

# SUSTAVI MOTRENJA ULJNIH TRANSFORMATORA

Prof. dr. sc. Zdenko G o d e c – Denko G o d e c, Zagreb

UDK 621.314.212:621.316.9  
PREGLEDNI ČLANAK

Motrenje (engl. on-line monitoring) je automatizirani nadzor. Koristi i ciljeve motrenja transformatora, odabir transformatora i veličine koje treba motriti određuje vlasnik transformatora. Dan je kratak pregled sustava motrenja transformatora i veličina koje se najčešće motre, te preporuke na što treba obratiti pozornost pri izboru sustava za motrenje.

**Ključne riječi:** uljni transformatori, motrenje, sustav motrenja.

## 1. UVOD

Motrenje (automatizirani nadzor) transformatora omogućuje:

- otkrivanje pogriješaka u nastanku i sprječavanje ili smanjenje posljedica kvara (uštede),
- stalni uvid u uvjete pogona i stanje transformatora,
- održavanje na osnovi stanja (uštede),
- povećanje raspoloživosti (pouzdaniji pogon, tj. manje neplaniranih ispada i bolje planiranje namjenskih isključivanja),
- optimizaciju gospodarenja transformatorom (kontrolirano preopterećivanje, procjenu preostalog vijeka trajanja, produljenje vijeka trajanja, odgađanje zamjene, itd.),
- analizu uzroka kvara,
- povećanje sigurnosti ljudi i bolju zaštitu okoliša.

Cilj uvođenja sustava za motrenje (engl. "on-line monitoring system") može biti jedna od nabrojanih mogućnosti ili više njih istodobno.

Prema složenosti opreme i programske podrške (hardvera i softvera) **sustave za motrenje (SM)** možemo podijeliti na pet razina složenosti:

1. razina – motrenje pojedinih veličina (mjerni pretvornici),
2. razina – motrenje pojedinih komponenti ili funkcija, tj. mjerenje veličina i obrada podataka na razini funkcije ili komponente (više mjernih pretvornika i mikroprocesor),
3. razina – motrenje uređaja (transformator),
4. razina – motrenje objekta (transformatorska stanica),
5. razina – motrenje grupe objekata (više transformatorskih stanica).

Sustavi za motrenje prve razine, tj. **mjerni pretvornici**, prikupljaju i obrađuju podatke pojedinih mjernih veličina, ili veličina koje karakteriziraju određeni sklop transformatora ili njegove opreme (npr. termometar u

poklopcu transformatora, strujni transformator, naponski transformator, radno stanje ventilatora ili uljnih pumpi, itd.).

Sustavi za motrenje druge razine sadrže osim mjernih pretvornika i mikroprocesor(e), te obrađuju podatke na razini funkcije (sklopa) ili opreme (npr. motrenje temperature najtoplije točke namota, motrenje plinova otopljenih u ulju, motrenje regulacijske sklopke). Kada imaju i sučelje za komunikaciju s računalom, nazivamo ih "**pametni mjerni pretvornici**".

Prve dvije razine (1. i 2.) sustava za motrenje nazvat ćemo **sustavima motrenja niske razine (SMN)**.

**Sustavi za motrenje visoke razine (SMV)**, a to su sustavi motrenja 3., 4. i 5. razine rješavaju hardverski i softverski jezgrom sustava na koju se priključuju sustavi motrenja niže razine. SMV rješavaju komunikaciju i sučelja prema SMN i prema čovjeku (vizualizacija), te obradu podataka, sažimanje goleme količine podataka u informacije za vođenje i održavanje, te arhiviranje podataka. Centralni dio SMV je računalo-server.

Rezultati motrenja mogu biti mjerni rezultati, analize, dijagnoze, upozorenja, preporuke i uzbune na temelju:

- a) usporedbe izravno izmjerenih veličina i fiksno postavljenih graničnih vrijednosti, ili
- b) usporedbe izmjerenih veličina i veličina dobivenih simulacijom uz pomoć modela (fizičkih, matematičkih, statističkih, meko-logičkih te neuronsko-mrežnih).

Ovi drugi, tzv. **modelni sustavi za motrenje** su osjetljivi i selektivniji.

## 2. SUSTAVI MOTRENJA NISKE RAZINE

SMN trebali bi biti SEVA (Self-Validating) tipa, prema normi [1]. SEVA mjerni pretvornici dijagnostičiraju cijeli proces mjerenja i klasificiraju mjerne rezul-

tate u kategorije: SECURE (rezultat dobiven na temelju više CLEAR očitavanja), CLEAR (rezultat unutar specifikacija pretvornika), BLURRED (rezultat s povećanom mjernom nesigurnošću, DAZZLED (trenutačni rezultat nije dovoljno pouzdan, te mjerni pretvornik zbog privremenog problema daje procjenu na temelju mjernih rezultata prije nastanka problema), BLIND (trenutačni rezultat nije pouzdan pa mjerni pretvornik daje procjenu na temelju povijesti mjerenja, a mjerna nesigurnost naglo raste jer je nastali problem trajan). No, to je relativno nova i k tome nacionalna norma (UK), koja još nije prihvaćena od proizvođača sustava za motrenje.

