

Pregledni rad

UDK 004.72.057.4:681.5

DOI 10.7251/SVR2522167J

SCADA SISTEMI U FUNKCIJI SIGURNOSTI I VOĐENJU INDUSTRIJSKIH ENERGETSKIH POSTROJENJA

Josip Jakešević¹

Srećko Stanković²

Apstrakt: U današnje vrijeme SCADA sistemi su preuzeли glavnu ulogu u vođenju industrijskih postrojenja a samim time i hidroelektrana. To je sistem koji služi za mjerenje, nadzor, upravljanje i potpuno automatizovanje industrijskih postrojenja. Prvi počeci SCADA sistema su počeli 1960 – tih godina a veliku ekspanziju su doživjeli 1990 – tih godina zbog sve bržih mikroprocesorskih jedinica. Takav sistem je jako pouzdan i nezamjenljiv u kontroli i sigurnosti u nadzoru hidroenergetskih i industrijskih postrojenja.

Ključne reči: *SaaS, kurir, paketi, praćenje..*

1.UVOD

U današnje vrijeme SCADA sistemi (Supervisory Control and Data Acquisition), preuzeли su glavnu ulogu u vođenju industrijskih postrojenja, a samim time i hidroelektrana. To je sistem koji služi za mjerjenje, nadzor, upravljanje i potpuno automatizovanje industrijskih postrojenja. Prvi počeci SCADA sistema su počeli 1960 – tih godina, a veliku ekspanziju su doživjeli 1990 – tih godina zbog sve bržih mikroprocesorskih jedinica. Takav sistem je postao jako pouzdan tako da i ako se danas i dogodi neka nesreća najčešće je ljudskog karaktera.

Obzirom da su električni motori veoma zastupljeni u hidroelektranama, shodno tome su i veoma podložni vibracijama, kao i agre-

¹ Hidroelektrana Jajce 1, jakesevic2@gmail.com.

² Nezavisni univerzitet Banja Luka , srele24@teol.net.

gati koji defakto i proizvode električnu energiju. Nažalost, trend u većini hidroelektrana je da se mjerjenje vibracija obavlja samo po potrebi. Na taj način, nitko tačno ne može reći kolike su vrijednosti vibracija dok se ne izmjere. Monitoring vibracija u realnom vremenu agregata u elektranama omogućuje sprječavanje nastajanje velikih havarija. Najčešće nastanak vibracija počinje neprimjetno a posle se počinju postepeno povećavati. Monitoring u realnom vremenu bi omogućio osoblju uvid u sam nastanak i povećanje vibracija i time bi omogućio pravovremeni zahvat na aggregatima da bi se preventivno djelovalo, odnosno spriječilo dalje povećanje a time i nastajanje većih šteta po same aggregate odnosno elektranu.

U hidrolektranama uzrok nastanka vibracija je najčešće trošenje materijala od kojeg su napravljeni agregati, tačnije osovina aggregata. Zamor, odnosno starost materijala, zahtjevaju kontinuirano paračenje stanja osovina aggregata. To bi omogućilo produžetak radnog vijeka aggregata a samim tim i spriječili bi nastanak značajnijih šteta koje mogu nastati i ono što je najbitnije izbjegle bi se ljudske žrtve. Na jednom od deset aggregata su bile povećane vibracije da bi se u konačnici vodena turbina doslovno raspala. Elektrana je doživjela potpunu havariju u kojoj je eksplodiralo nekoliko transformatora i poplavljeno je mašinsko odjeljenje. Najveća šteta je bila gubitak ljudskih života.

