

Sustavi za trajni nadzor kvalitete napona u distribucijskim mrežama

Tomislav Tomiša

Fakultet elektrotehnike i računarstva
tomislav.tomisa@fer.hr

Sažetak - Kao jedna od najvažnijih sirovina današnjice, električna energija mora zadovoljavati određenu razinu kvalitete, jer se na tržištu tretira kao i svaka druga roba – ona više kvalitete može se prodati po višoj cijeni i obratno, pa je kvaliteta električne energije (KEE) postala vrlo važna značajka za potrošače na tržištu. S nastalim promjenama u sektoru električne energije povećana se pažnja posvećuje KEE u smislu kontinuiteta napajanja i kvalitete napona, te troškovima spajanja potrošača na mrežu. Pojam kvalitete električne energije uveden je u našu zakonsku regulativu 2004. godine usklađivanjem s direktivama EU. Zakonom o tržištu električne energije određena je odgovornost Operatora prijenosnog sustava (OPS) odnosno Operatora distributivnog sustava (ODS) za održavanje KEE, dok su Mrežnim pravilima elektroenergetskog sustava određeni parametri kvalitete napona. Općim uvjetima za opskrbu električnom energijom (2006.) su OPS i ODS bili zaduženi uspostaviti sustav praćenje kvalitete napona do 1. siječnja 2007. godine, međutim uspostava takovog sustava je tehnički i financijski vrlo zahtjevna tako da do danas u našem elektroenergetskom sustavu nisu načinjeni značajniji pomaci u tom smislu. Kako se KEE određuje na mjestu primopredaje između isporučitelja i potrošača, ugradnja mjernih uređaja za kontinuirano praćenje kvalitete pri svakom potrošaču nije tehnološko-ekonomski prihvatljiva te se uspostava sustava za kontinuirano praćenje KEE mora optimirati korištenjem postojećih resursa u elektrodistribucijskim objektima odnosno odabirom reprezentativnih mjernih mjesta za određene skupine potrošača. Pri tom se razmatraju postojeći nadzorno-upravljački sustavi (SCADA) odnosno sustavi za automatsko očitavanje brojala (AMR). U posljednje vrijeme intenzivira se trend uvrštavanja obnovljivih izvora u distributivne mreže koje treba posebno nadzirati, jer predstavljaju potencijalne narušitelje parametara kvalitete napona.

I. UVOD

Sustavi nadzora općenito su tehnički sustavi za prikupljanje, obradu i prikaz podataka iz nekog procesa. Ovisno o namjeni prikaz prikupljenih podataka može biti u realnom vremenu (on-line) ili za naknadnu obradu (off-line). Tipični primjeri sustava nadzora elektroenergetskih (EE) objekata su tzv. SCADA sustavi namijenjeni za daljinski nadzor i upravljanje objektima. SCADA sustavi su hijerarhijski organizirani u nekoliko razina, pri čemu osnovnu razinu čini razina polja koja obuhvaća davače signala i aktuatora. Signali iz razine polja prikupljaju se na razini lokalnog automatskog upravljanja koja obuhvaća inteligentne elektroničke uređaje (IED) sa sposobnošću međusobne (horizontalne) i nadređene (vertikalne) komunikacije. Nadređenu razinu čini

računalni sustav za centralni nadzor objekta te komunikacijski sustav za povezivanje objekata s centrom daljinskog nadzora koji predstavlja vrh hijerarhijske piramide nadzornog sustava. S obzirom da se nadziru elektroenergetski objekti zanimljivi podaci koji se mjerenjima prikupljaju u SCADA sustavima su naponi i struje te njihov fazni odnos. Kako prikupljanje podataka za određivanje KEE također obuhvaća mjerenje napona i struja u određenim točkama EE sustava koji se obrađuju na centralnom mjestu, postoji strukturna sličnost između SCADA sustava i sustava za nadzor KEE. Ti se sustavi međutim bitno razlikuju, jer se na sustave za nadzor KEE postavljaju stroži zahtjevi glede performansi mjerne opreme, komunikacijskih kanala te procesne moći i skladišnog prostora centra za obradu prikupljenih podataka. Da bi se razjasnili ti zahtjevi potrebno je razmotriti nekoliko slijedećih pitanja vezanih uz KEE.

A. Što je KEE?

Prema definiciji iz IEC 61000-4-30 standarda [L1] KEE u danoj točki EE sustava je značajka električnog napajanja koja se procjenjuje prema skupu referentnih tehničkih parametara. Pri tom treba napomenuti da navedenu značajku osim kvalitete napona čine i pouzdanost napajanja te kvaliteta usluga kao što je definirano u Općim uvjetima za opskrbu električnom energijom [L2]:

kvaliteta napona – stalnost fizikalnih značajki napona u odnosu na normirane vrijednosti

pouzdanost napajanja – sposobnost mreže da osigura stalnost napajanja električnom energijom u određenom vremenskom razdoblju, iskazana pokazateljima broja i trajanja prekida napajanja

kvaliteta usluga – razina pružanja usluga koje je OPS ili ODS dužan osigurati korisnicima mreže

B. Zašto se određuje KEE ?

Direktiva 2003/54/EC europskog parlamenta iz 2003. godine [L3] određuje da države članice trebaju potrošačima osigurati pravo na opskrbu električnom energijom određene kvalitete po jasno usporedivim, transparentnim i razumnim cijenama. Potrošačima se mora osigurati pravo na ugovor s pružateljem usluga opskrbe električne energije u kojem se između ostalog utvrđuje osigurana razina kvalitete usluge te postupak naknade i povrata ukoliko nije osigurana ugovorena razina kvalitete usluge.

Sukladno navedenoj direktivi u hrvatskoj je 2004. godine donesen Zakon o tržištu električne energije [L4] kojim se definira opskrba električnom energijom kao neovisna djelatnost od prijenosa i distribucije, a odnosi se na kupnju i prodaju električne energije. Zakonom se razlikuju povlašteni i tarifni kupci. Opskrbljivač je obavezan osigurati svim tarifnim kupcima opskrbu električnom energijom određene kvalitete kao javnu uslugu prema reguliranim uvjetima dok je za održavanje parametara KEE odgovoran OPS odnosno ODS.

C. Kako je određena KEE?

Mrežna pravila EE sustava [L5] iz 2006. godine i preuzeta norma EN 50160 [L6] definiraju granične vrijednosti parametara kvalitete napona u prijenosnom odnosno distribucijskom sustavu srednjeg i niskog napona:

- frekvencija
- efektivna vrijednost
- nadvišenja, propadi i prekidi napajanja
- tranzijetni prenaponi
- treperenje (flikeri)
- nesimetrija
- harmoničko izobličenje
- superponirani signalni naponi.