Evo kratkog pregleda sustava za motrenje niske razine podijeljenih u tri skupine:

- motrenje aktivnog dijela transformatora
- motrenje regulacijske sklopke
- motrenje provodnih izolatora.

## 2.1. Motrenje aktivnog dijela transformatora

### 2.1.1. Motrenje plinova

GE Syprotec (SM: Hydran; načelo: gorive ćelije) [2], Morgan Schaffer (SM: Calisto, ranije AMS-500 Plus; načelo: izlučivanje plina teflonskim kapilarama, H<sub>2</sub> osjetnik na temelju toplinske vodljivosti; + osjetnik relativne vlage; trajniji od Hydrana) [2],

Serveron (SM: TrueGas; načelo: kromatografska analiza osam plinova: CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> i O<sub>2</sub>), Siemens (SM: osjetnik H<sub>2</sub> na temelju poluvodičkih metaloksida, navodno trajniji od osjetnika na temelju gorivih ćelija),

ESI (Enviro Service International) (SM: SELECTA 2000; načelo: infracrveni spektar),

Messko (SM: Elektronik Buchholz-Relay; načelo: mjerenje količine u ulju neotopljenih plinova) [2],

Alstom (SM: mjerilo količine u ulju neotopljenih plinova, dodatak standardnom Buchholz-releju za motrenje količine u ulju neotopljenih plinova).

### 2.1.2. Motrenje vlage u ulju

Vaisala (SM: osjetnik relativne vlage),

Morgan Schaffer (SM: Calisto: H<sub>2</sub> osjetnik + osjetnik relativne vlage),

GE Syprotec (SM: Hydran M2: smjesa u ulju otopljenih plinova + osjetnik relativne vlage).

### 2.1.3. Motrenje temperatura ulja i simulacija temperature najtoplije točke namota

AKM (SM: Trafo Guard) [1],

Messko (SM: Electronc Pointer Thermometer EPT101),

Qualitrol (SM: 509-100 Transformer Temperature Monitor; motri i razliku temperatura ulja u transformatoru i regulacijskoj sklopki),

Weschler Instruments (SM: Advantage CT/LTC; motri i razliku temperatura ulja u transformatoru i regulacijskoj sklopki),

Barrington Consultants Incorporated (SM: TTM),

Končar – Elektronika i informatika (SM: numerička termoslika TTP 2000).

### 2.1.4. Motrenje vibracija

University of Madrid (Garcia de Burgos: Measurement of transformer vibration: "A tool for on line monitoring", IEEE SDEMPED 2001, Grado; u razvoju).

### 2.1.5. Motrenje furana

Research & Consultancy Services (patent: Electricity Generation Transformer Winding Monitoring System; načelo: mjerenje furfuraldehida u ulju optičkim osjetnikom).

## 2.2. Motrenje regulacijske sklopke

Reinhausen (SM: TM 100 R; načelo: položaj, temperatura, ubrzanje, moment, frekvencija, struja i napon motora; može se naknadno prigraditi), (TRANSFORM 2001).

Barrington Consultants Incorporated (SM: TDM System 3; načelo: motri razliku temperatura ulja u transformatoru i regulacijskoj sklopki),

Qualitrol (SM: 509-100 Transformer Temperature Monitor; motri razliku temperatura ulja u transformatoru i regulacijskoj sklopki),

Weschler Instruments (SM: Advantage CT/LTC; motri razliku temperatura ulja u transformatoru i regulacijskoj sklopki),

GE Harley (SM: LTC-MAP 1525; načelo: temperatura, struje, položaj sklopke, broj preklopa po satu i danu, napone; može se naknadno prigraditi).

## 2.3. Motrenje provodnih izolatora

Cutler Hammer (SM: TMS-Gamma; načelo: suma struja sva tri provodnika kroz mjerne priključke koja registrira promjene faktora gubitaka i kapaciteta)

HSP (Koch, N.: Monitoring for graded condenser bushings, simpozij TRANSFORM 2001)

Alstom (SM: kapacitivi osjetnik + "peak sampler").

## 3. SUSTAVI MOTRENJA VISOKE RAZINE

Većina velikih proizvođača transformatora nudi modularne sustave motrenja visoke razine sa SMN vlastite proizvodnje ili kupljenim od drugih specijaliziranih proizvođača.

U nastavku su opisani sustavi koje nude: Alstom, Siemens i Mitsubishi Electric.

### 3.1. Alstom

**Alstom** nudi dva modularna sustava motrenja: MS 1000 i MS 2000.

Jeftiniji, MS 1000, je namijenjen transformatorima snaga od 10 MVA do 100 MVA. Motri se temperatura ulja u džepu poklopca kotla, temperatura okoline, digitalni signali s ventilatora i pumpi (radi, ne radi), struja i napon, a pomoću uzorkovanja vršnih vrijednosti napona se bilježe i broje prenaponi. Sustav računa mogućnosti preopterećenja i procjenjuje starenje izolacije. Bilježi se položaj regulacijske sklopke i potrošak motora sklopke. Dodatno se može ugraditi uređaj za motrenje plinova (vodika) i vlage u ulju. Sustav motrenja može pametno upravljati rashladnim sustavom tako da se smanje promjene temperature ulja, a time i promjene razine ulja u konzervatoru – čime se smanjuje ulazak vlage u transformator. Komunikacija se ostvaruje putem RS232 i modema. Svakom od osam kanala može se pridružiti granična vrijednost za uzbunjivanje.