2. DEFINISANJE PROBLEMA

Suština sigurnosti u industrijskim sistemima, odnosno hidroenergetskim sistemima je u preventivnom djelovanju. U hidroelektranam najveća opasnost po aggregate je pojava vibracija na osovini generatora. Vibracija predstavlja svako gibanje koje se ponavlja u nekom vremenskom intervalu. Vibracije su među najvažnijima uzročnicima koji utiču na životni vijek rotirajućih električnih mašina. Konstantan nadzor i periodična ispitivanja, daju uvid u dinamičko stanje mašina i na taj način mogu otkriti neke probleme kod rada aggregata. Kod hidroagregata se najčešće prate radikalne vibracije. Radikalne vibracije su određene standardima koje određuju ISO standardi i one određuju kriterije o radu aggregata. Izuzev radikalnih vibracija, kvarovi rotirajućih mašina mogu nastati i zbog torzion-

ih vibracija. Torzionate vibracije mogu uzrokovati velika oštećenja rotirajućih mašina, a to dovodi do velikih finansijskih gubitaka jer agregati ne proizvode električnu energiju.

3. VRSTE VIBRACIJA U MAŠINAMA

Vibracije u mašinama mogu biti linijske ili rotacione. Jedan od najčešćih uzroka vibracija je neuravnoteženost rotora u mašini. Neuravnoteženost izazivaju centrifugalne sile, magnetne sile i hidraulične sile. Ove sile izazivaju vibracije rotora, odnosno osovine u ležajevima, zatim se vibracije preko uljnih filmova ili valjnih elemenata prenose na kućište ležaja i oslonce mašine. Amplituda prenesenih vibracija zavisi od jako puno faktora, a među važnijima su prigušenje uljnog filma, krutost, masa rotora, vrste oslonca i ležaja.

Generalno postoje tri vrste vibracija na mašini koje se mijere, a to su:

- Apsolutne vibracije ležaja,
- Relativne vibracije osovine,
- Apsolutne vibracije osovine.

U apsolutne vibracije ležaja spadaju vibracije koje se javljaju na površini mašina. To su vibracije na samom ležaju ili što bliže ležaju. Mjerenje apsolutnih vibracija omogućuje da se procjeni ukupno stanje mašine, eventualna oštećenja pokretnih dijelova mašine kao što je neuravnoteženost rotora, necentriranost osovine ili spojke ležaja. Za mjerenje vibracija potrebno je primjeniti analitičke dijagnostičke metode, a samo mjernje se vrši pomoću senzora ili vibrosenzora i dijagnostičke opreme.

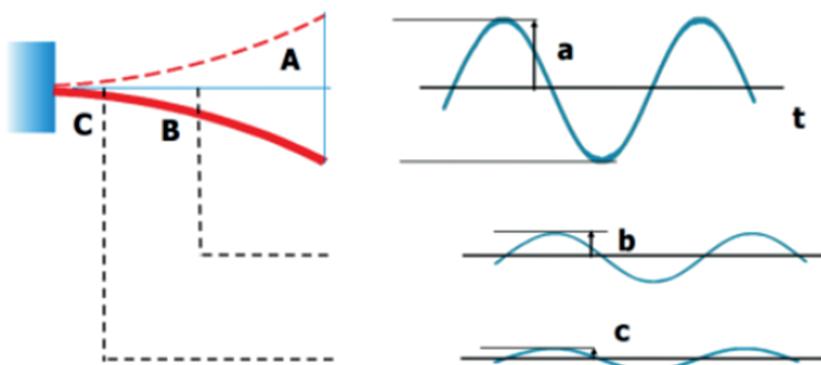
Relativne vibracije osovine su najveći pokreti rotora osovine u odnosu na tijelo ležaja. Ova vrsta vibracija se mjeri na kliznim tipovima ležaja. Zbog postojanosti zračnosti između ležaja i osovine, uljni film neće biti dugo čvrst, a osovina može biti izložena prostornom kretanju dok se rotira. Takva vrsta kretanja se naziva kinetička orbita.

Apsolutne vibracije osovine predstavljaju veličinu pomaka osovine rotora u odnosu na fiksnu tačku u prostoru.