Pouzdanost opskrbe određuje se statističkim pokazateljima obično za period od godinu dana:

- prosječna učestalost prekida
(*System's Average Interruption Frequency Index*)

$$SAIFI = \frac{\text{ukupni broj prekida napajanja}}{\text{ukupni broj potrošača}}$$

- prosječna neraspoloživost
(*System's Average Interruption Duration Index*)

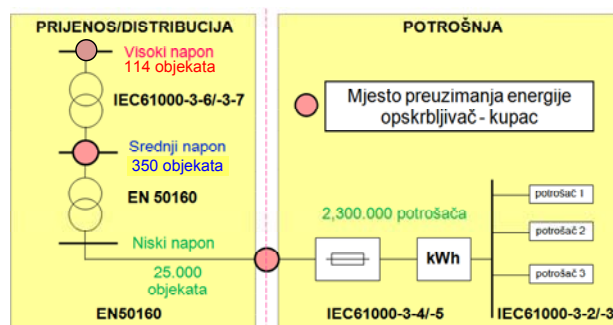
$$SAIDI = \frac{\text{ukupno trajanje prekida napajanja}}{\text{ukupni broj potrošača}}$$

- prosječna učestalosti propada napona na x%
(*System's Average RMS-variation Frequency Index*)

$$SARFIx = \frac{\text{ukupni broj propada napajanja na x\%}}{\text{ukupni broj potrošača}}$$

D. Gdje se ispituje KEE?

Tretirajući električnu energiju kao robu njezina se kvaliteta treba određivati na mjestima razmjene tj. na granici između prijenosnog i distribucijskog sustava odnosno na mjestima priključka krajnjih kupaca (Slika 1). Kako granicu između OPS-a i ODS-a čine transformatorske stanice TS 110/x kV, kojih danas u hrvatskom EE sustavu ima 114, taj broj mjernih mjesta uz oko 350 objekata TS 35/10 kV nije problematičan glede nadzora parametara kvalitete napona, međutim opremanje priključaka krajnjih potrošača, kojih ima više od 2,300.000, uređajima za nadzor kvalitete napona predstavlja ogroman tehnno-ekonomski problem.



Slika 1. Predvidiva mjesta nadzora KEE

Suvremena napredna brojila električne energije (smart meter) posjeduju mogućnost zapisa određenih parametara kvalitete napona pa se takova brojila mogu koristiti u sklopu sustava daljinskog nadzora KEE. U Hrvatskoj se već nekoliko godina uspostavlja sustav automatskog daljinskog očitavanja brojila (AMR) što podrazumijeva opremanje mjernih mjesta kupaca elektroničkim brojilima s daljinskom komunikacijom. AMR sustav predviđa ugradnju takovih brojila kod kupaca čija priključna snaga prelazi 30 kW (industrija i poduzetništvo) što ukupno čini oko 200.000 priključaka. Trenutno oko 38.000 takovih mjernih mjesta uključeno u AMR sustav. Ostaje upitno kako nadzirati KEE kod ostalih 2.100.000 kupaca kategorije kućanstvo. Iako su u nekim europskim državama gotovo svi kupci opremljeni naprednim brojilima (Italija, Švedska) uspostava takovih sustava zahtjeva ogromna financijska ulaganja, pa stoga većina država tek planira takove sustave.

Prihvati li se činjenica da su parametri kvalitete napona zajednički za sve kupce priključene na niskonaponske (NN) sabirnice jedne distribucijske TS 10(20)/0,4 kV, kojih u hrvatskoj ima oko 25.000, opremanje tih objekata odgovarajućom opremom za nadzor kvalitete napona predstavlja tehnno-ekonomski prihvatljivo rješenje uspostave sustava daljinskog nadzora KEE.

E. Tko ispituje KEE?

Sukladno [L2] OPS i ODS bili su obvezni uspostaviti sustav za praćenje kvalitete usluga do 1.7.2006. godine, a sustav za prikupljanje, obradu i pohranu podataka o poremećajima i prekidima napajanja električnom energijom te sustav za praćenje kvalitete napona do 1.1.2007. godine, no zbog opsežnosti zahvata do danas je u tom smislu uspostavljeno samo par eksperimentalnih pilot projekata lokalnog značenja.

OPS i ODS dužan je objavljivati godišnja izvješća o stanju mreže, statistička izvješća o pogonskim događajima, pokazatelje kvalitete opskrbe električnom energijom te analizu kvalitete usluga na svojim internetskim stranicama

F. Kad se ispituje KEE?

Trenutno se ispitivanje KEE provodi samo ako korisnik mreže podnese pisani prigovor na razinu

kvalitete napona i tada OPS odnosno ODS treba u roku od 20 dana od dana podnošenja prigovora postaviti mjernu opremu te provesti mjerenja koja traju tjedan dana, a pisano izvješće o rezultatima mjerenja kvalitete napona na obračunskom mjernom mjestu dostaviti korisniku mreže u daljnjem roku od 10 dana.

U posljednje vrijeme intenzivirao se proces priključivanja distribuiranih izvora na distribucijsku mrežu što zahtijeva određivanje utjecaja takovih izvora na KEE. Pri tom se u pravilu na mjestu priključka provode dijagnostička mjerenja u trajanju tjedan dana. Iako se u objekte koji prema procjeni mogu imati nepovoljni utjecaj na mrežu ugrađuju uređaji za praćenje kvalitete napona dostupnost mjerenih podataka s tih uređaja je samo na lokalnoj razini.

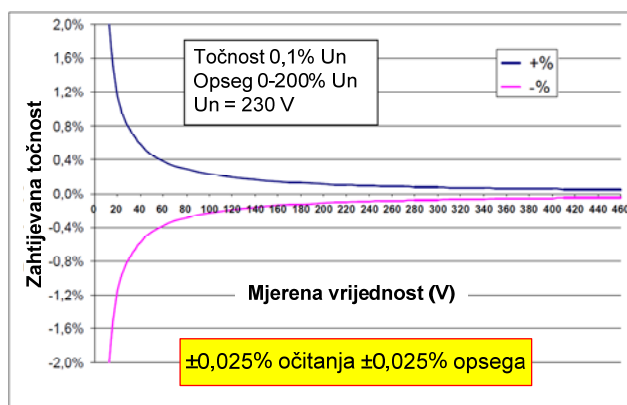
G. Čime se ispituje KEE?

Parametri kvalitete napona su statističke veličine izračunate iz podataka prikupljenih odgovarajućom mjernom opremom tijekom određenog perioda (tjedan dana). Standard [L1] iz domene elektromagnetske kompatibilnosti određuje mjerne metode i načine interpretacije rezultata mjerenja KEE. Mjerna oprema za određivanje KEE mora zadovoljavati znatno strože zahtjeve glede točnosti i perioda uzorkovanja od opreme koja se koristi u postojećim SCADA sustavima. Mjerni uređaji za određivanje KEE izrađuju se u tri klase točnosti: A, S i B.

Najviše performanse glede točnosti (Slika 2) sukladno normi moraju zadovoljiti mjerni uređaji klase A. Koriste se za laboratorijska ispitivanja sukladnosti s normama i dijagnostiku u slučajevima sporova kad postoje prigovori na KEE.

