

Računarski program za monitoring transformatora bloka 1 termoelektrane Nikola Tesla B

Nikola Miladinović, Aleksandar Nikolić, Aleksandar Žigić, Radoslav Antić, Vladimir Polužanski

Centar za elektromeremja
Elektrotehnički Institut Nikola Tesla
Beograd, Srbija
nikola.miladinovic@ieent.org

Sadržaj—U radu je prikazan računarski program za monitoring temperatura i sadržaja gasova u ulju blok transformatora u termoelektrani TENT-B. Program, instaliran na industrijskom PC računaru koji se nalazi u komandi bloka elektrane, vrši akviziciju podataka sa sistema za termosliku i sa sistema za monitoring sadržaja gasova u ulju transformatora. U okviru programa omogućen je prikaz svih parametara transformatora, grafički prikaz podataka, izvoz podataka, arhiviranje svih parametara u relacionu bazu podataka, prikazivanje opomenskih i alarmnih vrednosti, podešavanje granica, podešavanje parametara komunikacije sa uređajima. Aplikacija je urađena u programskom jeziku Visual C#, a sistem za upravljanje bazama podataka je MySQL. Sistem je povezan u lokalnu računarsku mrežu termoelektrane, te je omogućen i daljinski pristup kako inženjerima održavanja elektrane, tako i laboratoriji Instituta preko Interneta. Na ovaj način se unapređuje procena pogonskog stanja transformatora, povećava mogućnost pravovremenog detektovanja anomalija i smanjuje rizik od neplaniranih isključenja i/ili havarije. (Abstract)

Ključne reči— monitoring, računarski program, energetski transformator, temperatura transformatora, sadržaj gasova u ulju transformatora, baza podataka (key words)

I. UVOD

Energetski transformatori su veoma značajne komponente u elektroenergetskom sistemu, kako na strani proizvodnje tako i na strani prenosa i distribucije i imaju ogromnu upotrebnu vrednost samo onda kada ispravno rade. Veliki energetski transformatori danas predstavljaju najveće investicije u elektroenergetskim sistemima. Iz tih razloga praćenje stanja i upravljanje transformatora je od najvišeg prioriteta. Prosečni vek velikih energetskih transformatora je često i duži od 40 godina. Takva situacija zahteva najbolji pristup upravljanju i praćenju postojećeg stanja kako bi se izvukla maksimalna vrednost od raspoložive opreme, a da se pri tome održi pouzdanost do zahtevanih standarda [1].

U radu je opisan računarski program za monitoring transformatora koji obuhvata on-line praćenje termoslike i upravljanje hlađenjem blok transformatora 1AT snage 750MVA i on-line praćenje trenda gasova u ulju blok transformatora 1AT, on-line praćenje termoslike transformatora sopstvene potrošnje 1BT i transformatora opšte grupe OBT u termoelektrani TENT-B u Obrenovcu. Prikazani su kratak opis sistema za kompleksni monitoring, korišćeni

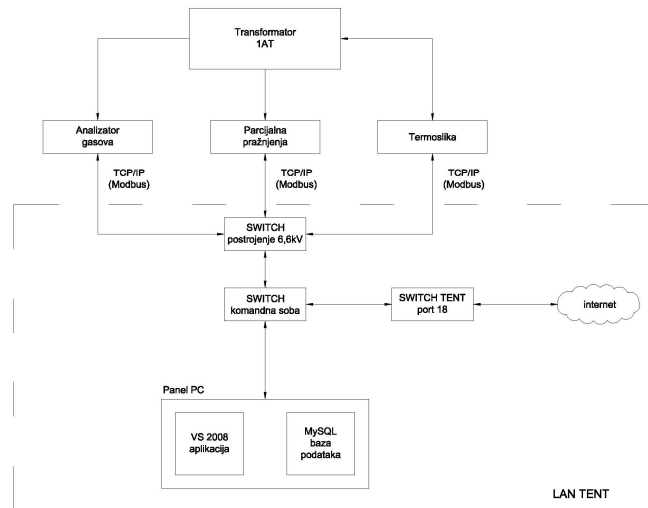
alati, primenjeni komunikacioni protokol i kratak opis aplikacije.

