

Mladen Banović
Rajko Gardijan
Končar - Institut za elektrotehniku, Zagreb

SKLOPOVSKA OPREMA I MJERENJE U SUSTAVU MOTRENJA TRANSFORMATORA KONČAR TMS

SAŽETAK

Razvijen je cjelovit sustav motrenja transformatora. Motrenje parametara u sustavu ostvaruje se mjerenjem i računanjem vrijednosti. Mjerenje se ostvaruje senzorima ugrađenim na transformator, signali se prikupljaju kontrolerom i proslijeđuju TCP/IP protokolom serveru sustava motrenja. Računanje se provodi u softverskim modulima aplikacija za motrenje. Razvijen je podsustav za mjerenje napona. Opisana je shema upotrijebljena za mjerenje tjemnih i efektivnih vrijednosti napona korištenjem kapaciteta visokonaponskih provodnika te način dimenzioniranja prijenosnog omjera djelila. Opisan je i način korištenja izmjerenih veličina za praćenje stanja visokonaponskih provodnika kao kritične komponente energetskog transformatora. Razvijena je i prenaponska zaštita svih mjernih krugova koji se koriste u sustavu motrenja.

Ključne riječi: motrenje, transformator, mjerenje napona, provodnik

HARDWARE AND MEASUREMENTS IN THE TRANSFORMER MONITORING SYSTEM KONČAR TMS

SUMMARY

A complete transformer on-line monitoring system has been developed. Monitoring is implemented by measurements and calculation. Sensors measure quantities. Controller collects signals and forwards them to the server by means of TCP/IP protocol. The monitoring applications perform estimation of parameter values. A voltage measurement subsystem has also been developed. The circuit diagram used for measurements of peak and rms values using the capacitance of HV bushings is described. The use of measurement quantities for state monitoring of HV bushings, which are the critical components of power transformers, is also described. Over-voltage protection of all the measurement circuits used in the monitoring system has been developed.

Keywords: on-line monitoring, transformer, voltage measurement, bushing

1. UVOD

Sklopovska oprema sustava KONČAR TMS sastoji se od podsustava ugrađenog na sam transformator (ormarić sustava i mjerni pretvornici ugrađeni na odgovarajuća mjesta na transformatoru) te računala (servera) smještenog u kontrolnom uredu (Slika 1). Server i ormarić sustava povezani su

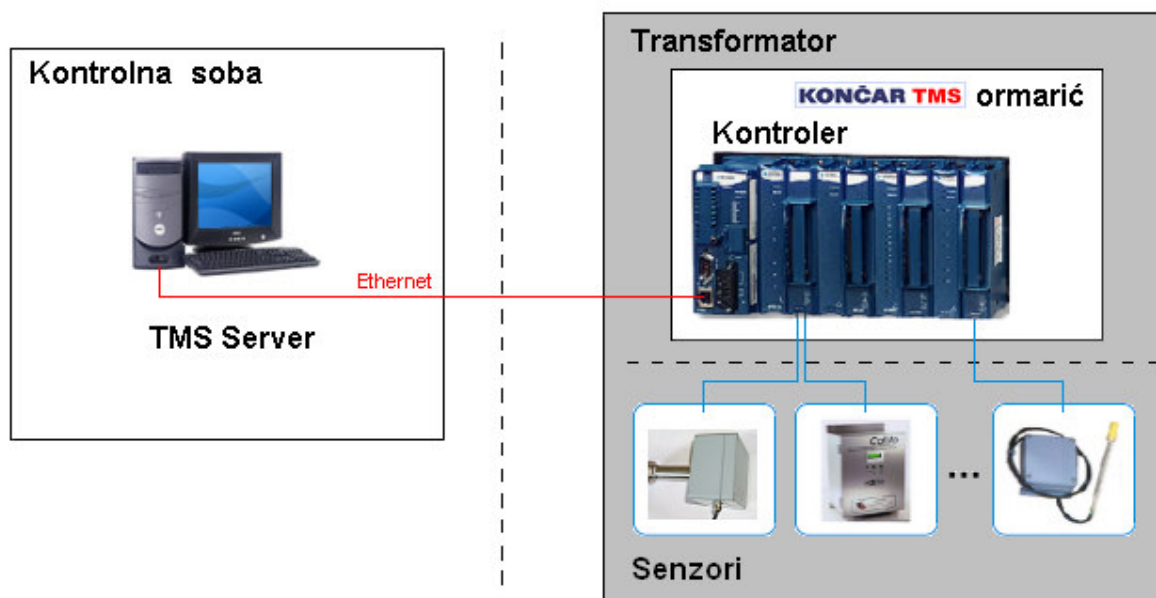
optičkim kabelom. Komunikacija se obavlja komunikacijskom vezom (Ethernet) TCP/IP skupom protokola (Transmission Control Protocol/ Internet Protocol), [1].