Za statistička ispitivanja na lokacijama gdje ne postoji mogućnost nastanka sporova glede KEE primjenjuju se mjeri uređaji manje točnosti klase S.

Mjerni uređaji klase B su najniže točnosti i namijenjeni su za kvalitativno praćenje KEE odnosno dijagnostička mjerenja tamo gdje se očekuju korisni, ali ne nužno vrlo točni rezultati mjerenja.



Slika 2. Zahtijevana točnost mjernih uređaja klase A

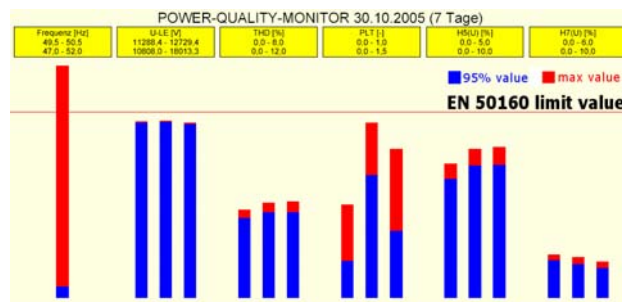
H. Kako se deklarira KEE?

Tablica 1 Referentne vrijednosti sukladno EN 50160

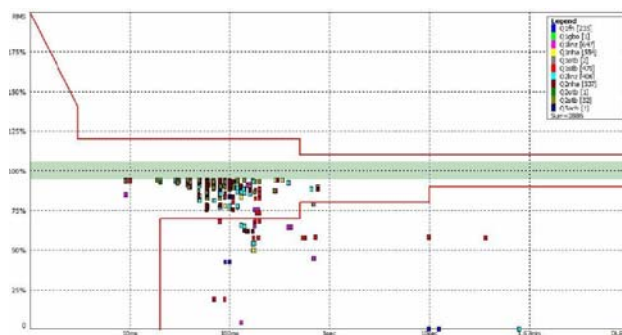
Značajke napona	Granične vrijednosti		Mjerni i vrijednosni parametri			
	niski napon	srednji napon	Osnovna veličina	Interval usrednjavanja	Promatrano razdoblje	Granice
Frekvencija u EES-u	49.5 do 50.5 Hz	47 do 52 Hz	Prosječna vrijednost	10 s	1 godna	99.5% 100%
Spore promjene napona	230 V±10% Un±10% Un +10%-15%		Efektivna vrijednost	10 min	1 tjedan	95% 100%
Brze promjene napona	5% max 10%	4% 6%	Efektivna vrijednost	10 ms	1 dan	100%
Kratkotrajni flikeri Dugotrajni flikeri	Pst Pti < 1		Algoritam flikera	10 min 2 h	1 tjedan	95%
Padovi napona ≤ 1 min	ispod 85% Un 10 do 1000 godišnje		Efektivna vrijednost	10 ms	1 godna	100%
Kratki prekid opskebe ≤ 3 min	ispod 1% Un 10 do 100 godišnje		Efektivna vrijednost	10 ms	1 godna	100%
Dulji prekid opskebe > 3 min	ispod 1% Un 10 do 50 godišnje		Efektivna vrijednost	10 ms	1 godna	100%
Povremeni prenaponi mrežne frekvencije (vodložemlja)	<1.5 kV 1.7 do 2.0 Un		Efektivna vrijednost	10 ms	-	100%
Naponska nesimetrija	< 2%		Efektivna vrijednost	10 min	1 tjedan	95%
Vših harmonici	THD ≤ 8% (tablica do 40. harmonika)		Efektivna vrijednost	10 min	1 tjedan	95%
Signalni napon	do 500 Hz: < 9% 1-10 kHz: < 5%		Efektivna vrijednost	3 s	1 dan	99%

S obzirom da se parametri kvalitete napona statistički izračunavaju temeljem mjerenih podataka prikupljenih tijekom određenog perioda sukladnost pokazatelja KEE određuje se usporedbom s graničnim vrijednostima prema primijenjenoj normi. Pojedini parametar zadovoljava ako postotni broj intervala usrednjavanja s iznosima srednjih vrijednosti unutar graničnih vrijednosti nije manji od zadane granice prema Tablici 1 (95%, 99,5% ili 100%).

Sukladnost pojedinog parametra sa standardnom razinom kvalitete prema primijenjenoj normi deklarira se u pravilu oznakom zadovoljavanja: „DA“ ili „NE“, iako se u standardnim izvješćima rezultati statističke obrade najčešće grafički prikazuju stupčanim (Slika 3) odnosno ITIC dijagramima (Slika 4) [L7].



Slika 3. Grafički prikaz parametara kvalitete napona



Slika 4. Grafički prikaz propada/prekida napajanja prema ITIC (Information Technology Industry Council) krivulji

II. UREĐAJI ZA NADZOR KEE

A. Standardizacija performansi

S obzirom da su parametri kvalitete napona prema normi [6] određeni kao statistički prosjeci, osnovna značajka opreme koja se može koristiti za određivanje parametara kvalitete napona jest da ima sposobnost lokalne obrade izmjerenih vrijednosti te mogućnost pohranjivanja obrađenih podataka. Norma [1] određuje za svaki parametar kvalitete napona:

- osnovnu mjernu veličinu
- interval usrednjavanja mjerenih uzoraka
- trajanje perioda prikupljanja podataka za evaluaciju

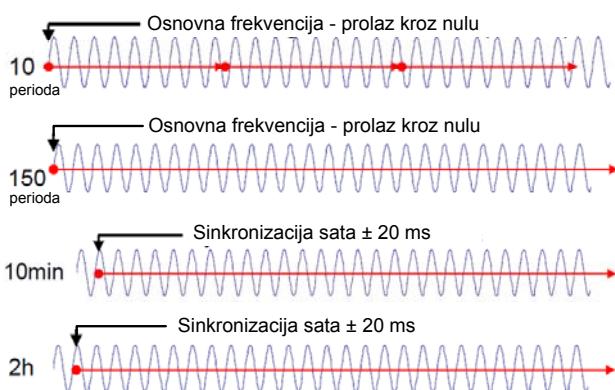
dok standard [1] određuje vremenske intervale za prikupljanje i agregaciju podataka koji se koriste za evaluaciju parametara kvalitete napona (Slika 5):

- 10 ms $\frac{1}{2}$ periode mrežne frekvencije 50 Hz
- 200 ms 10 perioda mrežne frekvencije 50 Hz
- 3 s 150 perioda mrežne frekvencije 50 Hz
- 10 min RTC sinkroniziran s GPS ± 20 ms
- 2 h dvanaest 10-minutnih intervala RTC sinkronizirano s GPS ± 20 ms