MS 2000 namijenjen je velikim transformatorima od posebne važnosti. Kupac, na temelju svojih potreba, definira koje veličine i sklopove želi i kako motriti. Mogućnosti koje se nude jesu:

#### Aktivni dio

- temperatura ulja (Pt100),
- plinovi otpoljeni u ulju (Hydran201Ti),
- vlaga u ulju (kapacitivni tankoslojni osjetnik Vaisala HMP228),
- količina plinova u Buchholz-releju (patentirani ultrazvučni mjerni pretvornik),
- proračun aktualne preopterećenosti,
- simulirana temperatura najtoplije točke namota,
- brzina starenja,
- potrošeni vijek trajanja.

#### Regulacijska sklopka

- položaj,
- potrošak (snaga) motora,
- razlika temperature (u odnosu na temperaturu ulja u džepu poklopca kotla).

#### Provodnici

- naponi (kapacitivno djelilo priključeno na mjerni izvod provodnika),
- prenaponi (uzrokovanje i pamćenje),
- struje,
- struje preopterećenja (pamćenje),
- uljni pritisak,
- promjena kapaciteta.

#### Rashladni sustav

- pogonsko stanje ventilatora i pumpi,
- temperatura ulja na ulazu i izlazu,
- temperatura okoline,
- temperatura zraka na izlazu.

#### Konzervator

- razina ulja,
- vlažnost zraka.

Komunikacija unutar sustava se ostvaruje putem Field bus-a, RS-232 i Ethernet TCP/IP, a mjerni pretvornici trebaju imati normizirane analogne ili digitalne izlaze. Sustav za motrenje koristi softver FlexControl na operativnom sustavu QNX 4.24, a vizualizacija je moguća i na MS Windows-ima.

### 3.2. Siemens

**Siemens** nudi modularni sustav za motrenje SITRAM+. Sustav se sastoji od tri funkcijski različite skupine sklopova: mjernih pretvornika, analogno digitalnih pretvornika i računala s pokaznikom. Pretvornici su moduli iz serije Simatic S7 PLC, ili posebni uređaji. Softver je Simatic WinCC na operativnom sustavu Windows NT. On obrađuje, prikazuje, analizira, dijagnosticira i uzbunjuje. Komunikacija se odvija putem telefonske mreže, LAN-a ili Internet-a. U Siemensu smatraju da su najvažnije veličine koje treba motriti: temperatura, struje, naponi, položaj regulacijske sklopke i vodik otopljen u ulju. Sustav je prilagodljiv potrebama korisnika, tako da broj motrenih veličina može varirati od 4 do 100. Za primjer se navodi sustav za motrenje mrežnog transformatora snage 300 MVA:

Veličine	Broj
Naponi	3
Struje	3
Temperatura poklopca kotla	1
Temperatura na ulazu hladnjaka	4
Temperatura na izlazu hladnjaka	4
Temperatura okoline	1
Položaj regulacijske sklopke	1
Trajanje pogona regulacijske sklopke	1
Brzina strujanja ulja u hladnjaku	4
Brzina strujanja zraka u hladnjaku	4
Trajanje pogona uljnih pumpi	4
Trajanje pogona ventilatora	4
Vlaga u ulju	1
Vodik u ulju	1
Rezervni analogni ulazi	2
Rezervni digitalni ulazi	2
<b>Ukupno</b>	<b>40</b>

### 3.3. Mitsubishi Electric

**Mitsubishi Electric** također isporučuje sustave za motrenje. U opisu sustava za motrenje za 1000 kV-tni transformator navedena su sljedeća motrenja. Motri se šest plinova (CO, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> i C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>), te ukupni sadržaj zapaljivih plinova. Pomoću visoko-

frekventnog strujnog transformatora se motre parcijalna izbijanja, te ultrazvučne vibracije na površini kotla. Mjere se temperature (Pt100) ulja u transformatoru, regulacijskoj sklopki i okolini. Motri se razina ulja u konzervatoru i uspoređuje s računskim vrijednostima na temelju promjene temperatura. Regulacijska sklopka se dodatno motri pomoću mjernog pretvornika zakretnog momenta i mjerenjem struje motora. Osim toga, motri se i rashladni sustav.

#### 4. ODLUKA O KORIŠTENJU SUSTAVA MOTRENJA

Treba li određeni transformator motriti, ili ne, može se odlučiti na temelju matrice rizika. Pod rizikom se podrazumijeva umnožak vjerojatnosti događaja i posljedice tog događaja [3]. Kvalitativno se vjerojatnosti i posljedice mogu podijeliti u nekoliko kategorija (tablica 1).