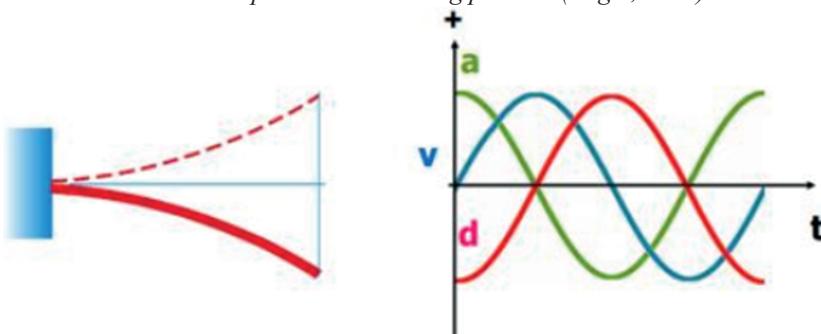
3.1 Parametri vibracija

Parametri koji se direktno mjeru su ubrzanje, brzina i pomak a ostale karakteristike kao što su prigušenje i frekvencija dobiju se analizom nabrojanih veličina. Mjerenje vibracija se može izvršiti kontaktnim ili beskontaktnim mjerjenjem.

Kontaktnе metode se baziraju na promjeni magnetnih ili električnih osobina nekog tijela uslijed kretanja tog tijela a koje je izazvano vibracijama. Beskontaktnе metode se baziraju na interferenciji laserskih zraka koje mjeru brzinu vibracija.



Slika 1. Amplituda vibracionog pomaka (Grgić, 2016)



$$\begin{aligned} \textcolor{red}{d} &= \text{mm} \\ \textcolor{blue}{v} &= \text{mm/s} \\ \textcolor{green}{a} &= \text{mm/s}^2 \end{aligned}$$

Slika 2. Bazne veličine (Grgić, 2016)

d – Fazni pomak

v – vibracijska brzina

a – vibracijsko ubrzanje

4. TEHNIČKO RJEŠENJE – SCADA SISTEM

SCADA sistem je namijenjen za kontrolu, mjerjenje i praćenje industrijskih postrojenja i njihovo potpuno automatizovanje. Razvoj je započet 1960-tih godina, a veliku ekpanziju ovi sistemi su doživjeli 1990-tih godina, zbog sve bržih računarskih i mikroprocesorskih uređaja.

Mogućnost primjene su razne, npr. elektroenergetskom sistemu, željezničkom saobraćaju i drugim industrijskim postrojenjima. SCADA je programski paket koji se oslanja na sklopove s kojima sarađuje preko procesorskih elektroniskih uređaja (IED) ili drugih sklopovskih modula koja ima za cilj da nadgleda procese i mogućnosti upravljanja procesima. SCADA sistem svojim kodiranim signalima upravlja preko posebnih komunikacionih kanala preko RTU-u opreme. Kako se razvija telekomunikaciona infrastruktura, sve se više koristi slanje informacija na različite servere pomoću telemetrije. SCADA sistemi se razlikuju međusobno po svojim namjenama i prilagođenosti nekoj industrijskoj grani, ali svi imaju zajedničke bazne elemente, a to je nadgledanje, upravljanje i prikupljanje podataka.

4.1 Vrste SCADA sistema

1. Bazna SCADA

- jedan namjenski proces.
- jedna priključna i procesna jedinica (RTU-u i MTU-u).
- primjer: robot u procesu automobilske industrije, kontrola temperature prostorije i dr.

2. Integrisana SCADA

- višestruke priključne jedinice (RTU-u).
- distribuirani sistem upravljanja (DCS-u).
- primjer: sistem za vodoopskrbu, sistem za nadzor puteva, sigurnosni sistemi i dr.