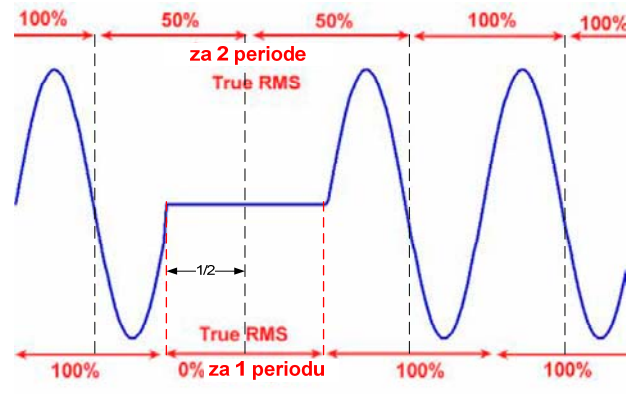
Iz navedenog proizlazi da se za evaluaciju parametara kvalitete napona odnosno sigurnosti opskrbe uvjetno mogu koristiti podatci koji se prikupljaju trajno instaliranom mjernom opremom:

- daljinske stanice sustava nadzora i upravljanja (RTU)
- digitalni multimetri za pogonska mjerenja (DMM)
- digitalni zaštitni releji
- digitalni integrirani signalno-upravljački uređaji polja
- elektronička brojila za daljinsko očitavanje (AMR)
- uređaji za praćenje KEE (PQ monitori)

ukoliko je način prikupljanja sukladan navedenim normama iz čega je razvidno da se postojeća instalirana oprema može pod određenim uvjetima koristiti kao nadomjesni izvor podataka za evaluaciju parametara KEE u klasi S odnosno klasi B.



Slika 5. Vremenska agregacija mjerenja

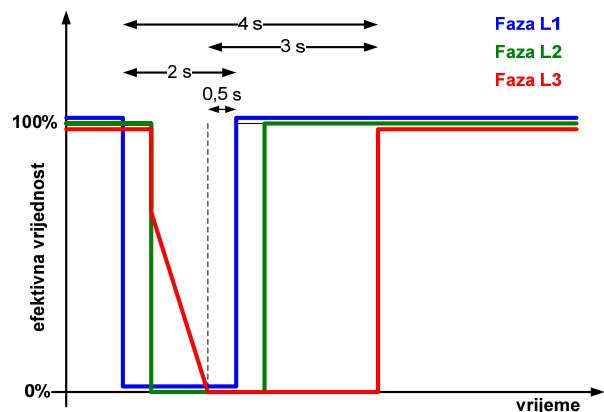


Slika 6. Definicija efektivne vrijednosti $\frac{1}{2}$ periode

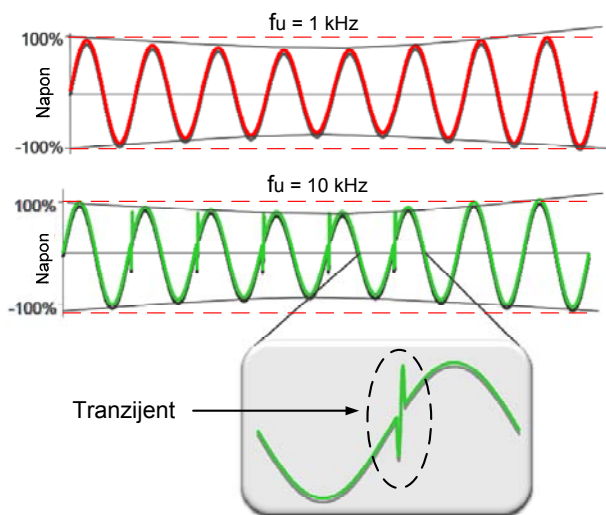
Problem usporedbe vrijednosti pojedinih parametara KEE nastaje zbog neujednačenosti karakteristika mjerne opreme kojom se prikupljaju podaci za izračunavanje statističkih vrijednosti. Slika 6. prikazuje tipičan problem usporedbe efektivnih vrijednosti napona zavisno od vremena agregacije – pri agregaciji u trajanju 2 periode (40 ms) izračunata efektivna vrijednost iznositi će 50% dok će vrijeme agregacije od 1 periode (20 ms) dati vrijednost 0%. Standardiziranjem vremena osvježavanja na $\frac{1}{2}$ periode sukladno [1] eliminira se navedeni problem interpretacije rezultata mjerenja.

Sličan problem nastaje pri interpretaciji trajanja propada napajanja – 0,5s, 2 s, 3 s ili 4 s prema Slika 7.? Ukoliko se prema [1] događaj „prekid“ definira iznosom efektivne vrijednosti ispod 1% nazivne vrijednosti onda je interpretacija trajanja jednoznačna: $t_{\text{propad}} = 4$ s odnosno $t_{\text{prekid}} = 0,5$ s.

Frekvencija uzorkovanja A/D pretvornika je također vrlo bitna pri interpretaciji rezultata mjerenja – zbog premale frekvencije uzorkovanja mjerni uređaj neće registrirati brze pojave (tranzijente) pa isti događaj može biti različito interpretiran (Slika 8). Mjerni uređaj s malom frekvencijom uzorkovanja (1 kHz) registrirat će samo propad amplitude napona dok će uređaj s većom frekvencijom uzorkovanja (10 kHz) registrirati i superponirane tranzijente. To je razlog što [1] zahtijeva „dovoljno veliku“ frekvenciju uzorkovanja kako bi isti događaji bili jednoznačno interpretirani.



Slika 7. Trajanje propada/prekida napajanja



Slika 8. Utjecaj frekvencije uzorkovanja

To je razlog zbog kojeg mjerni uređaji klase A moraju imati dovoljnu rezoluciju i frekvenciju uzorkovanja A/D pretvornika (16 bit, 10 kHz).

B. Daljinske stanice sustava nadzora i upravljanja

Proces automatizacije elektroenergetskih postrojenja za potrebe daljinskog nadzora i upravljanja, koji je započeo prije nekoliko desetaka godina, nastavlja se i danas uz primjenu stalno napredujuće tehnologije koja neprestano poboljšava performanse SCADA. Sklopovsku osnovu hijerarhijski organiziranog SCADA sustava čine RTU koje se u osnovi sastoje od procesnog sučelja, elektroničkog računala te telekomunikacijskog sučelja. Opcionalno se RTU može opremiti korisničkim sučeljem (HMI) za lokalni nadzor i upravljanje, ako se radi o objektu s posadom, odnosno ako je predviđeno zaposjedanje objekta u posebnim situacijama. Procesno sučelje u pravilu je modularne strukture, a sastoji se od potrebnog broja ulaznih i izlaznih modula (I/O) što ovisi o složenosti postrojenja. Svaki modul ima određeni broj kanala (najčešće višekratnik broja 2). Moduli po vrsti mogu biti digitalni i analogni. Standardno se kanali digitalnih I/O modula izvode za radni napon 24 Vdc, dok su kanali analognih modula predviđeni za ulazni napon 0-10 Vdc (unipolarni) odnosno +/- 10 Vdc (bipolarni). Kako su izvorni procesni signali u postrojenjima različitih naponskih razina potrebno je te signale svesti na razinu kompatibilnu s radnim naponom I/O modula. U tu svrhu koristi se oprema za prilagođanje signala (signal conditioning).