II. OPIS SISTEMA ZA MONITORING

A. Opis sistema

Na slici 1 je prikazan blok dijagram sistema monitoringa energetskog transformatora uključujući i aplikaciju za akviziciju i vizuelizaciju [2]. Sistem se sastoji iz sledećih celina:

- -On-line monitoringa temperatura transformatora,
- On-line monitoringa gasova u ulju transformatora,
- On-line monitoringa parcijalnih pražnjenja transformatora (realizacija u toku),
- Aplikacije za monitoring, vizuelizaciju i izveštavanje.



Slika 1. Blok dijagram sistema on-line monitoringa

Komunikacija aplikacije i hardvera za monitoring temperatura i hardvera za analizu gasova u ulju se vrši preko Ethernet mreže putem TCP/IP Modbus protokola. U primenjenom protokolu aplikacija je master (inicira komunikaciju), a hardveri za termosliku i analizu gasova su slave- ovi (odgovaraju na komunikaciju). Hardver za termosliku je baziran na opremi National Instruments, a softver

i podešavanje je uradio Institut. Hardver za analizu gasova je napravila firma Serveron sa gotovim softverom, dok je Institut izvršio ugradnju i podešavanje. Aplikaciju za monitoring, vizuelizaciju i izveštavanje koja se nalazi na Panel PC-u u komandi bloka je realizovao Institut. Sistem je povezan u LAN mrežu termoelektrane, a odatle i na Internet, tako da je omogućen daljinski pristup do podataka pomoću softvera za daljinski pristup (TeamViewer) i pomoću specijalizovanog softvera za očitavanje gasova u ulju transformatora (TMView).

B. On-line monitoring temperature transformatora

Termički procesi u transformatoru se manifestuju promenom temperature njegovih delova. S obzirom da je transformator fizički složeno telo, temperaturno polje unutar njega ima trodimenzionalni karakter i jako zavisi od oblika i konstrukcije transformatora. Posedovanje precizne i pogodne metode za izračunavanje temperature u karakterističnim tačkama (najtoplija tačka i ulje na vrhu transformatorskog suda ili ulje na izlazu gornjih delova namotaja) je značajno i u fazi planiranja investicija i u fazi eksploatacije. U fazi planiranja, kada se na osnovu tehnološkog procesa ili iskustveno može definisati dnevni dijagram potrošnje, može se optimalno dimenzionisati transformator. U eksploataciji, za transformator se može proceniti prihvatljivost planiranog preopterećenja (jednokratnog u vanrednim uslovima ili svakodnevnog sa povećanim opterećenjem).

Najveći interes pri određivanju raspodele temperatura namotaja postoji za najtopliju tačku transformatora (tzv. hot-spot). Ova temperatura je kritična pri opterećivanju transformatora, osim toga to je faktor merodavan za određivanje starenja izolacije transformatora. Ona je retko dostupna merenju, pa se zato određuje indirektno primenjujući formule iz odgovarajućeg standarda, a ređe direktnim merenjem primenom optičkih vlakana, što se za sada primenjuje samo kod najvećih transformatora [3], [4].

Savremeno rešenje za kontinualni (on-line) monitoring temperature transformatora (tzv. termoslika) se bazira na mikroprocesorskim uređajima koji omogućavaju jednostavnu primenu diferencijalne jednačine bazirane na standardu IEC 60076-7 za izračunavanje temperature vruće tačke.

Uređaj koji je ugrađen na TENT-B kao senzore koristi standardne Pt100 temperaturne sonde u četvorožičnom spoju, a ukupno ih je ugrađeno 18 komada, dok su tri postojeća merenja temperature takođe uvedena u novi merni sistem. Kod transformatora sopstvene potrošnje IBT i transformatora opšte grupe OBT temperatura ulja meri se na dva mesta na vrhu transformatora iznad svakog sekundara. Kod blok transformatora 1AT meri se temperatura gornjeg ulja u jednoj tački na vrhu transformatorskog suda. Za rashladne grupe H1 do H4 koje se nalaze uz transformator temperatura ulja meri se na ulazu i izlazu iz rashladne grupe, dok se za rashladne grupe H5 do H8 temperatura meri samo na izlazu iz rashladne grupe. Takođe se meri i temperatura ambijenta (senzor montiran na bočnom zidu uz transformator).