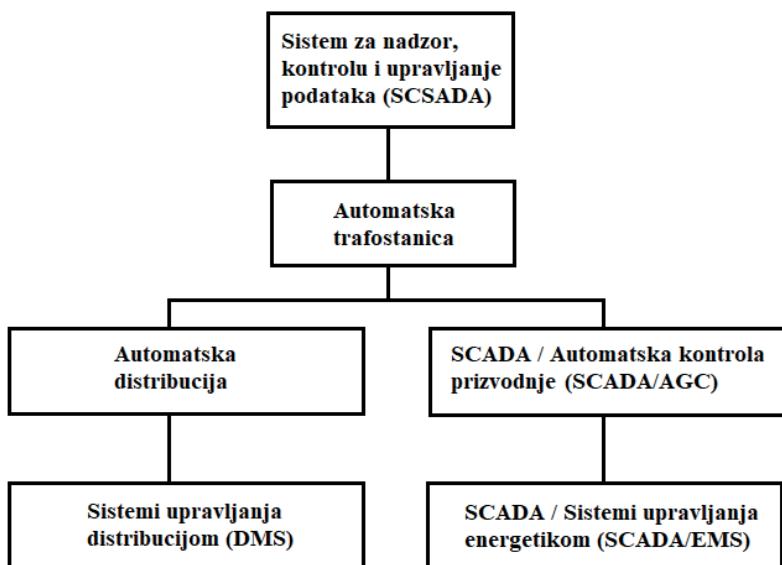
3. Umrežena SCADA

- primjer: sigurni sistemi, komunikacioni sistemi, višestruka SCADA-a.

SCADA sistemi su danas neizbjegni u bilo kojem modernom industrijskom postrojenju. SCADA sistemi daju mogućnost upravljanja i prikupljanja podataka u realnom vremenu, primjenjuju dosta efikasne kontrolne mehanizme, unaprijedili su sigurnost samih postrojenja, te na taj način smanjili dugoročne operativne troškove. SCADA sistemi koriste upotrebu standardnih programskih i sklopolovskih komponenti, sa naprednim komunikacionim protokolima i povećanom povezanosti s vanjskim mrežama.

4.2. Funkcionalnost SCADA sistema u elektroenergetskom sistemu

SCADA sistem prikuplja podatke i prati rad nekog proizvodnog procesa u realnom vremenu. U EES-u su to raspoređeni sistemi koji s različitih lokacija prikupljaju podatke i šalju u centar upravljanja. Iz prikupljenih podataka operater ima stanje u EES-u što mu omogućava pravovremenu intervenciju po potrebi. Slika 3 prikazuje upotrebu SCADA sistema u EES-u gdje početni blok obuhvaća osnovni SCADA sistem.

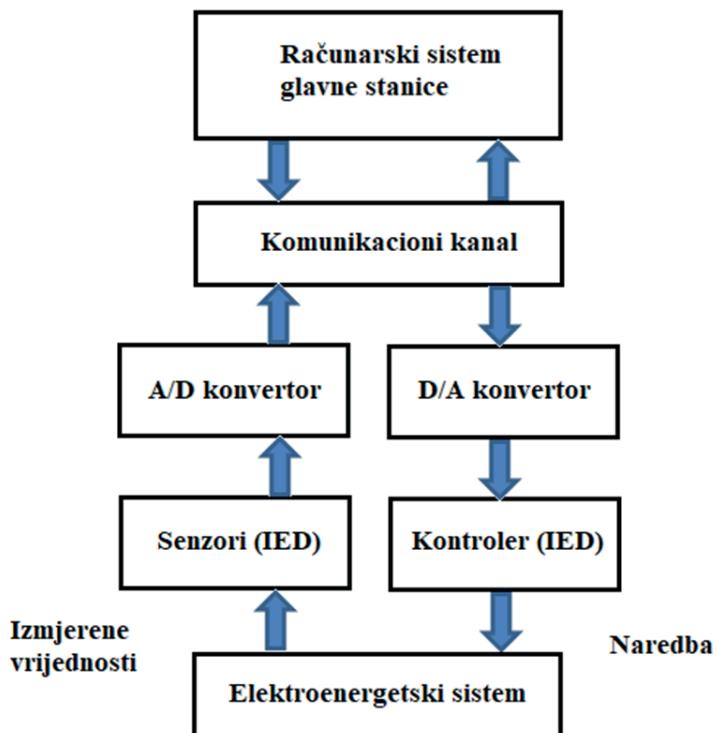


Slika 3. Prikaz SCADA sistema s EES-u: (Galović, 2016)

Potpuna automatizacija SCADA sistemom omogućava operateru u kontrolnoj sobi da nadzire procese na upravljačkoj ploči

s informacijama koje su ažurirane u odgovarajućim vremenskim intervalima, a to uključuje:

- prikupljanje podataka s određene lokacije,
- pretvaranje podataka u prenosnom obliku,
- grupiranje podataka u pakete,
- prenos podataka,
- prijem podataka u kontrolnom centru,
- dekodiranje podataka,
- prikaz podataka na upravljačkom monitoru.