Tablica 1. Matrica rizika

Rizik = vjerojatnost događaja x posljedice događaja					
Posljedice	Vjerojatnost				
	česta	vjerojatna	povremena	mala	neznatna
katastrofične	A	A	A	B	B
kritične	A	A	B	B	C
srednje	A	B	B	C	C
neznatne	A	B	C	C	C

A – visoki rizik (visoki prioritet)

B – srednji rizik (srednji prioritet)

C – mali rizik (mali prioritet)

Motriti treba prije svega transformatore s visokim rizikom. Ponekad je za odluku o uvođenju motrenja potrebna finija podjela unutar jedne grupe rizika. U tom slučaju treba kategorijama vjerojatnosti dodati ocjene od 1 do 5 (česta je 1, vjerojatna 2, itd.), a kategorijama posljedica ocjene od 1 do 4 (neznatna 4, pa do katastrofična 1). Umnoškom ocjena vjerojatnosti i posljedica dobije se (recipročna) ocjena rizika. Što je umnožak manji, rizik je veći, tj. prioritet veći.

Za sada još ne postoji model (alat) za ekonomsku analizu isplativosti motrenja, ali se na tome radi u radnim grupama CIGRE i IEEE.

#### 5. ODABIR VELIČINA MOTRENJA

Lista veličina koje se mogu motriti stalno raste. U tablici 2 dana je djelomična lista veličina koje se danas najčešće motre.

Tablica 2. Najčešće motrene veličine

1. naponi,
2. struje,
3. temperature,

4. plinovi otopljeni u ulju,
5. količina neotopljenih plinova,
6. vlaga u ulju,
7. vlaga u zraku,
8. tlak,
9. razina ulja u konzervatoru,
10. radna stanja ventilatora,
11. radna stanja uljnih pumpi,
12. protok zraka,
13. protok ulja,
14. položaj regulacijske sklopke,
15. snaga (struja) motora regulacijske sklopke,
16. prenaponi,
17. nadstruje

U [4] je nabrojano ukupno 66 veličina koje se danas mogu motriti. Pri odlučivanju što treba motriti može pomoći analiza kvarova. Ako ona ne postoji za određenu vrstu transformatora, ili određenu elektroprivrednu organizaciju, mogu poslužiti i međunarodne analize. U tablici 3 je npr. prikazana analiza koja se temelji na uzroku od preko 47 000 transformator godina [5]. U toj su analizi kvarovi transformatora sistematizirani po pojedinim dijelovima transformatora za koje je procijenjeno da su inicijalno sudjelovali u kvaru.

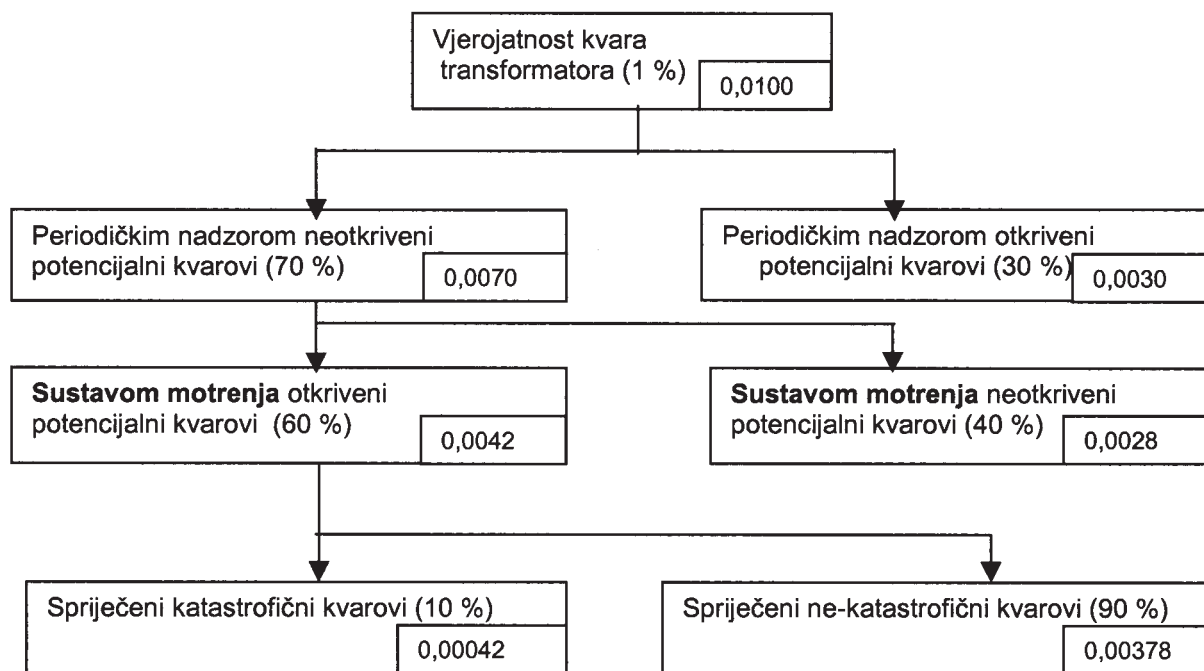
Tablica 3. Sistematizacija uzroka kvarova transformatora po dijelovima

Dio transformatora	Udio u kvarovima, %
Regulacijska sklopka	31
Namoti	23
Provodnici	16
Kotao i ulje	14
Ostala oprema	14
Jezgra	3

Vidimo da je udio regulacijske sklopke najveći, udio aktivnog dijela je na drugom mjestu, a provodnici su na trećem mjestu po uzroku kvara transformatora. To je dakle vjerojatnost kvara, a kakve su posljedice, elektroprivredna organizacija treba procijeniti sama. Na kraju se matricom rizika odabiru dijelovi transformatora ili veličine koje je opravdano motriti.