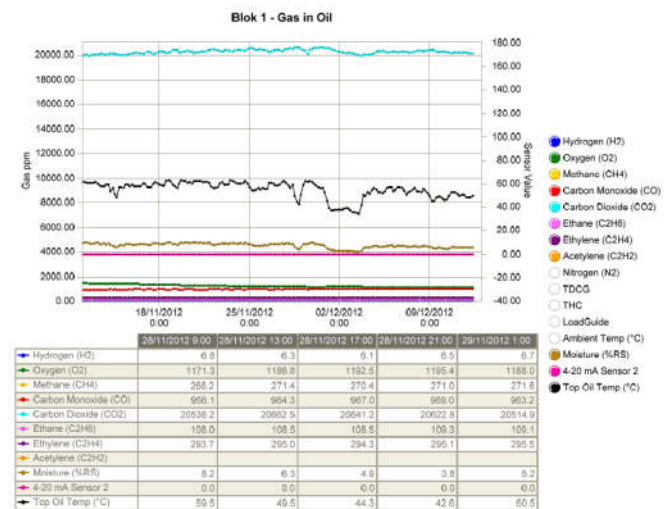
Signali sa senzora za merenje temperature kao i signali sa mernih strujnih transformatora se uvode u orman industrijskog PLC-a. PLC je tipa NI-eRIO, modularni sistem u koji se ugrađuju odgovarajući merni i ulazno/izlazni moduli prema

potrebi korisnika. Za ovaj sistem je upotrebljen jedan merni modul tipa NI9203 sa 10 diferencijalnih analognih ulaza, pet 4-ro kanalnih RTD modula tipa NI 9217 za direktno povezivanje sa Pt100 senzorima, jedan digitalni izlazni modul NI 9477 sa 32 izlaza naponskog nivoa 0-60V i jedan digitalni ulazni modul tipa NI 9425 sa 32 kanala za napone do 24V [2], [5].

C. On-line monitoring gasova u ulju transformatora

Jedan od najboljih pokazatelja sveukupnog stanja transformatora koji je danas u praktičnoj primeni je gasna analiza transformatorskog ulja (DGA - Dissolved Gas Analysis). Za on-line detekciju gasova u ulju primenjeno je rešenje na bazi gasnog hromatografa i odgovarajućeg industrijskog računara montiranih u orman u IP65 zaštiti tako da zajednički formiraju tzv. monitor uz prateću opremu. Na monitor se dovodi ulje iz transformatora koje se uzima sa gornje tačke transformatora na svaka 4 sata radi uzorkovanja, dok se povratno vraća u donji deo suda transformatora. Cirkulacija ulja je obezbeđena odgovarajućom pumpom koja je u sastavu monitora. Pored ovog ormara nalazi se i razvodna kutija za prihvatanje mernih i komunikacionih signala sa dodatnih senzora (merenje temperature i vlage ulja u transformatoru, merenje struje opterećenja transformatora). Omogućena je Ethernet i RS485 komunikacija sa nadređenim sistemima i protokoli Modbus i DNP3, a u našoj primeni smo iskoristili Ethernet komunikaciju i Modbus protokol. Za potrebe rada gasnog hromatografa koristi se helijum koji se nalazi u boci pored monitora.

Glavni rezultati merenja kao i statusi uređaja su dostupni preko Ethernet mreže putem TCP/IP modbus protokola na panel PC-ju u komandnoj sobi elektrane, a za detaljniju analizu se koristi softver proizvođača TMView čiji se rezultati očitavaju preko Ethernet mreže. Obzirom da je uređaj direktno povezan na LAN mrežu elektrane, korišćenje TMView-a je omogućeno i iz Instituta. Primer rezultata analize pomoću ovog softvera je dat na slici 2 [6], [7].



Slika 2. Prikaz analize gasova u programu TMView

III. RAČUNARSKI PROGRAM ZA MONITORING

A. Protokol za komunikaciju i spisak mernih kanala

Računarski program komunicira sa hardverom za termosliku i hardverom za analizu gasova u ulju preko komunikacionog TCP/IP Modbus protokola. Spisak mernih kanala obuhvata struje, temperature vruće tačke, temperature ulja, temperature rashladnih grupa, statuse rashladnih grupa, sadržaje gasova rastvorenih u ulju i statuse sistema za monitoring gasova.