Slika 4. Procesi nadgledanja upravljanja: (Galović, 2016)

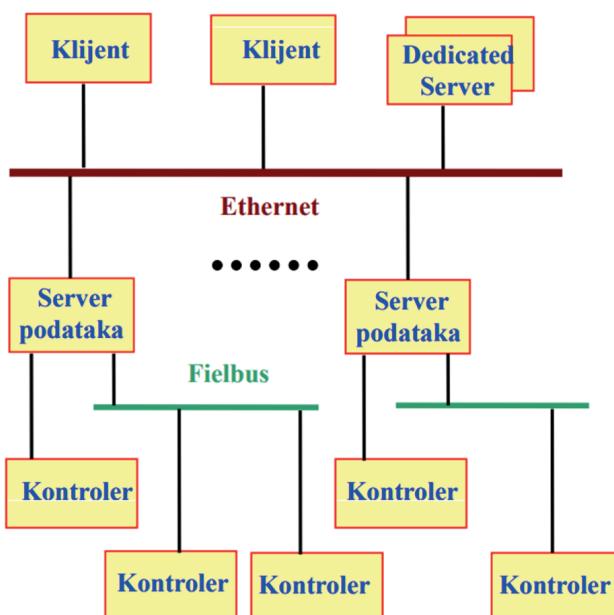
Automaizovanje sistema ima jako puno prednosti što se odnosi i na EES, a neke prednosti su:

- povećana pouzdanost, sistem ima minimalne poremećaje i prekide rada;
- niži operativni troškovi, manje angažovanje radne snage zbog automatizacije;

- brže uspostavljanje EES-a kod ispada, zbog bržeg otkrivanja kvara i poduzimanje radnji da bi se isti otklonio;
- bolje raspoređivanje energijom, zbog primanja tačnijih vrijednosti u EES-u;
- smanjenje troškova održavanja jer se oprema konstantno može nadgledati;
- smanjenje ljudskih uticaja, što znači smanjenje grešaka jer se vrijednosti očitavaju automatski u sistemu;
- tačnije i preciznije donošenje odluka zbog jako puno informacija u EES-u koje su dostupne operatoru.

4.3 Konfiguracija SCADA sistema

SCADA sistemi upotrebljavaju dvosmjernu komunikaciju. SCADA upravlja proizvodnim procesom prikupljanjem podataka od RTU-a, a to se izvršava najčešće svake sekunde. Svi podaci se prosljeđuju u SCADA-in server preko LAN mreže. Zatim podaci se obrade i prikazuju operateru na upralačkoj ploči pomoću kojih se izvršavaju potrebne manipulacije.



Slika 5. Tipična konfiguracija SCADA sistema (Velagić, 20212)

4.4 Način povezivanja SCADA sistema na računarsku mrežu

Današnji SCADA sistemi u industriji primjenjuju mrežno povezivanje koje imaju mogućnost nadzora nad proizvodnim procesima s bilo kojeg računara gdje se pri tom primjenjuje visok stepen sigurnosti i obrađivanje podataka u realnom vremenu. Komunikacija je ostvarena uz pomoć Ethernet/IP tehnologije koja ima mogućnost prikupljati podatke iz sistema i konfigurirati operatorske panele i upravljačke uređaje s kojima se vrši nadzor i potpuna kontrola proizvodnih procesa. Pomoću mrežnog člana se upravljački uređaj spaja na Ethernet/IP mrežu. Dodjeljivanjem statičke IP adrese uređaju, mrežnom članu dobijemo sistem kojim možemo upravljati, slati podatke i nadzirati iz LAN mreže ili putem interneta. Preko Ethernet/IP se upravljački uređaji spajaju na server na koji se spajaju korisnici i preko njega upravljaju i nadziru proizvodni proces. Ethernet/IP je sigurno najnaprednija tehnologija za industriji. Glavni razlog je što se bazira na otvorenoj tehnologiji.