2. SKLOPOVSKA OPREMA

2.1. Računalo sustava motrenja

Računalo sustava motrenja je osobno ili industrijsko računalo sa poboljšanim sustavom hlađenja (zbog stalnog rada) te tri čvrsta diska. Jedan disk služi za smještaj operacijskog sustava (MS Windows XP) i druge programske opreme (TMS – aplikacija za motrenje i drugi programi), a na druga dva diska pohranjena je baza podataka. Tijekom dužeg rada sustava motrenja podaci prikupljeni u bazu postaju važniji dio cijelog sustava i dok se sve komponente i programi sustava mogu zamijeniti, jedino su podaci u bazi podataka nenadoknadiivi. Korištenjem dva diska za smještaj baze podataka, u slučaju kvara jednog od diskova na kojima je smještena baza podataka, neće doći do gubitka njezinog sadržaja.

Preko servera sustav motrenja može razmjenjivati podatke s drugim sustavima.

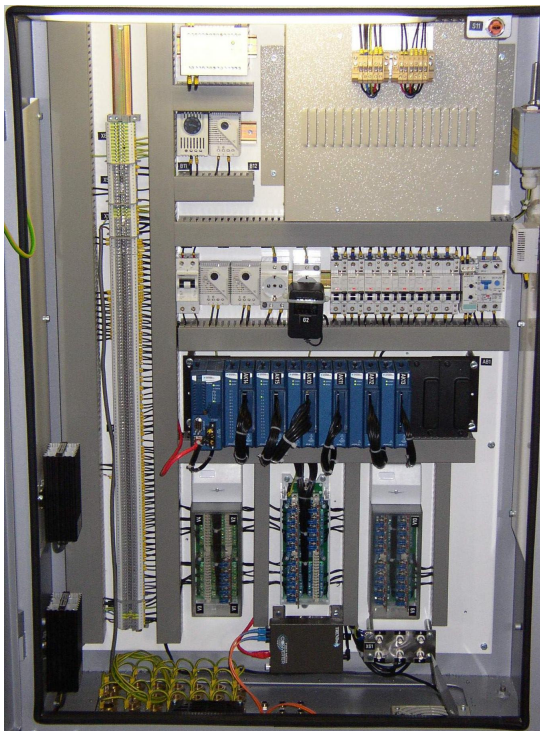


Slika 1. Prikaz dijelova sustava motrenja

2.2. Podsustav na transformatoru

Podsustav na transformatoru sastoji se od ormarića sustava motrenja i mjernih pretvornika. U ormariću su smješteni kontroler (FieldPoint) i drugi uređaji sustava: nadstrujna zaštita senzora (osigurači), uređaj za neprekidno napajanje, termostati, higrostat, uređaji za prenaponsku i nadstrujnu zaštitu signala, pretvornik bakar-optika, grijači i drugi uređaji (Slika 2).

Kontroler ima *real-time* operacijski sustav (Pharlap) i *real-time* aplikaciju za motrenje (TMS FP) koja prikuplja podatke od pretvornika, obrađuje ih i proslijeđuje serveru sustava motrenja, gdje se arhiviraju i prezentiraju korisniku (Slika 3).



Slika 2. Ormarić sustava motrenja



Slika 3. Kontroler sustava motrenja

Aplikacija za motrenje na kontroleru TMS FP prepoznaje prekid komunikacijske veze ili kvar servera. U tom slučaju kontroler preuzima na sebe motrenje, obradu i arhiviranje podataka. Kad se otkloni kvar, odnosno uspostavi veza sa serverom, kontroler serveru prosjeđuje prikupljene podatke gdje se oni trajno pohranjuju i stavljaju korisniku na raspolaganje. Na taj način se postiže uvid u stanje transformatora i uvjete pogona cijelo vrijeme, uključujući i period kad nije aktivna aplikacija za motrenje na serveru, kad je server isključen te periode kad je prekinuta komunikacijska veza.