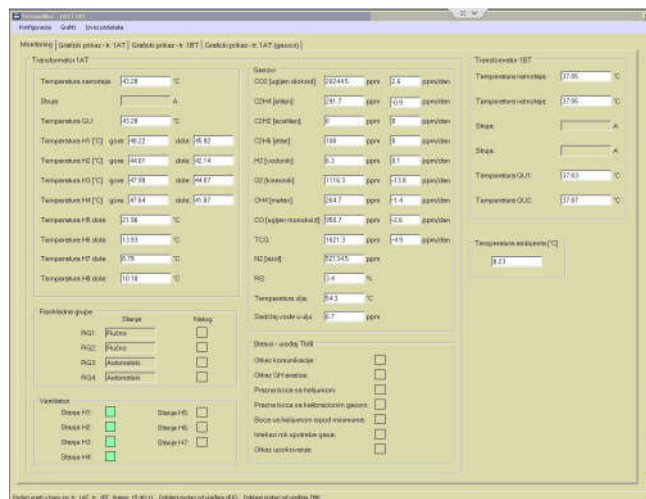
B. Računarski program

Za izradu aplikacije je korišćen programski jezik Visual C#, razvojno okruženje .NET i razvojni alat Visual Studio 2008. Razvojno okruženje .NET predstavlja moderno razvojno okruženje koje poseduje biblioteku osnovnih klasa koja sadrži klase za pristup raznim bazama podataka, za rad sa XML fajlovima, Web formama, Windows formama. Omogućava automatsko upravljanje memorijom, upotrebu višestrukih kopija dll-a, korišćenje različitih programskih jezika, povezivanje različitih sistema kroz Remoting i Web servise, jednostavnu distribuciju aplikacije. Visual C# spada u objektno-orijentisane programske jezike i izvorno je pisan za .NET platformu. Omogućava korišćenje COM (Component Object Model) objekata, automatizaciju Word-a i Excel-a, proširivost novim objektima. Postoji veliki broj dodatnih biblioteka, a jedna od njih je iskorišćena u aplikaciji za iscertavanje grafika [8].

Klijentska aplikacija omogućava akviziciju i prikaz svih relevantnih mernih kanala za termosliku, uključujući izračunatu temperaturu vruće tačke i statuse rashladnih grupa. Prikaz podataka se vrši tablearno, grafički i na blok šemi. Svi podaci se unose u bazu podataka, tako da je moguć izvoz podataka u MS Excel (gde se mogu vršiti analize dobijenih podataka). Ovo omogućava brz i efikasan uvid u termičko i hemijsko stanje transformatora. Model baze podataka sadrži 5 tabela. Struktura baze podataka nije složena, ali je baza neophodna zbog arhiviranja velikog broja podataka. Za sistem za upravljanje bazom podataka izabran je MySQL, verzija 5.1, čije su se performanse u potpunosti pokazale odgovarajućim za ovu primenu [9], [10].

1) Glavni prozor korisničkog interfejsa

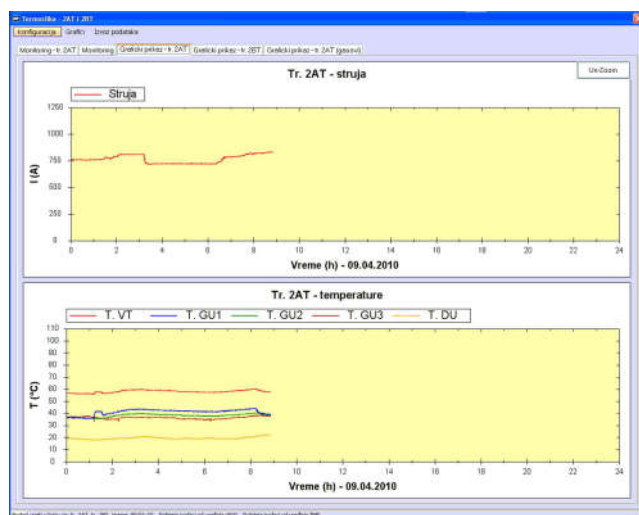
Na slici 3 je prikazan glavni prozor korisničkog interfejsa aplikacije koja se izvršava na panel PC-ju u komandi bloka elektrane, gde su prikazane vrednosti i statusi svih mernih kanala i nalozi za uključivanje rashladnih grupa. Perioda osvežavanja podataka je 20 sekundi, što je sasvim dovoljno, jer je proces takav da nema brzih skokovitih promena vrednosti.