Glede mogućnosti korištenja RTU za potrebe određivanja parametara kvalitete napona zanimljivi su tzv. mjerni pretvarači električnih veličina kojima se signali električnih mjerenja prilagođuju ulaznom naponu A/D pretvornika koji čine ulazno sklopovlje analognih kanala procesnog sučelja RTU.

Najčešće se u elektroenergetskim postrojenjima za prilagodbu signala električnih veličina koriste:

- mjerni pretvarači napona
- mjerni pretvarači struje
- mjerni pretvarači djelatne snage (jednofazni i trofazni)
- mjerni pretvarači jalove snage (jednofazni i trofazni)
- mjerni pretvarači frekvencije

Izvori signala u EE postrojenjima su naponski odnosno strujni mjerni transformatori pa stoga mjerni pretvarači imaju strujne ulaze prilagođene za 5 (1) Aac odnosno naponske ulaze prilagođene za 100 Vac. Opseg izlaznog napona mjernih pretvarača napona, struje odnosno frekvencije je 0-10 Vdc, dok je opseg mjernih pretvarača snage +/- 10 Vdc radi indikacije smjera. S obzirom da su klasični mjerni pretvarači elektronički sklopovi koji izmjenične ulazne veličine pretvaraju u istosmjerni izlazni napon proporcionalan ulaznoj veličini, nadomjesno se mogu smatrati nisko-propusnim filterskim elementima s određenom integracijskom konstantom koja praktički iznosi nekoliko stotina ms. Zbog filterskog djelovanja mjernih pretvarača podatci mjerenja koje prikuplja RTU mjerodavni su samo za određivanje onih parametara kvalitete napona koji se odnose na spore promjene. Standardno se u postrojenja ugrađuju mjerni pretvarači klase 1 (točnost 1%) ili bolji, dok se u RTU koriste 10 odnosno 12-bitni A/D pretvornici tj. rezolucije bolje od 1 % pa korištenje podataka mjerenja koja prikuplja RTU glede točnosti zadovoljava kriterije [6], ali samo za parametre kvalitete napona koji se odnose na spore promjene.

Drugi nedostatak korištenja podataka prikupljenih od RTU za potrebe određivanja parametara kvalitete napona je premala učestalost zapisa mjerenih veličina, jer se pohrana prikupljenih podataka obavlja u nadzornim centrima budući da same RTU u pravilu nisu opremljene podatkovnim spremnicima kapaciteta dostatnog za pohranu podataka potrebnih za izradu trendova zanimljivih parametara kvalitete napona. Učestalost prikupljanja podataka ovisi o tipu komunikacije između nadzornog centra i RTU objekata odnosno o brzini prijenosa koja je ograničena širinom propusnog kanala telekomunikacijskih uređaja. U pravilu se u elektro-distribucijskim sustavima za podatkovni prijenos koristila VHF radio veza dok se posljednji godina uvode optički kabeli. VHF radio relejni uređaji uglavnom koriste band 450 MHz što omogućuje brzinu prijenosa podataka do 20 kbuda. Ukoliko su RTU povezane optičkim kabelima ostvaruju se mnogo veće brzine prijenosa od više stotina kbuda.

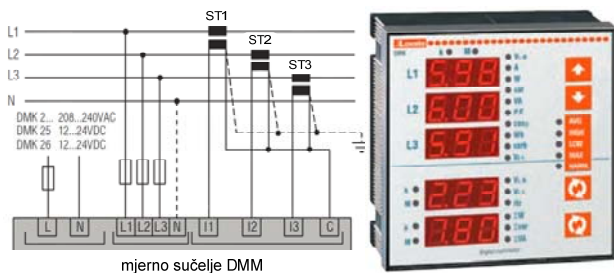
Iz navedenog proizlazi da se podatci prikupljeni RTU uređajima mogu koristiti za evaluaciju parametara:

- frekvencije napona
- sporih promjena napona
- padova napona
- prekida napajanja
- nesimetrije napona.

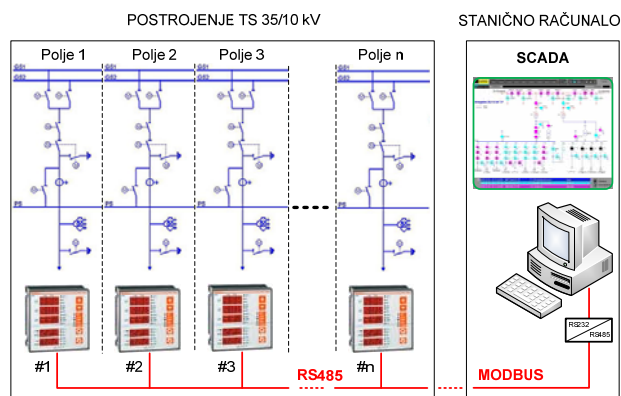
C. Digitalni multimetri

Razvoj mikroprocesorske tehnologije doprinijelo je kompaktiranju digitalnih mjernih instrumenata tako da se u istom kućištu DMM-a objedinjuje trofazno mjerenje napona, struja i frekvencije (Slika 9). Lokalna obrada mjerenih veličina omogućuje izračunavanje ostalih veličina koje su funkcija napona i struja – djelatna i jalova snaga i faktor snage, ali i registriranje minimalnih odnosno maksimalnih vrijednosti pojedinih veličina te integraciju djelatne odnosno jalove energije u zadanom vremenskom intervalu. Inicijalno su DMM bili supstitucija za klasične mjerne instrumente koji se ugrađuju na pojedina polja za potrebe lokalnih pogonskih mjerenja čime se uštedilo na prostoru za smještaj instrumenata. DMM se češće koriste u NN razvodima, no sve više nalaze primjenu u SN i VN poljima. Mikroprocesorska osnova omogućuje uspostavu komunikacijskog kanala za povezivanje više DMM na komunikacijsku sabirnicu. U pravilu se koristi 2-žična komunikacijska sabirnica (RS485), a rjeđe 4-žična (RS422) dok su posljednje generacije DMM opremljene Ethernet priključkom za izravno povezivanje na LAN. S obzirom da se na komunikacijsku sabirnicu priključuje više DMM, svakom uređaju se postavlja jedinstvena adresa kako bi bio jednoznačno raspoznatljiv (Slika 10).

Uvođenje digitalnih signal procesora (DSP) u DMM omogućuje frekvencijsku analizu mjerenih napona i struja tj. izračunavanje sadržaja pojedinih harmonika u osnovnom valnom obliku odnosno faktora harmoničkog izobličenja. Te dodatne mogućnosti približuju suvremene DMM uređajima namijenjenim praćenju parametara kvalitete napona – PQ monitorima.



