moguće izmjeriti u ispitnoj stanici proizvođača, zbog ograničenja u instaliranoj snazi pogona za ispitivanje. Zbog toga se izmjeri struja kratkog spoja pri sniženom naponu, a očekivana (estimirana) vrijednost pri nazivnom naponu se dobije analitičkim metodama preračunavanja.



Slika 6. Pretpostavljene ovisnosti struje kratkog spoja o naponu

U prethodnom je poglavlju (3.2.2.) spomenuta metoda linearne aproksimacije ovisnosti struje kratkog spoja o naponu je prikazana na Sl. 6a). Kroz prve se dvije snimljene točke u kratkom spoju (U_1, I_1), (U_2, I_2), povuče pravac do nazivnog napona i na taj se način estimira vrijednost struje kratkog spoja. Na slici je vidljivo da se struja kratkog spoja aproksimira s dva (ponekad i s tri) pravca različitih koeficijenata

smjera na nižim i višim naponima. Razlog tome je utjecaj zasićenja dijelova magnetskog kruga motora, naročito zubi statora i rotora. Kod nekih motora, uglavnom onih s kaveznom rotorom, zasićenje u zubima statora i rotora ne nastupa istovremeno (rotorski zubi se zasite pri manjim iznosima struja) zbog čega krivulja struje kratkog spoja može imati dvije točke loma. Ako se karakteristika struje kratkog spoja snimi samo pri nižim naponima prema Sl.6a) ekstrapolacijom do nazivnog napona po pravcu (1) se mogu dobiti vrijednosti struje kratkog spoja na nazivnom naponu takve, da budu i za 20 do 50% niže od stvarnih (podatak iz praktičnog iskustva). Prema navedenoj će slici biti očekivana vrijednost struje I_{kn} :

$$I_{kn} = \frac{I_1 - I_2}{U_1 - U_2} \cdot (U_n - U_2) + I_2 \quad (1)$$

gdje su:

(U_1, I_1) i (U_2, I_2) snimljene mjerne točke,

U_n je nazivni napon, a

I_{kn} je očekivana računaska vrijednost struje kratkog spoja pri nazivnom naponu.

Slika 6 (b) prikazuje općenitiji način aproksimiranja funkcije struje kratkog spoja u ovisnosti o naponu [10]. Na nižim se naponima struja kratkog spoja aproksimira polinomom drugog stupnja sve do napona U_z , nakon čega se nastavlja aproksimirati pravcem. Za niže napone vrijedi aproksimacija polinomom drugog stupnja općenitog oblika jer magnetski krug motora nije zasićen:

$$I_k = a_1(U + c)^2 + a_0 \quad (2)$$

Nakon uvrštenja uvjeta da polinom drugog stupnja prolazi ishodištem te kroz prve dvije snimljene mjerne točke (U_1, I_1) i (U_2, I_2) dobiju se izrazi za koeficijente polinoma a_1 , c i a_0 :

$$a_1 = \frac{I_1 \cdot U_2 - I_2 \cdot U_1}{I_1 \cdot I_2 \cdot (U_1 - U_2)} \quad (3)$$

$$c = \frac{1}{a_1} \cdot \frac{I_1}{2U_1} - \frac{U_1}{2} \quad (4)$$

$$a_0 = a_1 c^2 \quad (5)$$

Za više napone ($U > U_z$ vidi sliku 6 b) ovisnost struje kratkog spoja aproksimira se pravcem:

$$I_k = K(U - U_z) + I_z \quad (6)$$

kojem je koeficijent smjera (K) jednak prvoj derivaciji izraza (2) za $U = U_z$:

$$K = 2a_1(U_z + c) \quad (7)$$

Točka za $U = U_z$ je zajednička i polinomu drugog stupnja (2) i pravcu (6). Nakon uvrštenja ovog uvjeta dobije se izraz za linearnu aproksimaciju funkcije struje kratkog spoja za napone $U > U_z$:

$$I_k = a_1[(U_z + c) \cdot (2U - U_z) + U_z \cdot c] \quad (8)$$

Korištenjem opisanog algoritma mogu se usporediti projektni, analitički i ispitni podaci za struje kratkog spoja odabranog broja motora. Valjanost predložene metode provjerava se usporedbom s podacima dobivenim mjerenjem na mjestu upotrebe s obzirom da u ispitnoj stanici nije moguće ispitati motor u kratkom spoju pri nazivnom naponu. U nastavku su prikazani različiti podaci o strujama kratkog spoja, koji su dugo godina prikupljeni u tvornici i na mjestima upotrebe motora, najčešće u pogonima termoelektranama. Prikazani su za usporedbu podaci dobiveni:

- Mjerenjem, snimljene mjerne točke (U_1, I_1) i (U_2, I_2) ;
- linearnom aproksimacijom prema (1);
- nelinearnom aproksimacijom prema (2) do (8) uz pretpostavljene vrijednosti parametra U_z (Slika 6 b);
- mjerenjem struje kratkog spoja pri nazivnom naponu na mjestu ugradnje gdje je to bilo moguće i
- podaci dobiveni iz elektromagnetskog proračuna (projekta).