Slika 3. Prikaz svih parametara sistema monitoringa

2) Grafički prikaz podataka

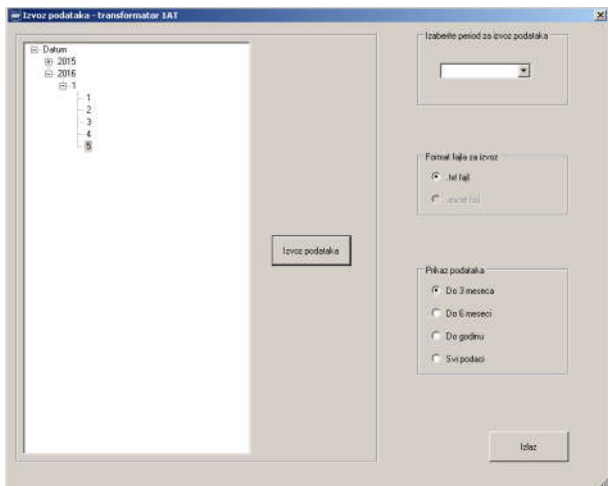
Radi bržeg uočavanja trenda promena rezultata merenja omogućen je grafički prikaz podataka. Vršni se grafički prikaz podataka na dnevnom nivou (slika 4), a postoji i posebna forma u okviru koje se bira vremenski interval u kome se vrši grafički prikaz.



Slika 4. Grafički prikaz parametara transformatora na dnevnom nivou

3) Izvoz podataka

Veoma često dolazi do potrebe za detaljnijom analizom rezultata merenja u nekom od programa za analizu (Matlab, MathCad, MS Excel). U tom slučaju se vrši izvoz podataka biranjem datuma ili vremenskog intervala i formata fajla za izvoz, slika 5. Podržani su izvoz u .txt fajl i .xls fajl, podaci su pravilno formatirani, tako da ih je nakon toga moguće uvesti u bilo koji specijalizovani program za analizu ili koristiti MS Excel u čiji fajl format je podržan automatski izvoz.



Slika 5. Izvoz podataka

4) Granične vrednosti za koncentracije gasova transformatorskog ulja

Nakon nekoliko meseci eksploatacije, vršena je analiza vrednosti gasova koje je merio uređaj za on-line monitoring gasova. Pri analizi je korišćen odgovarajući standard [11] i merenja iz uzoraka ulja u Akreditovanoj laboratoriji Instituta Nikola Tesla, a koja se nalaze u arhivi Instituta. Kao rezultat analize definisane su granične vrednosti za gasove. Definisane su opomenske i alarmne vrednosti za izmerene vrednosti i za dnevne promene parametara. Promena u toku dana je bitna jer može da pokaže da je počeo neki proces u izolaciji transformatora. Nakon toga su granice implementirane u aplikaciji, slika 6 i omogućena je odgovarajuća vizualizacija. Sada je moguće u kontrolnoj sobi bloka 1 na realizovanoj aplikaciji odmah videti da li postoje gasovi sa opomenskim i alarmnim vrednostima, slika 7.

Granice za gasove - Alarm i opomene				
	Opomena - ppm	Opomena - ppm/dan	Alarm - ppm	Alarm - ppm/dan
Vodoni (H ₂)	400	2	800	5
Kiselinik (O ₂)	OFF	OFF	OFF	OFF
Metan (CH ₄)	200	2	400	6
Ugljen monoksid (CO)	2000	40	2500	60
Ugljen dioksid (CO ₂)	OFF	110	OFF	OFF
Etan (C ₂ H ₆)	150	2	300	5
Etilen (C ₂ H ₄)	100	2	200	6
Aceilen (C ₂ H ₂)	2	0.5	5	1
TCG	2500	80	3000	100

Upis granice

Legenda na prvoj strani za nivo gasove (ppm i ppm/dan)

- Svi gasovi imaju dozvoljenu vrednost:
- Barem jedan od gasova ima opomensku vrednost:
- Barem jedan od gasova ima alarmnu vrednost:
- Nema podataka za nivo gasove:

Legenda na drugoj strani za pojedinačne gasove (ppm i ppm/dan)

- Gas ima dozvoljenu vrednost:
- Gas ima opomensku vrednost:
- Gas ima alarmnu vrednost:
- Nema podataka za gas:

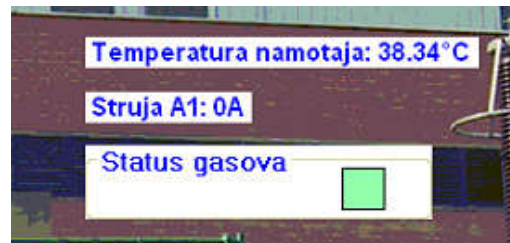
Legenda na drugoj strani za status gasova

- Status uključjen:
- Status isključjen:

Izlaz

Slika 6. Granične vrednosti sadržaja gasova u ulju

Ako bilo koji gas ima alarmnu vrednost, status je crvene boje, ako bilo koji gas ima opomensku vrednost status je žute boje, a ako su svi gasovi u regularnim granicama, onda je zelene boje.