4.5 PLC

Naravno sve navedeno je nezanisivo bez PLC-a. PLC je industrijski računar koji isključivo ima industrijsku primjenu. Otporan je na nepovoljne uticaje kao što su vlaga, prašina, visoka temperatura, vibracije, elektromagnetne uticaje i sl. Kao i svaki drugi računar i PLC ima operativni sistem, koji nema mogućnosti kao opšti operativni sistem, ali potrebe za komunikacijama može podržati u potpunosti. Na taj način, PLC se može povezati s glavnim računaram ili nekim drugim da bi se riješili složeni upravljački zadaci. S PLC-om je moguće zamijeniti velik broj releja i sklopnika. Bez obzira na veličinu, svaki PLC ima istu hardversku strukturu koja je slična drugim računarskim sistemima, samo je prilagođena industrijskom okruženju s osnovnim cjelinama.

3.6 Senzori za merenje vibracije i pomaka

Induktivni senzori pomoću kojima mjerimo vibracije rade na principu vrtložnih struja. Magnetno polje koje se proizvede prolaskom izmjenične struje kroz zavojnicu inducira vrtložne struje u

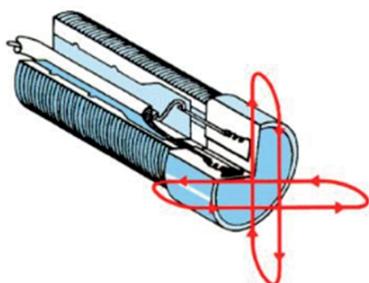
nekom električno vodljivom djelu u blizini zavojnice. Senzore je potrebno prije upotrebe kalibrirati, tj. namjestiti na određeni napon a pomak vodljivog materijala od osovine se manifestira u obliku rasta ili pada napona. Osjet takvog senzora je $8 \text{ mV}/\mu\text{m}$.

Njegove prednosti su:

- Velika izvedba,
- Otporni su na vodu,
- Beskontaktni je s objektom kojim se mjeri,
- Velika točnost,
- Jako brz odaziv.

Nedostaci su:

- Osjete samo vodljive materijale,
- Debljina mete, ne osjete tanje materijale kao što je folija,
- Mjerni opseg je ograničen – $< 30 \text{ mm}$,
- Odnos izlaznog signala i udaljenosti mete je nelinearan,
- Potrebno kalibriranje pri puštanju u pogon.



Slika 6. Beskontaktni senzor vibracija: (Galović, 2016)

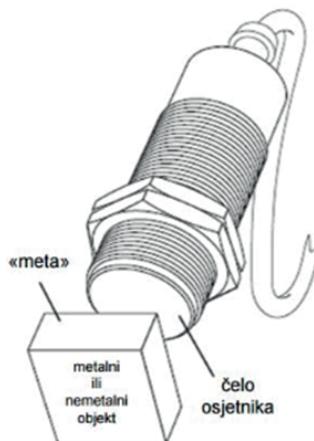
Kapacitivni senzor za mjerjenje pomaka radi na principu električnog polja. U smjeru mete tj. mjesto na kojem se mjeri pomak. Oscilator stvara usmjereni električno polje na način što se ovisnosti o udaljenosti i površini objekta mijenja kapacitet senzora. Prednosti ovakvog senzora su:

- Veličina izvedbenog senzora,
- Otporni su na vodu,
- Osjećaju sve vrste materijala (voda, izolatori, metali i sl.),
- Beskontaktni su s objektom koji se mjeri,
- Visoka točnost ($1 \text{ V}/0.1 \text{ mm}$).

Nedostaci su:

- Objekat koji se mjeri treba biti veći od jedne trećine osjetilne zone,
- Najveći mjerni opseg je $<40\%$ presjeka osjetnika,
- Njegova točnost zavisi o površini objekta (hrapav, ravan, zaobljen i sl.),
- Osjetljiv je na promjenu vlažnosti i temperature i zraku.