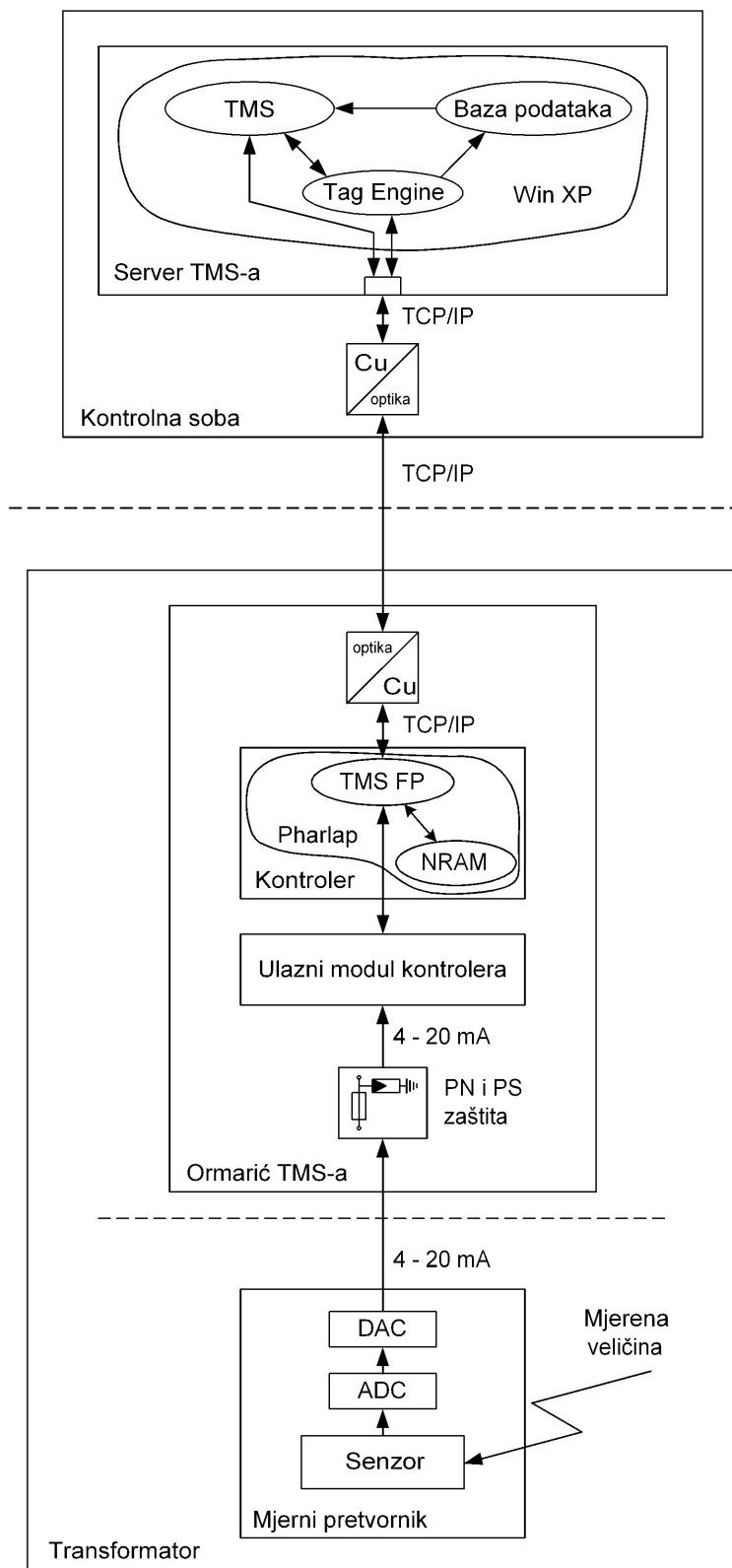
Uređaj za neprekidno napajanje (UPS) napaja uređaje sustava motrenja iz mreže 230V AC. U slučaju nestanka izmjeničnog napajanja, uređaj automatski nastavlja napajanje iz mreže 220 V DC (ako je raspoloživa). U slučaju nestanka i tog napajanja, uređaj iz vlastitih baterija napaja sustav sljedećih 7 do 10 sati (ovisno o snazi uređaja koje UPS napaja). Na taj način sustav ima dovoljnu autonomiju za rad.