Slika 7. Indikator statusa svih gasova

IV. ZAKLJUČAK

Značaj realizovanog sistema za monitoring se ogleda u podizanju efikasnosti praćenja normalnog rada transformatora i predviđanju eventualnih havarijskih stanja, kao i efikasnijem preventivnom održavanju uvidom u sve neophodne parametre. Ceo sistem je funkcionalno objedinjen u celinu na nivou panel računara sa računarskim programom i bazom podataka.

Mogućnost daljinskog nadzora daje celom sistemu dodatnu mogućnost unapređenja, obzirom da se osim iz komandne sale bloka termoelektrane ceo sistem prati i iz Instituta radi dodatnih analiza i tumačenja čime je vreme potrebno za analize i ispitivanje transformatora značajno skraćeno. Kako je u slučajevima havarijskih stanja elektroenergetskih postrojenja efikasnost odluka i realizacija od prioritarnog značaja, to je i značaj ovako primenjenog rešenja veliki.

U cilju daljeg unapređenja planirano je povezivanje sistema za temperaturni monitoring na nadređeni sistem, a to je SCADA (Scalable Control and Data Acquisition) bloka 1, čime bi najbitniji signali sistema za monitoring bili vidljivi u okviru centralnog nadzornog sistema bloka.

LITERATURA

- [1] Studija "Savremene metode i uređaji za ispitivanje, monitoring i dijagnostiku stanja energetske i mernih transformatora", Elektrotehnički Institut Nikola Tesla, Beograd 2010
- [2] Projekat "Sistem monitoringa energetskih transformatora bloka 1 termoelektrane Nikola Tesla B ", Elektrotehnički Institut Nikola Tesla, Beograd 2012 (urađeno za JP Elektroprivreda Srbije)
- [3] L.W.Pierce, Hottest spot temperatures in ventilated dry type transformers, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 9, No. 1, January 1994, pp. 257-264.
- [4] J.Li, T.Jiang, S.Grzybowski, Hot spot temperature models based on top-oil temperature for oil immersed transformers, IEEE Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, 2009. CEIDP '09., 18-21 October 2009, pp. 55.
- [5] Aleksandar Nikolić, Aleksandar Žigić, Nikola Miladinović, Radoslav Antić, Branka Đurić, Ana Milošević „Sistem za daljinski on-line monitoring transformatora bloka B1 u TENT-B", 31. Savetovanje CIGRE Srbija, Zlatibor 2013. godine
- [6] Serveron Corporation, "TM View Software User's Manual 3.4", 2010
- [7] Serveron Corporation, "TMx Modbus Guide", 2011
- [8] C. Sells, "Windows Forms Programming in C#", Addison Wesley, 2003
- [9] S. Allen, S. F. Gilani, J. H. Pedersen, R. Raghunathan, J. Reid "C# baze podataka", Beograd 2007
- [10] Studija "Izrada baze i sistematizacija podataka potrebnih za praćenje, dijagnostiku i procenu stanja energetskih transformatora u elektranama

EPS", Elektrotehnički Institut Nikola Tesla, Beograd 2012 (urađeno za JP Elektroprivreda Srbije)

- [11] IEC Publication 60599, "Mineral oil-impregnated electrical equipment in service guide to the interpretation of dissolved and free gases analysis", 2007.

ABSTRACT

This paper describes database for assessment of power system generators developed and used in the institute Nikola Tesla. The database contains general information about generators, large amount of testing and operational data as well as data acquired from monitoring and SCADA systems. Software applications used for database access and analysis are also described. DBMS is SQL Server 2012 and applications are written in Visual C#. The important role of the database in growth of expert knowledge within demonstrational diagnostic center is emphasized.

Monitoring software for power transformers in thermal power plant Nikola Tesla B - 1

Nikola Miladinovic, Aleksandar Nikolic, Aleksandar Zigic, Radoslav Antic, Vladimir Poluzanski