Na ovaj će se način odabrati dijelove i veličine za motrenje kada je jedini cilj smanjenje broja kvarova i smanjenje štete uzrokovane kvarovima. Ipak, treba imati na umu da se motrenjem ne mogu spriječiti svi kvarovi. Vrlo ilustrativna procjena dana je slikom 1.

Neke sporo razvijajuće pogreške mogu se otkriti i kvarovi spriječiti ili smanjiti posljedice kvara periodičkim nadzorom (npr. analizom plinova otopljenih u ulju) ili klasičnim sklopovima kao što su Bucholz-relej, kontakt-ni termometar i termoslika. Brzo razvijajuće pogreške i kvarovi ne mogu se spriječiti periodičkim nadzorom. Sustavom motrenja pokriven je gotovo cijeli vremenski interval nastajanja i razvijanja pogrešaka osim onih brzo



Slika 1. Vjerojatnost sprječavanja kvarova prema [6]

razvijajućih pogriješaka, koje ne ostavljaju dovoljno vremena za odgovarajuće protumjere.

Sustavima motrenja može se kvar spriječiti, ili smanjiti njegove posljedice, ako se na temelju motrenih veličina može predvidjeti kvar i ako je na raspolaganju dovoljno vremena za korektivne akcije.

Prema procjeni na slici 1, periodičkim nadzorom i sustavom za motrenje može se otkriti ukupno 72% potencijalnih kvarova (30% + 42%), a sustavom za motrenje spriječiti približno 42% svih kvarova transformatora, od toga 4,2% katastrofičnih.

U svim slučajevima motrenje omogućuje analizu uzroka kvara.

Ciljevi uvođenja motrenja nisu samo sprječavanje kvarova, smanjenje posljedica kvarova i umanjeње broja neplaniranih ispada. Ciljevi mogu biti različiti i višestruki, pa njima treba prilagoditi izbor motrenih veličina (npr. mjerenje temperatura i struja za određivanje najtoplije točke namota sa svrhom računanja dinamike preopterećenja, potroška vijeka trajanja, itd.).

Slijede kratke natuknice za pomoć pri izboru mjernih veličina i parametara za motrenje:

#### Temperatura ulja

Pregrijavanje ubrzava starenje izolacije i može uzrokovati kvar transformatora. Mjerenjem temperature ulja, uz mjerenje temperature okoline, struje, te rada ventilatora i pumpi, može se odgovarajućim algoritmom izračunati temperatura najtoplije točke namota koja određuje brzinu starenja izolacije. Osim toga, moguća je i kontrola djelotvornosti i ispravnosti rashladnog

sustava uspoređivanjem izmjerene i izračunate (matematički model) vrijednosti temperature ulja u najvišem sloju.

#### Temperatura najtoplije točke namota

Najznačajnija temperatura u transformatoru koja određuje vijek trajanja izolacije transformatora. Može se izravno mjeriti posebnim termometrima. Najperspektivniji su svjetlovodni termometri. No, za sada se još ne ugrađuju u sustave za motrenje, pa se temperatura najtoplije točke računa algoritmom na temelju pojednostavljenog matematičkog modela, prema normi [7] ili [8].

#### Struja opterećenja

Maksimalno opterećenje transformatora ograničeno je zagrijanjem namota, odnosno brzinom starenja izolacije. Velika preopterećenja (struje kratkog spoja) ugrožavaju mehanički integritet aktivnog dijela transformatora. Motrenje struje omogućava procjenu temperature najtoplije točke namota, brzinu starenja izolacije, dozvoljeno preopterećenje i potrošak vijeka trajanja transformatora.

#### Napon

Motrenjem napona i struje računa se opterećenje transformatora. Naponska čvrstoća izolacije je ograničena. Prenaponi ugrožavaju izolaciju. Mjerenjem napona na mjernom priključku provodnika moguće je motriti i stanje provodnika.

#### Plinovi u ulju

Analiza plinova u ulju dokazala se u praksi kao pouzdana dijagnostička metoda za otkrivanje po-

grješaka i potencijalnih kvarova. Motrenjem plinova u ulju dobiva se signal upozorenja za potrebu detaljnije kromatografske analize plinova otopljenih u ulju, tj. premošćuje se interval neznanja između planiranih periodičkih ispitivanja. Time se smanjuje rizik da se potencijalni kvar ne otkrije pravodobno. Za kritične transformatore motrenje plinova u ulju omogućuje podešavanje opterećenja transformatora sa svrhom izbjegavanja razvijanja mjehurića plina uzrokovanih pregrijanjem, a omogućuje i razdvajanje izvora plinova na one koji su ovisni o opterećenju i one koji ne ovise o opterećenju (dijagnoza).

Porast vodika upućuje na parcijalna izbijanja, pregrijavanje u magnetskom krugu, opće pregrijavanje, lokalno pregrijavanje namota, iskrenje u ulju, električke i mehaničke kvarove uljnih pumpi, itd. Vidimo da razvijanje vodika poraste kod praktički svih unutarnjih kvarova transformatora.