Mjerni pretvornici su ugrađeni na odgovarajuća mjesta na transformatoru. Na primjer mjerni pretvornik napona ugrađuje se na mjerni priključak provodnika, mjerni pretvornik razine ulja na odgovarajuće priključno mjesto na konzervatoru, mjerni pretvornik plina i/ili vlage u ulju na odgovarajući uljni priključak na kotlu transformatora itd.

Mjerni pretvornici prikupljaju i obrađuju podatke pojedinih mjerenih veličina, ili veličina koje karakteriziraju određeni sklop transformatora ili njegove opreme (npr. termometar na poklopcu transformatora, strujni transformator, naponski transformator, radno stanje ventilatora ili uljnih pumpi, itd.). Mjerni pretvornici, osim senzorom za mjerenje, u pravilu su opremljeni AD pretvornikom (**ADC**) koji digitalizira signal te DA pretvornikom (**DAC**) koji digitalizirani signal pretvara u standardizirani signal (4...20 mA, 0...20 mA).

2.3. Tok informacija u sustavu

Mjerenje se ostvaruje korištenjem mjernih pretvornika. Informacija o vrijednosti mjerene veličine ima svoj jedinstven tok u sustavu motrenja, od mjesta nastanka (mjerni pretvornik) do baze podataka, aplikacije za motrenje na kontroleru, odnosno serveru i/ili nekog ugrađenog alata u sustavu motrenja te do korisnika (Slika 4).



Slika 4. Tok informacija u sustavu motrenja

TMS - aplikacija na serveru preuzima rezultate motrenja od Tag Enginea ili od TMS FP, dodatno ih obrađuje ako je potrebno, rezultate prosljeđuje Tag Engineu za pohranu u bazu podataka, prijavljuje korisnike u sustav i poslužuje ih.

Tag Engine - program koji prenosi podatke sa kontrolera na server, upisuje ih u bazu podataka i daje ih na raspolaganje programu TMS. Također podatke dobivene obradom u TMS-u pohranjuje u bazu.

Baza podataka - Citadel baza služi za pohranu prikupljenih i obrađenih podataka na serveru sustava motrenja.

Cu/optika – media-converter koji povezuje bakreni i optički kabel.

Kontroler (FieldPoint) ima instaliran *real-time* operacijski sustav (Pharlap) te program za motrenje (TMS FP).

TMS FP - aplikacija za motrenje na kontroleru koja prikuplja i obrađuje signale s mjernih pretvornika u realnom vremenu i šalje ih serveru. Prepoznaje kvar komunikacijske veze sa serverom i preuzima motrenje. Prikupljene i obrađene podatke pohranjuje u memoriju NRAM (Nonvolatile RAM) koja čuva sadržaj i kad nestane napajanja.

Ulazni modul - obavlja AD pretvorbu signala i vremensko označavanje očitavanja (timestamp). Moduli mogu preuzimati analogne, digitalne te signale sa Pt temperaturnih sondi.

PN i PS zaštita - uređaj za prenaponsku i nadstrujnu zaštitu štiti sve ulazne module kontrolera od prenapona i velikih struja sa senzora i dovodnih kabela. Ostvaruje se u dva stupnja: odvodnicima prenapona i varistorima, a nadstrujna osiguračima.

Mjerni pretvornik - osim senzorom za mjerenje, u pravilu je opremljen AD pretvornikom (**ADC**) koji digitalizira signal te DA pretvornikom (**DAC**) koji digitalizirani signal pretvara u standardizirani signal (4...20 mA, 0...20 mA).