Ova vrsta senzora se češće koristi za mjerjenje pomaka ili prisutnosti nego za mjerjenje vibracija.



Slika 7. Kapacitivni senzor: (Galović, 2016)

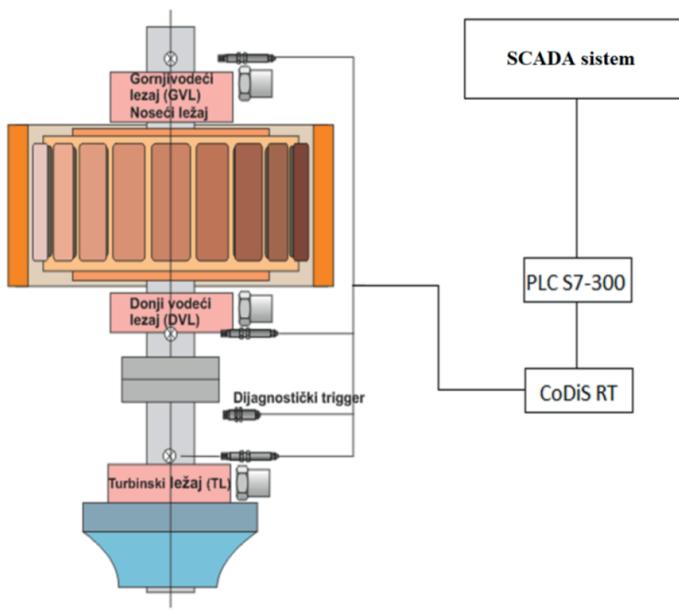
5. IMPLEMENTACIJA SISTEMA SCADA NA AGREGAT

Kod ugradnje monitoringa vibracija na agregatima, moglo bi ih u realnom vremenu pratiti:

- prepoznavanje trajnih promjena,
- predviđanje oštećenja ili kvarova,
- prevencija oštećenja ili kvarova,
- dijagnostika otkrivenih i predviđenih kvarova.

Dodatna vrijednost bi se poboljšala još na:

- povećava efikasnost postrojenja,
- povećava produktivnost i trajnost,
- povećava sigurnost i raspoloživost,
- samanjuje troškove održavanja.



Slika 7. Šema povezivanja sistema za monitoring vibracija i SCADA sistema

Za instalisanje opreme koja bi pratila vibracije u relanom vremenu koristio bi se software za opremu firme CoDiS:

Potrebno je:

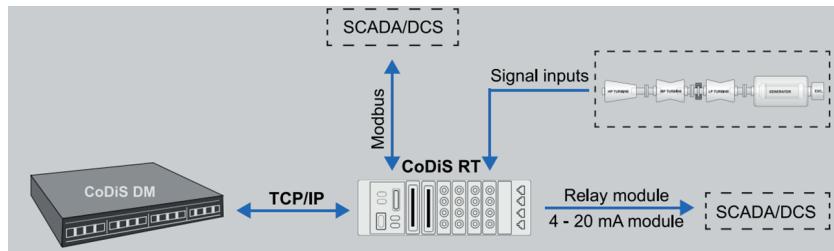
- šest senzora za mjerjenje vibracija za "X" i "Y" osi,
- CoDiS RT (Real time protection),
- kartica Analognih ulaza za PLC S7-300,
- modul za proširenje PLC kartica.

Za mjerjenje vibracija koristili bi se induktivni beskontaktni senzori. Senzori bi se montirali iznad KL, DVL i TL i mjerili bi apsolutne vibracije na osovini po "X" i "Y" osi. Također potrebna je PLC kartica za simatic S7-300 analognih ulaza i modul za proširenje. Kartica za PLC i CoDiS RT bili bi smješteni u ormara. Povezivanjem s novougrađenom karticom analognih ulaza bi se preko PROFIBUS-a povezali na SCADA sistem. Na CoDiS RT-u (Slika 8.) već postoje priključne izlazne stezaljke za PLC koji proljeđuju dobijene i obrađene vrijednosti. CoDiS RT je on-line instrument za nadzor i zaštitu rotirajućih mašina.