#### *Vlaga*

Vlaga je čest uzrok kvara provodnika i samog transformatora. Ona nastaje pri degradaciji uljno-papirne izolacije i ubrzava starenje izolacije, pa je uz temperaturu i kisik ključna za procjenu brzine starenja. No, rijetki su algoritmi za procjenu starenja koji njen utjecaj uzimaju u obzir. Motrenjem vlage u zraku konzervatora može se nadzirati ispravnost dehidrataora.

#### *Parcijalna izbijanja*

Parcijalna izbijanja vrlo često prethode proboju izolacije. Parcijalna izbijanja se pojavljuju kao posljedica povišenja napona, oštećenja izolacije, vlage u izolaciji, šupljina u čvrstoj izolaciji, slobodnih metalnih dijelova, i mjehurića plinova u ulju. Parcijalna se izbijanja mogu mjeriti električkim metodama, koje se za sada rijetko rabe za motrenje zbog utjecaja smetnji okoliša te otežane dijagnostike. Akustičke metode su nešto manje osjetljive, ali su manje osjetljive i na smetnje. Postoje akustički osjetnici (senzori) koji se ugrađuju u transformator i oni koji se prigraduju izvan na kotao transformatora. Ovi zadnji su osjetljiviji na vanjske smetnje (kiša, vjetar, olabavljeni dijelovi koji vibriraju, buka jezgre, ventilatori). Parcijalna izbijanja su u pravilu popraćena generiranjem vodika, pa je motrenje vodika za sada najpouzdanija metoda koja upozorava na pogriješku u izolaciji.

#### *Rashladni sustav*

Najčešći uzrok kvara rashladnog sustava je kvar ventilatora ili pumpi. Za pouzdanu informaciju o ispravnosti ventilatora i pumpe nije dovoljno motriti jesu li uključene ili ne, nego da li i koliku struju troše. Drugi način motrenja ispravnosti ventilatora i pumpi jest mjerenje protoka hladila, ili razlike temperatura hladila (ulja, te zraka ili vode) na ulazu i izlazu hladnjaka. Praćenje statusa ventilatora i pumpi omogućuje modeliranje rashladnog sustava, tj. temperature ulja u najvišem sloju (modelno motrenje).

#### *Razina ulja u konzervatoru*

Motrenjem razine ulja u konzervatoru se otkriva eventualno propuštanje ulja u sustavu. Za pouzdanije odluke potrebno je mjerenu razinu ulja korigirati odgovarajućim algoritmom ovisno o temperaturi ulja.

#### *Regulacijska sklopka*

Najčešći uzrok kvara transformatora je regulacijska sklopka. Osim toga, održavanje regulacijske sklopke je vrlo skupo. Zato je motrenje regulacijske sklopke opravdano i poželjno. Time se smanjuju troškovi održavanja i povećava raspoloživost transformatora. Postoje različiti SMN za regulacijske sklopke.

#### *Provodnici*

Kvarovi provodnika su treći po učestalosti uzrokovanja ispada transformatora. Zato je motrenje provodnika opravdano. Najčešći mehanizmi kvara su prodor vlage i parcijalna izbijanja. Najčešće se motre promjene kapaciteta i faktora gubitaka. Promjena pritiska u provodnicima također može signalizirati kvar provodnika.

## 6. PREPORUKE

Sustav za motrenje treba biti modularan kako bi se relativno lako mijenjao i dopunjavao. Od isporučitelja treba zatražiti jasne podatke što se jamči, tko jamči, kako dugo, koja je trajnost sustava (u pravilu trećina ili četvrtina trajnosti transformatora), kakvo je održavanje potrebno, te o mogućim dogradnjama hardvera i softvera. Insistirati treba na temeljitoj i potpunog dokumentaciji o sustavu (hardvaru i softveru).

Mjerni pretvornik se sastoji od osjetnika i prilagodnika. On pretvara mjerenu veličinu u električku normiziranu istosmjernu analognu veličinu (od 0 mA ili 4 mA do 20 mA, ili od 0 V do 10 V), ili u normiziranu digitalnu veličinu. Signalni izlaz treba biti "plivajući" (neovisan o uzemljenju).

Osjetnik (senzor) je dio mjernog pretvornika (ili mjernog sustava) koji je izravno izložen djelovanju mjerene veličine i u pravilu mjernu veličinu pretvara u razmjernu električku veličinu.

Prilagodnik može prilagođavati razinu analognog signala, ili pretvarti analogni u digitalni signal (A/D pretvornik), što ovisi o vrsti normiziranog izlaza.

Proizvođači sustava za motrenje naglašavaju da se odluke donose na temelju **promjena** ključnih veličina s vremenom, pa često specificiraju samo razlučivost (ili preciznost) i izbjegavaju specificirati točnost mjernih pretvornika. To operatera dovodi u nedoumicu (otežava odlučivanje) kada se mjerni rezultati sustava upravljanja i zaštite razlikuju od mjernih rezultata sustava motrenja. Da bi se izbjegle nedoumice (koje mogu biti kobne u kritičnim situacijama), potrebno je zahtijevati od proizvođača sustava motrenja granične pogriješke mjernih pretvornika te mjerne nesigurnosti rezultata mjerenja i računa.