2.4. Uzorkovanje

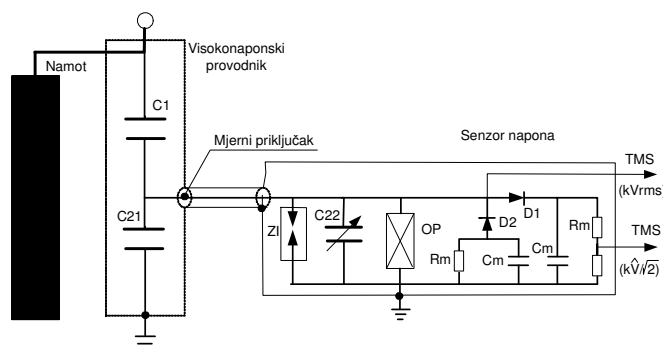
Sustav motrenja ima zadaću uočiti i upozoriti na promjene motrenih veličina te je vrlo bitno da uzorkovanje podataka bude što češće, da bi se bolje uočile promjene motrenih veličina. Najveća učestalost uzorkovanja je oko 50 uzoraka u sekundi. S druge strane to je sustav koji radi godinama i tijekom dugotrajnog rada prikupi veliku količinu podataka koju treba svesti na razumnu mjeru kako bi se izbjeglo zagušenje komunikacijske veze i baze podataka (arhive) ogromnom količinom podataka. Kompromis ova dva oprečna zahtjeva je tzv. *event driven* prikupljanje podataka gdje kontroler sa svojim modulima stalno motri veličine, a šalje ih serveru sustava motrenja samo kad je promjena motrene veličine veća od unaprijed zadane.

3. PODSUSTAV ZA MOTRENJE STANJA PROVODNIKA I PARCIJALNIH IZBIJANJA

Za motrenje napona energetskog transformatora uključujući i stanje visokonaponskih provodnika razvijen je senzor napona koji omogućuje praćenje napona po fazama trofaznih/jednofaznih transformatora kao i stanje samih visokonaponskih provodnika. Sustav omogućuje mjerenje:

- sklopnih prenapona u mreži
- tjemernih vrijednosti napona/ $\sqrt{2}$
- efektivnih vrijednosti napona
- parcijalnih izbijanja

Za mjerenje napona koristi se kapacitet visokonaponskih provodnika, a dogradnjom odgovarajućih niskonaponskih kondenzatora dobiva se kvalitetno visokonaponsko djelilo napona (Slika 5), [2].



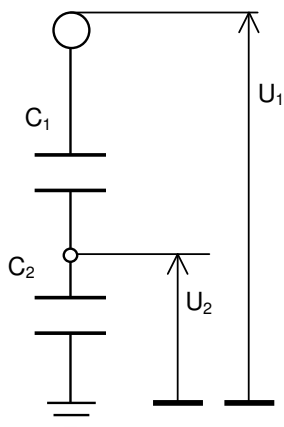
Slika 5. Principna shema senzora napona

Pri radu transformatora bez ugrađenog sustava motrenja mjerni priključak je uzemljen, a koristi se samo kod periodičke kontrole izolacijskog sustava provodnika (C , $\tan\delta$). Isti se također koristi kod prijemnih ispitivanja energetskog transformatora (mjerenje parcijalnih izbijanja, napona radio smetnji, ispitivanje sklopnim udarnim naponom i tako dalje).

Dimenzioniranje niskonaponskog dijela djelila napona određeno je kapacitetom provodnika i ulaznim naponom i mjernom impedancijom mjernog pretvornika. Ovisno o proizvođaču visokonaponskih provodnika iznosi kapaciteta mogu se razlikovati i do dva puta što se može vidjeti iz tablice I. Kod dimenzioniranja prijenosnog omjera djelila cilj je dobiti isti napon na niskonaponskoj strani kapacitivnog djelila. Činjenica da suvremeni akvizicijski sustavi imaju nizak ulazni napon otežava postupak dimenzioniranja.

Tablica I: Vrijednosti kapaciteta C_1 za različite tipove provodnika i različite proizvođače

U_m	Proizvođač 1	Proizvođač 2	Proizvođač 3	Proizvođač 4
123 kV	200 pF	200-300 pF	250 pF	300 pF
245 kV	250 pF	200-300 pF	300 pF	300 pF
420 kV	350-500 pF	350-400 pF	400 pF	550 pF



Slika 6. Shema kapacitivnog djelila

Prijenosni omjer kapacitivnog djelila iznosi:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{C_2 + C_1 + C_K}{C_1} \quad (1)$$

Vrijednosti kapaciteta C_1 su poznate i nepromjenjive veličine i obavezno se dostavljaju od strane proizvođača visokonaponskih provodnika. Isti se također mogu i ponovno izmjeriti.