Slika 9. Priključak DMM



Slika 10. Povezivanje DMM na SCADA sustav

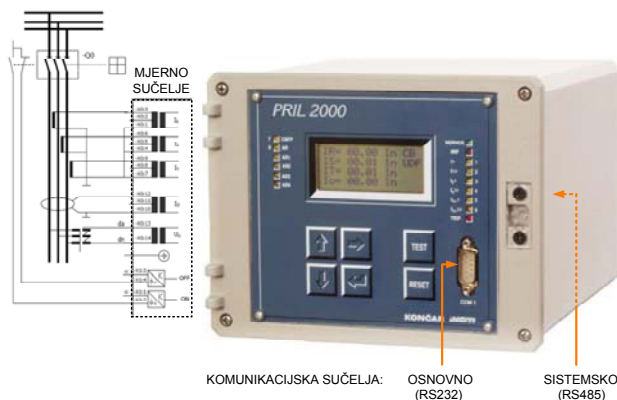
D. Digitalni zaštitni releji

Intenzivnija primjena numeričkih releja u našim distribucijskim elektroenergetskim mrežama počela je prije dvadesetak godina. S obzirom na specifično područje primjene postoji relativno mali broj proizvođača zaštitnih releja, no unatoč tome uređaji pojedinih proizvođača nisu međusobno komunikacijski kompatibilni. Ranije generacije numeričkih zaštitnih releja posjedovale su mogućnost komunikacije kao posebnu sklopovsku opciju dok su suvremeni releji opremljeni s jednim ili više tipova komunikacijskih sučelja (RS232, RS485, USB, Ethernet).

Osnovno komunikacijsko sučelje koristi se za parametrisiranje releja pomoću PC računala spajanjem na serijski komunikacijski kanal i uglavnom je dostupno na prednjoj strani releja putem standardnog DB25 ili DB9 konektora (Slika 11). Neki proizvođači ugrađuju na prednju stranu releja posebno optičko IR sučelje pa je za spajanje na PC računalo potrebno koristiti namjensko IR sučelje. Za parametrisiranje releja proizvođači isporučuju namjensku programsku podršku koja se ovisno o vrsti releja može koristiti i za iščitavanje registriranih podataka iz releja, ako relej posjeduje tzv. funkciju zapisa događaja. Programska podrška za parametrisiranje releja najčešće koristi specifični komunikacijski protokol pojedinog proizvođača (DIGSI-Siemens, SPA-ABB, CURIER-Alstom).

Većina releja posjeduje, osim osnovnog, jedno ili više tzv. sistemskih komunikacijskih sučelja koja se koriste za brzu međurelejnju izmjenu podataka vezanu uz složenije zaštitne funkcije odnosno povezivanje releja na SCADA sustav. Sistemska komunikacijska sučelja smještena su u pravilu na stražnjoj strani releja i predviđena su za trajno spajanje na lokalnu komunikacijsku mrežu. Radi integriranja releja u nadređene nadzorno-upravljačke sustave sistemska komunikacijska sučelja podržavaju standardne komunikacijske protokole:

- MODBUS RTU
- DNP 3
- IEC 60870-5 (IEC-101, IEC-103, IEC-104)
- IEC 61850.



Slika 11. Digitalni zaštitni relej

Mjerno sklopovlje numeričkih releja sukladno je zahtjevima [1], međutim lokalna obrada mjerenih podataka prilagođena je njihovoj specifičnoj (zaštitnoj) funkciji. Korištenja digitalnih zaštitnih releja za potrebe prikupljanja podataka o KEE ovisi i o komunikacijskoj dostupnosti releja tj. da li postoji "slobodno" sistemsko komunikacijsko sučelje.

E. Digitalni upravljači polja

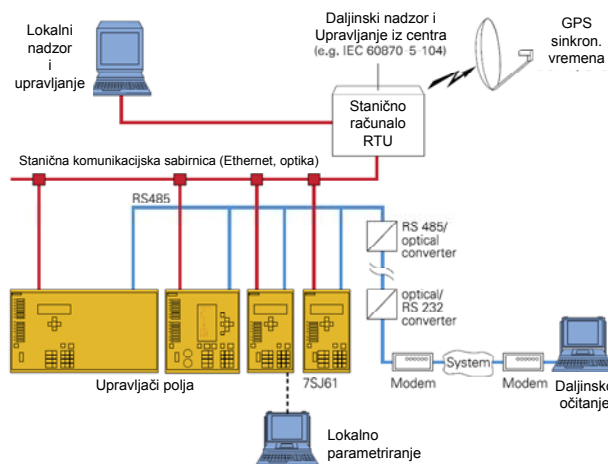
Sve intenzivnijom primjenom inteligentnih elektroničkih uređaja (IED) u elektroenergetskim postrojenjima u području zaštite, nadzora i upravljanja te mjerenja javio se problem međusobne kompatibilnosti takvih uređaja. Iako su svi IED opremljeni komunikacijskim sučeljima, integriranje takvih uređaja u kompleksne sustave automatizacije postrojenja bilo je moguće samo putem relativno sporih serijskih komunikacijskih kanala i standardnih RTU protokola što je predstavljalo ograničenje za povećanje učinkovitosti većine aplikacija. Opremanjem novih generacija IED brzim Ethernet komunikacijskim kanalima stvoreni su preduvjeti za novi pristup integracije sustava automatizacije postrojenja u cilju smanjivanja troškova uspostave takvih sustava (Slika 12). Pojavom novog objektno orijentiranog komunikacijskog standarda IEC 61850 određeni su komunikacijski zahtjevi, funkcijske karakteristike, struktura i nazivlje podataka te način kako aplikacije upravljaju uređajima čime je omogućena interoperabilnost između funkcija i uređaja neovisno o proizvođačima opreme. Rezultat primjene navedenog standarda je pojava integriranih IED tzv. upravljača polja (bay-controller) koji na zajedničkom sklopovlju objedinjuju funkcije zaštite, nadzora, upravljanja i mjerenja u postrojenjima (Slika 13). Zajedničke karakteristike takvih IED su:

- procesno sučelje za trofazno mjerenje struja i napona
- procesno sučelje za signalizaciju i upravljanje
- komunikacijsko sučelje sukladno IEC 61850
- korisničko sučelje s displejom i tipkovnicom
- programibilno definiranje funkcija prema zahtjevu.

S obzirom na sklopovske performanse takvih uređaja oni mogu biti izvor mjerenih podataka za potrebe nadzora KEE, međutim potrebno je razmotriti mogućnosti deriviranja potrebnih podataka iz postojećih aplikacija.



Slika 12. IED – upravljač polja



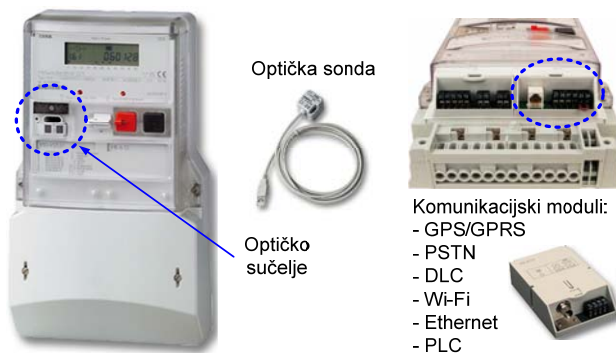
Slika 13. Integracija IED-a u SCADA sustav

F. Brojila s daljinskim očitanjem

Razvoj elektroničkih brojila zasnovanih na mikroprocesorskoj tehnologiji omogućio je uspostavu digitalne komunikacije s brojilom. Prve generacije digitalnih brojila imale su komunikacijski kanal s optičkim sučeljem, predviđen prvenstveno za parametriranje brojila, koji se mogao koristiti i za očitavanje stanja brojila. Novije generacije digitalnih brojila imaju uz osnovno optičko sučelje mogućnost modularnog opremanja raznim komunikacijskim sučeljima ovisno o raspoloživim komunikacijskim medijima (Slika 14) [8]:

- analogni modem
- ISDN modem
- GSM/GPRS modem
- Ethernet LAN
- Wi-Fi LAN
- PLC (Power Line Carrier) modem.