Kada se odabire sustav motrenja za stari transformator treba voditi računa o načinu instaliranja osjetnika. Osjetnici mogu biti:

- prigradni (npr. kapacitivno djelilo na provodniku, ili Pt100 za postojeći džep),
- dogradni (npr. Hydran, Calisto),
- ugradni (npr. obuhvatni strujni transformator, svjetlovodni termometar najtoplije točke namota).

Dok se prigradni osjetnici relativno lako instaliraju na stari transformator, ugradni se mogu ugraditi samo u tvornici.

Posebnu pozornost treba obratiti na zadovoljenje uvjeta elektromagnetske kompatibilnosti [9] zbog mogućih lažnih uzbuna i oštećenja, kao i zadovoljenje normi za energetska postrojenja [10].

Za sada se preporučuje da sustav za motrenje bude odvojen od sustava zaštite i upravljanja [11], ali se u budućnosti očekuje njihova integracija u jedinstven sustav [12].

Sustav za motrenje se u pravilu dograđuje u postojeću lokalnu komunikacijsku mrežu transformatorske stanice (LAN – Local Area Network). Ako komunikacijska mreža ne postoji – treba ju izgraditi. Pri tome treba imati u vidu sljedeće.

U pravilu normirani analogni ili digitalni signali s mjernih se pretvornika prenose do ormarića SM-a (koji je smješten na transformatoru) oklopljenim paricama ili koaksijalnim kabelima. Izlazni signali pametnih mjernih pretvornika najčešće su kodirani digitalni signali koji se prenose serijskom komunikacijskom vezom (RS-232, RS-485) ili rjeđe svjetlovodom.

U ormariću SM-a nalazi se mikroprocesor ili više njih za obradu, sažimanje i kratkotrajnu pohranu podataka, za pretvorbu analognih u digitalne signale, te za prevođenje na odgovarajuće komunikacijske sustave i protokole. U njemu su također svi priključni blokovi, sučelja i termostat. Ormarić SM-a je, preko servera SM-a, priključen na komunikacijsku mrežu transformatorske stanice. Preporučuje se da je ormarić SM-a povezan sa serverom SM-a pomoću svjetlovoda (optičkog kabela), a da se za komunikaciju koristi TCP/IP skup protokola (Transmission Control Protocol/ Internet Protocol).

Sustav za motrenje komunicira s ostalim sustavima (npr. SCADA-om) preko servera SM-a.

Moguć je pristup sustavu motrenja i izvan LAN-a s npr.: Internet-om, ISDN-om (Integrated Service Digital Network), modemom (analognom telefonskom mrežom), GPRS-om (General Packet Radio Service), WLAN-om (Wireless LAN). U tim slučajevima treba predvidjeti sigurnosne mjere protiv neovlaštenih pristupa sustavu motrenja (LAN-u) odgovarajućim projektiranjem komunikacijske mreže sa stanovišta sigurnosti. Treba osigurati centralizirani pristup s Interneta kroz zaštitnu barijeru – firewall, i odvojiti HTTP server pomoću zaštitne barijere od sustava za

motrenje. Umjesto HTTP-a (Hyper Text Transfer Protocol) koji je nezaštićen, treba koristiti sigurni HTTP (HTTPS), koji osigurava dodatnu zaštitu prometa šifriranom komunikacijom, te koristiti jednokratne lozinke (Onetime password). U slučaju korištenja pristupa pomoću ISDM-a ili modema, treba osigurati provjeru dolaznog poziva (provjera broja koji zove), korištenje povratnog poziva (callback), te jednokratne lozinke. Sve pristupne tehnologije (Internet, ISDN,...) treba sustavno nadzirati i kontrolirati (IDS – Intrusion detection sistem, Audit, Logging).

Uz kvalitetne sklopove samog sustava za motrenje za rad SM-a od presudne je važnosti i kvalitetna komunikacijska mreža. Osim toga, ne smije se zaboraviti na sigurnosnu pohranu podataka – backup (oprema, programska podrška i definiranje postupaka), te na lak pristup pohranjenim podacima za naknadne analize.

Nakon instaliranja sustava za motrenje korisniku ostaje problem postavljanja graničnih vrijednosti za uzbunjivanje (alarme) niza mjernih veličina, koji nije lak jer se kriteriji određuju na temelju ekspertnih znanja i moraju se prilagoditi svakom pojedinačnom transformatoru, a uz to ne ovise samo o nesigurnosti mjerenja u laboratorijskim uvjetima nego i povećanoj nesigurnosti mjerenja na terenu. Za tumačenje mjernih rezultata i dijagnozu nužna je tijesna suradnja proizvođača transformatora, proizvođača sustava za motrenje i korisnika. Proizvođači sustava za motrenje u pravilu izbjegavaju specificirati točnost mjerenja (podatak o preciznosti nije dovoljan), što još više otežava određivanje graničnih vrijednosti za uzbunjivanje.