Tablica I. Osnovni podaci ispitivanih motora

Motor broj	osnovni podaci ispitivanih i analiziranih motora			
	P_n (kW)	U_n (V)	I_n (A)	2p
1	1500	10000	102	6
2	2100	6000	234	4
3	7200	6000	775	4
4	800	10000	56	4
5	500	6000	58	4
6	800	5000	115,5	6
7	1320	6000	180	20
8	1000	6000	123	10
9	1200	6000	168	20
10	600	10000	42,5	2
11	2000	3000	447	4
12	6300	6000	708	4

Tablica II. Usporedba dobivenih rezultata

Motor broj	izmjereni podaci, dvije mjerne točke				Omjer I_k/I_n kao rezultat:					
					projektni podatak	linearne aproks.	nelinearne aproksimacija			izmj. za $U = U_n$
	U_1 (V)	I_1 (A)	U_2 (V)	I_2 (A)	I_k/I_n	I_k/I_n	I_k/I_n $U_z=0,3U_n$	I_k/I_n $U_z=0,5U_n$	I_k/I_n $U_z=0,7U_n$	I_k/I_n
1	3000	127,3	2500	105,3	5,7	4,27	4,29	4,44	4,53	4,58
2	980	160	900	145,9	5,7	4,46	4,94	5,46	5,81	6,12
3	920	415	880	394,8	4,57	3,85	4,53	5,22	5,69	5,00
4	2704	70,1	2600	67,3	5,9	4,80	4,84	5,05	5,19	6,25
5	1500	74	1200	58,8	5,5	5,21	5,29	5,46	5,57	6,3
6	1260	174,8	1179	153,2	5,0	2,62	2,01	3,12	4,05	-
7	1792	241,2	1336	178,2	5,0	4,57	4,60	4,73	4,86	-
8	1920	199,2	1669,5	170,4	6,3	5,43	5,43	5,91	6,22	-
9	1959	242,0	1410	167,6	4,8	4,94	4,99	5,47	5,79	-
10	2880	64,0	2382	52,6	6,5	5,34	5,38	5,53	5,64	-
11	500	439,0	455	396,0	6,0	6,33	7,07	7,89	8,44	-
12	898	438,0	750	365,0	5,0	4,21	4,30	4,39	4,45	-

Na temelju rezultata iz prethodne tablice može se zaključiti sljedeće:

- Određivanje stvarne struje kratkog spoja iz pokusa kratkog spoja u samo jednoj točki (obično 15-20 % nazivnog napona), što se obično radi ili nudi u katalogima proizvođača motora, može dati potpuno neupotrebljive rezultate tj. stvarnu struju kratkog spoja koja je mnogo manja od nazivne,
- Usporedbom rezultata analitičkog postupka i mjerenja može se zaključiti da, kod najvećih motora među razmatranima, napon zasićenja nije manji od 40- 50% nazivnog. Kod motora manjih snaga taj napon bi trebalo tražiti među naponima višim od 40-50% nazivnog i
- Rezultati analitičkog postupka znatno ovise o pretpostavljenoj veličini napona zasićenja, što znači da je potrebno snimiti više točaka, i to što preciznije, upravo u dijelu krivulje kojim završavaju mogućnosti mjerenja u ispitnoj stanici.

5. ZAKLJUČAK

Prikazan je dio automatiziranog mjernog sustava razvijenog u tvornici KONČAR-Generatori i motori d.d. Prikazane su mogućnosti automatizirane izrade protokola ispitivanja odmah nakon završenih ispitivanja. Kombinacije automatiziranog ispitivanja i analitičkih metoda se rade za pokuse koji se ne