Budući da se brojila koriste za obračunska mjerenja, točnost mjernog sučelja sukladna je [1], ali frekvencija uzorkovanja odnosno agregacija mjerenih vrijednosti nije prilagođena potrebama nadzora kvalitete napona. Procesna moć i kapacitet memorije današnjih brojila nije dostatna za određivanje parametara kvalitete napona, a i dostupnost podataka ograničena je performansama raspoloživih komunikacijskih kanala.

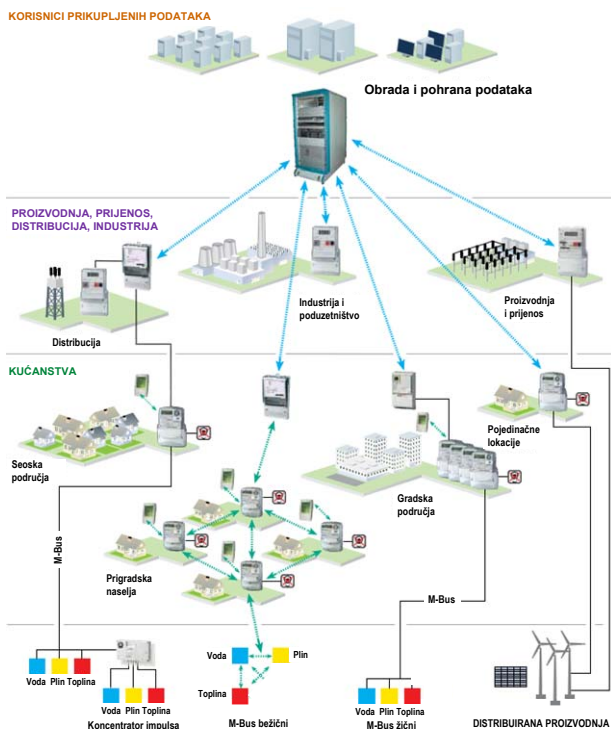


Slika 14. Elektroničko brojilo za AMR sustav

Očitivanja brojila za potrebe obračuna obavljaju se relativno rijetko pa se uglavnom koriste komunikacijski mediji s malim investicijskim troškovima odnosno oni čija je cijena korištenja proporcionalna trajanju komunikacije, a ne količini prenesenih podataka - stoga su se do sada uglavnom koristile usluge GSM bežične telefonije za prijenos podataka.

Kako bi participirali u razvoju naprednih mreža na proizvođače brojila postavljaju se sve veći zahtjevi glede procesne moći i kapaciteta memorije. Mogućnost korištenja digitalnih brojila s daljinskim očitanjem za potrebe nadzora KEE bitno ovisi o programskim aplikativnim mogućnostima samog brojila. Budući da nadzor KEE zahtijeva lokalnu obradu i pohranu velike količine podataka, samo brojila koja posjeduju mogućnost pohrane mjernih i registriranih podataka za određeni vremenski period (barem 24 sata) mogu poslužiti kao izvor podataka za nadzor KEE s time da se učestalost očitavanja prilagodi memorijskom kapacitetu brojila.

Dodatni problem predstavlja dostupnost podataka drugim korisnicima s obzirom da se očitavanja obavljaju iz centra pomoću posebnih programskih aplikacija za obračun el. energije koje nisu predviđene za prikupljanje i pohranu podataka za potrebe nadzora KEE. U razvijenim zemljama EU nastoje se AMR sustavi višenamjenski koristiti tj. objediniti daljinska očitavanja potrošnje svih energenata: električne energije, toplinske energije, plina i vode (Slika 15) budući da se suvremena električna brojila mogu opremiti sučeljem za primanje impulsa brojila drugih energenata ili se mogu opremiti komunikacijskim sučeljem za brojila drugih energenata (M-bus).



Slika 15. Koncept višenamjenskog AMR sustava

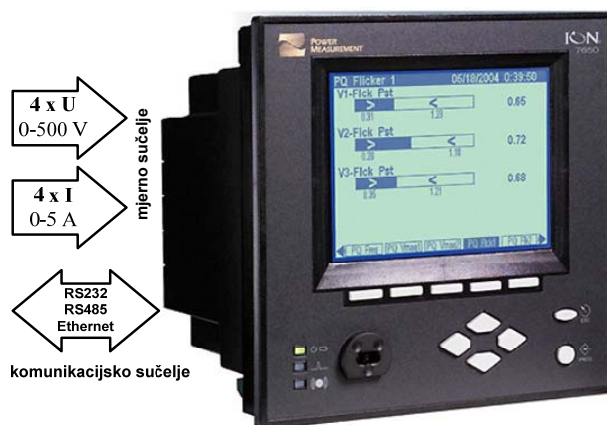
G. PQ monitori

Zakonska regulativa koja OPS odnosno ODS obvezuje da potrošačima ispostavlja izvješća o KEE utjecala je na razvoj uređaja namijenjenih nadzoru kvalitete napona predviđenih za trajnu ugradnju u EE postrojenja. Osnovna značajka takvih uređaja je da su dizajnirani tako da omogućuju prikupljanje i obradu mjerenih podataka striktno prema [1] odnosno [6].

Iskustva koja su proizvođači mjerne opreme stekli pri razvoju prijenosne mjerne opreme klase A prvenstveno namijenjene za istraživanje odnosno detekciju problema iskorištena su pri osmišljavanju uređaja za trajni nadzor KEE. Nastojanje proizvođača da nadzorna oprema za trajnu ugradnju ispuni zahtjeve klase A utjecalo je na relativno visoku cijenu što je osnovni nedostatak konvencionalnih PQ monitora (Slika 16) [9].

Drugi nedostatak očituje se u složenoj i skupoj programskoj podršci za obradu mjerenih podataka. Kako je postojeća programska podrška za obradu podataka prikupljenih prijenosnim instrumentima i generiranje izvješća logično bila prilagođena PC tehnologiji odnosno Windows platformi, na toj je osnovi razvijana i podrška za PQ monitore. Velika količina podataka koja se obrađuje i pohranjuje pri trajnom nadzoru KEE utjecala je na sklopovsku strukturu opreme koja je zbog toga strukturirana na bazi industrijskog PC računala što je uz zahtjev za klasom A nužno rezultiralo visokom cijenom. Stoga je ugradnja opreme za trajni nadzor KEE bila ograničena na točke preuzimanja el. energije između OPS-a i ODS-a kojih u EE sustavu ima relativno malo.