## 7. ZAKLJUČAK

Uskoro će tržišni uvjeti prisiliti elektroprivredne organizacije da opterete svoje elektroenergetske sustave do nazivnih vrijednosti (i preko njih), pa će se odluke operatera morati temeljiti na točnim i aktualnim (real-time) informacijama o stanju i opteretivnosti elektroenergetskog sustava i objekata. Takve informacije dobivat će od modernih (mikroprocesorskih) sustava za motrenje, koji će rano upozoravati na potencijalne probleme, predlagati optimalna rješenja za nastupajuće probleme i omogućavati jeftinije održavanje na temelju stanja, a ne unaprijed planiranih vremenskih intervala.

Izbor opreme za motrenje treba prilagoditi potrebama i mogućnostima, a na temelju analize rizika, važnosti transformatora, njegovog stanja i starosti, uvjeta pogona, učestalosti pojedinih kvarova, itd. Troškove uvođenja nove opreme za motrenje treba uspoređivati s troškovima koji bi nastali kvarom razmatranog transformatora – a mogli bi se izbjeći ili smanjiti primjenom nove opreme.

Nakon instaliranja sustava za motrenje korisniku ostaje problem postavljanja graničnih vrijednosti za uzbunjivanje (alarme) niza mjernih veličina, koji nije

lako riješiti jer se kriteriji postavljaju na temelju ekspertnih znanja i moraju se prilagoditi svakom pojedinačnom transformatoru uzimajući u obzir nesigurnosti mjerenja na terenu. Za tumačenje mjernih rezultata i dijagnozu nužna je tijesna suradnja proizvođača transformatora, proizvođača sustava za motrenje i korisnika.

Osim ugradnje sustava za motrenje na nove transformatore, poželjno je klasičnu opremu na starim transformatorima dopunjavati ili zamjenjivati suvremenom mikroprocesorskom opremom za motrenje – radi koristi koje motrenje donosi i radi stjecanja iskustava i povjerenja, jer svaka promjena treži eksperimentalnu provjeru.

## LITERATURA

- [1] BS-7986:2001, Specification for data quality for industrial measurement and control systems
- [2] Z. GODEC, "Mikroprocesorsko motrenje i zaštita energetskih transformatora", ref. 12-02, 4. simpozij HK CIGRE, Cavtat, listopad 1999.
- [3] W. J. BERGMAN, "Equipment monitoring selection as a part of substation automation", Circuit Breaker Monitoring IEEE Switchgear Meeting, Pittsburgh, PA, November 11, 1999.
- [4] IEEE guide for application of monitoring to liquid-immersed transformers and components, IEEE P C57.143, Draft 10, October 2001.
- [5] An international survey on failures in large power transformers in service, Electra 88, May 1983, 21-48.
- [6] J. AUBIN, A. BOURGAULT, C. RAJOTTE, P. GERVAIS, "Profitability assessment of transformer on-line monitoring and periodic monitoring", stručni seminar "Monitoring transformatora", Elektrotehničko društvo, Zagreb, 28. studenoga 2002.
- [7] IEC 60354: 1991, Loading guide for oil-immersed power transformers.
- [8] IEEE Std C57.91-1995, IEEE Guide for loading mineral-oil-immersed transformers.
- [9] Guide on EMC in power plants and substations, CIGRE Brochure 124, Working Group 36.04, December 1997.
- [10] HRN EN 50178: 2001, Elektronička oprema za uporabu u energetskim instalacijama.
- [11] Empfehlungen der Verbundunternehmen für Monitoring systeme an Grosstransformatoren, Deutsche Verbundgesellschaft E.V., Heidelberg, März, 1998.
- [12] IEC 61850 serija: Communication networks and systems in substations

## ON-LINE MONITORING SYSTEMS OF OIL TRANSFORMERS

On-line monitoring is automated supervision. Benefits and scope of transformer on-line monitoring, choice of transformers and quantities that are going to be monitored should be determined by transformer owner. Short review on transformer on-line monitoring systems is given as well as the most common quantities that should be monitored, and directives for selection of a monitoring system.

## ÜBERWACHUNGSSYSTEME MONITORINGSYSTEME VON ÖLUMSPANNERN ÖLTRANSFORMATOREN

Die Online-Überwachung (on-line monitoring) der Ölumspanner ist weitgehend automatisierte Überwachung. Über die Nutzen und Zwecke der Online-Überwachung, über die Auswahl von Ölumspannern Öltransformatoren zur Online-Überwachung und über die zu überwachenden Meßgrößen, soll entscheidet der Inhaber von Umspannern Öltransformatoren entscheiden. Gegeben werden ein kurzer Überblick des Überwachungssystems Monitoringsystems, der am häufigsten überwachten Meßgrößen, sowie die Empfehlungen worauf, bei der Wahl des Überwachungssystems Monitoringsystems, besonders zu beachten ist.

Naslov pisaca:

**Prof. dr. sc. Zdenko Godec, dipl. ing. Končar – Institut za elektrotehniku, Fallerovo šetalište 22, 10000 Zagreb, Hrvatska i Elektrotehnički fakultet, Kneza Trpimira 2b, Osijek, Hrvatska**  
**Denko Godec, dipl. ing. HT mobilne komunikacije, Sektor za razvoj usluga i tehnologija, Ulica grada Vukovara 23, 10000 Zagreb, Hrvatska**

Uredništvo primilo rukopis:  
2004 – 01 – 05.