Slika 8. CoDiS RT (Real Time Protection) (5. irispower.com)

Povezivanjem komplet nabrojane opreme dolazi se do SCADA sistema za nadzor i kontrolu vibracija i pomaka na hidroagregatima u HES-ima. Slika 9.



Slika 9. SCADA sistem za monitoring vibracija i pomaka

ZAKLJUČAK

SCADA sistemi preuzeli su glavnu ulogu u upravljanju i nadzoru automatiziranih industrijskih postrojenja tako i hidroelektrana. Ponajviše zbog svoje jednostavnosti, jer su prilagođeni uslovima rada u industrijskoj sredini u kojoj je namijenjena i visoka pouzdanost. SCADA sistemi daju veliki broj podataka u realnom vremenu, što operatoru omogućuje da što kvalitetnije upravlja proizvodnim procesom, a isto tako da ispravno i pravovremeno spriječi štete po postrojenju i ljudske živote.

Ono što je dobro na SCADA sistemima je fleksibilnost, jednostavno proširenje sistema na još dodatne opcije. Sistemi su bazirani na internet tehnologiji, ali tu se javlja problem. Ukoliko je postrojenje bolje komunikaciono povezano sa upravljačkim jedinicama potrebna je veća zaštita od kibernetičkih napada, odnosno

krađe podataka ili namjernog prouzrokovana štete iz nekih posebnih razloga. Stvara se potreba za razvijanjem posebnih tehnologija za kibernetičku sigurnost. To u konačnici poskupljuje realizaciju SCADA sistema.

Zaključno, SCADA sistem odlikuje:

- Fleksibilnost – jer je baziran na vodećim industrijskim standardima.
- Skalabnost – jer podržava sve hardverske konfiguracije počevši od jednog PC računara pa do mreže radnih stаница i servera.
- Konektivnost – jer ugrađene komponente i arhitektura obezbeđuju višestruke puteve za integraciju VIEW sistema u korporativna okruženja.
- Pouzdanost – jer sistem obezbeđuje konfiguracije sa udvojenim komponentama. Svi arhivirani podaci ostaju na raspolaaganju na prelazu sa radne na rezervnu komponentu.
- Geografski distribuiran sistem – jer postoji mogućnost hijerarhijskog povezivanja centara daljinskog nadzora i upravljanja.
- Prilagodljivost sistema – jer je moguće ispoštovati različite konkretne korisničke zahtjeve i prilagoditi ga za specifične projekte uvođenjem dodatnih ili modifikacijom baznih funkcija.

SCADA SYSTEMS IN SECURITY FUNCTION AND MANAGEMENT OF INDUSTRIAL ENERGY PLANTS

**Josip Jakešević
Srećko Stanković**

Abstract: In today's time SCADA systems take on the leading role in running industrial plants at the same time as a hydro power plant. It is a system for measuring, monitoring, managing and fully automating industrial plants. The first beginnings of the SCADA system began in the 1960s with a great expansion in the 1990s due to the ever-growing microprocessor. Such a system has become very trustworthy and irreplaceable in control and safety in the supervision of hydropower industrial plants.

Keywords: *SaaS, courier, packages, tracking*

LITERATURA

1. Grgić, Ž. (2016). *Mjerenje vibracija u električnim strojevima*. Osijek: U E. F.
2. https://hr.wikipedia.org/Nesreca_na_hidroelektrani_Sajano-Alenska-ja_2009
3. Galović, F. (2016). *Distributivna mreža vođenja pomoću SCADA sistema*. DU ETFOS.
4. <https://people.etf.unsa.ba/~jvelagic/laras/dok/lekcijad12.pdf>
5. https://irispower.com/wp-content/uploads/2016/12/2017_07_27-CoDis-Vibration-Brochure-Turbo-Generator.pdf, Pristup (12.07.2022.)