C_K – kapacitet mjernog kabela, ako se koristi.

C_1 – VN kapacitet provodnika

C_2 – NN kapacitet a

Zbog smanjenja utjecaja smetnji, ciljani iznos napona U_2 je oko $100 V_{rms}$.

$$C_2 \approx \frac{U_1}{U_2} C_1 \quad (2)$$

Da bi dobili iste napone U_2 ugađamo ih izborom C_2 (2). Tako dobiveni signal može se na različite načine prilagoditi za akvizicijski sustav motrenja ovisno što se želi pratiti: tjemene i efektivne vrijednosti napona, prenaponi na transformatoru ili u mreži te stanje visokonaponskih provodnika (promjena kapaciteta), [3].

Točnost mjerenja napona pomoću ovako izvedenih kapacitivnih djelila izravno ovisi o točnosti kojom je određen omjer kapaciteta C_2/C_1 . Ovaj omjer može se odrediti sa mjernom nesigurnošću manjom od $\pm 0,3\%$, kod 20°C , a uz poznatu ovisnost $C=f(t)$ i za cijelo područje radnih temperatura, što omogućuje kvalitetnu kontrolu svih motrenih veličina.

Kontrola stanja visokonaponskih provodnika može se pratiti na dva načina i to:

- praćenjem napona U_2 svakog provodnika
 $U_2 = f(U_1, C_1)$
- praćenjem struja kroz provodnik
 $I_C = f(U_1, C_1)$

Iz konstrukcije visokonaponskih provodnika poznato je da ako dođe do proboja jedne od elektroda za formiranje polja, dolazi do porasta kapaciteta (za najmanje 1,5%). Porast kapaciteta je ovisan o nazivnom naponu provodnika i broju elektroda u provodniku.

U senzor napona može se ugraditi i mjerna impedancija za praćenje parcijalnih izbijanja u transformatoru, [4], a pri tom sam sustav mjerenja napona ostaje nepromijenjen.

Priključak senzora napona i sustava za mjerenje parcijalnih izbijanja koncipiran je tako da se u svakom trenutku može pristupiti mjernom priključku provodnika radi dijagnostičkih mjerenja provodnika klasičnim metodama.

Senzor napona izveden je u IP 65 mehaničkoj zaštiti.

4. ZAKLJUČAK

Cjelovitim sustavom motrenja transformatora omogućeno je motrenje svih bitnih dijelova transformatora. Motrenje parametara provodi se mjerenjem i računanjem vrijednosti. Mjerenje se provodi senzorima ugrađenim na transformator, signali se prikupljaju kontrolerom i proslijeđuju TCP/IP protokolom serveru sustava motrenja. Prosječno je u sustavu motrenja više računatih nego mjerenih veličina (na primjer približno mjerenih 40, računatih 50), što predstavlja "dodanu vrijednost" sustava motrenja. Naime, cijenu sustava motrenja najvećim dijelom određuje sklopovska oprema, jer se količina opreme povećava s povećanjem broja motrenih veličina. S druge strane, na osnovi određenih mjerenih veličina transformatora, bez ikakve dodatne sklopovske opreme, mogu se motriti dodatne računate veličine te na taj način dobiti još bolji uvid u stanje transformatora, uz relativno malo povećanje cijene sustava.

LITERATURA

- [1] M. Banović, S. Keitoue, V. Cindrić, Z. Godec, A. Mikulecky, R. Gardijan, I. Tomić, KONČAR TMS Dokumentacija sustava motrenja, Končar - Institut za elektrotehniku, Končar - Energetski transformatori, Zagreb, 2004
- [2] V. Bego, Mjerenja u elektrotehnici, Tehnička knjiga Zagreb, 1966
- [3] F. H. Kreuger, Industrial High Voltage, Delft University Press, Delft, 1992
- [4] F. H. Kreuger, Partial Discharge Detection in High-Voltage Equipment, Butterworths, London, 1989