moгу obaviti do iznosa nazivnih podataka zbog ograničenih mogućnosti ispitnih stanica. To se prvenstveno odnosi na pokus kratkog spoja pri nazivnom naponu. Na osnovi provedenih ispitivanja u kratkom spoju i analiza dobivenih rezultata za kratki spoj može se zaključiti sljedeće: u kratkom se spoju zbog naglog zagrijavanja namota električne prilike vrlo brzo mijenjaju zbog čega proizvođači često snimaju samo jednu mjernu točku i to na naponu kojim se postiže struja kratkog spoja približno jednaka nazivnoj struji motora, eventualno do struje 50% veće od nazivne. Da bi se primijenili postupci grafičke i ili analitičke ekstrapolacije, kojim bi se dobili donekle prihvatljivi rezultati, neophodno je snimiti barem dvije mjerne točke kako bi se dobio trend porasta struje. Za linearnu aproksimaciju struje kratkog spoja, ovaj je trend potreban za ekstrapolaciju po pravcu do nazivnog napona. Kad se struja kratkog spoja aproksimira nelinearno na način prikazan u referatu, trend porasta struje služi za određivanje jednadžbe polinoma drugog stupnja kojim se aproksimira struja kratkog spoja na sniženim naponima; nelinearna aproksimacija struje kratkog spoja u ovisnosti o naponu, daje bolje rezultate od linearne aproksimacije, no naponski nivo kod kojeg polinom drugog stupnja prelazi u pravac ($U = U_z$) nije čvrsto definiran za sve tipove motora. S obzirom da iznos struje kratkog spoja pri nazivnom naponu ovisi o broju polova motora, veličini, magnetskom iskorištenju i ostalim parametrima, mogao bi se za svaki tip motora odrediti karakterističan napon U_z (Slika 6 b), čime bi se mogla puniti baza podataka proizvedenih i ispitanih motora. Ovi su podaci mjerenja važni za usporedbu analitički određenih podataka s podacima mjerenja čime se predložena metoda može s vremenom korigirati u smislu dobivanja pouzdanih rezultata.

Automatiziranim je sustavom moguće određivanje struje kratkog spoja kod nazivnog napona učiniti vrlo jednostavnim za oba načina predložena u referatu;

Provedenom djelomičnom automatizacijom procesa ispitivanja velikih asinkronih motora u tvorničkim uvjetima zasnovani su temelji korištenja suvremenih mjernih sustava i znanja neophodnih za dobivanje što točnijih rezultata i što bržu isporuku motora kupcu istih. Upotrebom trofaznog analizatora snage i prijenosnog računala moguće je jednostavnije ispitati asinkroni motor na mjestu ugradnje i tako za određeni broj velikih motora izmjeriti stvarnu struju kratkog spoja pri nazivnom naponu.

LITERATURA

- [1] W. Nürnberg: Ispitivanje električkih strojeva, Školska knjiga, Zagreb 1951.
- [2] R. Wolf: Ispitivanje električnih strojeva III dio, Zagreb 1964.
- [3] F. Avčin, P. Jereb: Ispitivanje električnih strojeva, Tehniška založba Slovenije, Ljubljana 1968.
- [4] A. Dolenc: Asinkroni strojevi, Zagreb 1990.
- [5] R. Wolf: Osnove električnih strojeva, Školska knjiga, Zagreb 1991.
- [6] D. Ban, R. Wolf, M. Cettolo: Metode detekcije kvara kaveza rotora asinkronog motora, Elektrotehnika, Vol. 34, br. 6, str. 241-250, Zagreb 1991.
- [7] I. Bašić: Ispitivanje i kontrola kakvoće asinkronih strojeva, Magistarski rad, FER, Zagreb 1996.
- [8] M. Vražić: Automatizacija ispitivanja električkih strojeva primjenom PROFIBUS industrijske komunikacijske mreže, Magistarski rad, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb 2000.
- [9] D. Degoricija: Pouzdanost i ekonomičnost postupaka za prikaz nematematičkih krivulja, Doktorski rad, Elektrotehnički fakultet, Zagreb 1980.
- [10] R. Wolf, D. Ban: Ispitivanje velikih asinkronih strojeva u kratkom spoju, XIV Savjetovanje elektroenergetičara Jugoslavije, Referat broj 11.14, Sarajevo 1979.
- [11] IEC 6000 34-1 (1996) Part 1: Rating and performance, International Electrotechnical Commission,.
- [12] IEC 6000 34-2 (1972) Part 2: Methods for determining losses and efficiency of rotating electrical machinery from tests (excluding machines for traction vehicles), IEC 6000 34-2 (1972) Part 2: Methods for determining losses and efficiency of rotating electrical machinery from tests (excluding machines for traction vehicles), Amendment 1, IEC 6000 34-2 (1972) Part 2: Methods for determining losses and efficiency of rotating electrical machinery from tests (excluding machines for traction vehicles), Amendment 2, International Electrotechnical Commission, Geneve 1997.
- [13] TESTPOINT User's Guide, Part number 04000-90100, vol. 2, Fourth edition, © Capital Equipment Corp. 1996
- [14] NORMA AC-Power Analyzer D5255 Operating Instructions