Praćenje KEE implicira potrebu za ugradnjom velikog broja nadzornih uređaja na mjestima isporuke el. energije tretirane kao roba. Naravno da idealna situacija, pri kojoj bi svako mjesto preuzimanja el. energije bilo opremljeno PQ monitorom, nije financijski ostvariva, međutim to nije ni nužno, jer su određeni parametri kvalitete napona zajednički za sve potrošače priključene na određenu točku distributivne mreže. Stoga se dobrom strategijom ugradnje PQ monitora na karakteristična mjesta u mreži može postići zadovoljavajuća pokrivenost za potrebe nadzora KEE i izvješćivanja potrošača.



Slika 16. Konvencionalni PQ monitor

III. PQ MONITORI NOVE GENERACIJE

A. Ograničenja SCADA sustava

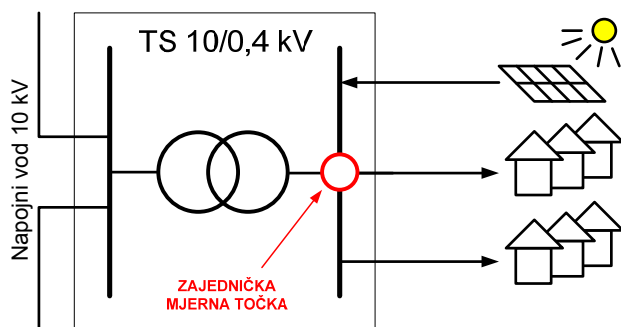
S obzirom na svoju hijerarhijsku strukturu SCADA sustavi mogu predstavljati osnovu za integraciju sustava nadzora KEE, međutim distribucijski SCADA sustavi koji obuhvaćaju samo naponske razine 35 kV i 10(20) kV ne približuju se električki dovoljno krajnjim potrošačima na niskom naponu, koji u RH čine više od 90% priključaka, jer objekti TS 10/0,4 kV uglavnom nisu uključeni u sustav daljinskog nadzora i upravljanja. Problemi vezani uz KEE najčešće nastaju zbog povratnog djelovanja potrošača na distribucijsku mrežu, a u novije vrijeme tome sve više doprinose i distribuirani izvori koji se priključuju na NN mrežu. Zadovoljavajuća osmotrivost kvalitete napona u NN mreži može se postići jedino uključivanjem objekata TS 10/0,4 kV u sustav nadzora KEE (Slika 17), što implicira ugradnju PQ monitora u oko 25.000 objekata u RH te njihovo komunikacijsko povezivanje u centre nadzora.

Rješavanju navedenog problema u cilju uspostave sustava nadzora KEE bitno može doprinijeti pojava tzv. "low-cost" PQ monitora čija je cijena na tržištu, uz zadovoljavanje performansi iz [1], za red veličine niža od prethodno opisanih konvencionalnih uređaja. Kako je to moguće?

Na tržišnu cijenu PQ monitora općenito utječu slijedeći činitelji:

- cijena razvoja uređaja
- cijena proizvodnje uređaja
- količina proizvoda koji se plasira na tržište
- cijena instalacije uređaja (posebno komunikacijske infrastrukture)
- cijena eksploatacije uređaja (posebno namjenske programske podrške)

s time da se posljednjih godina svi navedeni troškovi osjetno smanjuju što je posljedica razvoja drugih tehnologija koje nisu izravno povezane s proizvodnjom mjernih uređaja za KEE kao što su dostignuća u domeni mobilnih telefona, digitalnih kamera, dlanovnika i prijenosnih računala zbog njihove masovne produkcije.



Slika 17. Mjesto nadzora KEE u NN mreži

B. Smanjivanje troškova razvoja

Implementacija tehnologija DSP (digital signal processor) razvijenih za masovnu primjenu u prijenosnim digitalnim audio/video uređajima rezultirala je jeftinim DSP čipovima koji imaju minimalnu potrošnju, objedinjuju višekanalne A/D pretvornike i optimirani su za obradu signala u audio području (20 Hz÷20 kHz) što je upravo zanimljivo područje za harmoničku analizu mrežnog napona. Minijaturizacija proizašla razvojem mobilnih telefonskih uređaja (smart phone) primijenjena u razvoju PQ monitora bitno je smanjila dimenzije i cijenu potpuno automatizirane proizvodnje tih uređaja. Prihvatanje standardiziranih formata zapisa na izmjenjive memorijske kartice velikog kapaciteta (SD card) omogućuje pohranu mjerenih podataka tijekom dugog vremenskog razdoblja (više godina) i jednostavnu razmjenu s drugim sustavima.

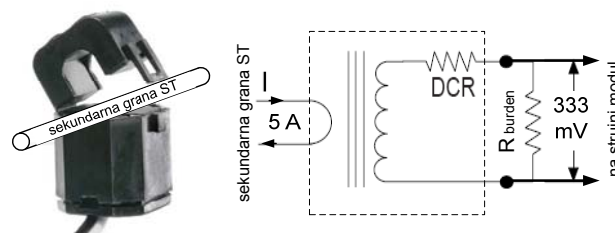
C. Smanjivanje troškova proizvodnje

Utjecaj cijene razvoja PQ monitora po jedinici proizvoda bitno je snizila pojava IEC standarda [1] kojim su definirane performanse mjernih uređaja i ujednačeni zahtjevi na KEE na lokalnoj i svjetskoj razini što je proizvodnim tvrtkama PQ monitora otvorilo znatno šire tržište i povećanje produkcije za dva reda veličine.

D. Smanjivanje troškova instalacije

Konvencionalni PQ monitori posjeduju mjerna sučelja prilagođena standardnim mjernim transformatorima (5A, 100V). Znatni problem može predstavljati naknadna ugradnja PQ monitora u postojeća postrojenja, jer isporučitelji ne dozvoljavaju priključivanje PQ monitora na obračunske mjerne krugove na mjestima preuzimanja el. energije, dok često ne postoji mogućnost dogradnje dodatnog sloga mjernih transformatora ili je to povezano sa znatnim dodatnim troškovima. Upotreba preciznih mjernih ST s rastavljivom jezgrom [10], koji daju naponski izlazni signal (0-333 mV), omogućuje priključak nove generacije PQ monitora s naponskim sučeljem za mjerenje struje na sekundarne grane postojećih ST što bitno pojednostavljuje i pojeftinjuje ugradnju (Slika 18).

Osim problema priključka konvencionalnih PQ monitora na postojeće mjerne krugove, problem može biti i njihov fizički smještaj s obzirom da su predviđeni za ugradnju na vrata rasklopnih ormara, a taj je prostor obično već iskorišten. Nove generacije PQ monitora predviđene su za ugradnju na standardnu montažnu šinu (DIN 35 mm) što bitno pojednostavljuje njihovu ugradnju unutar postojećih rasklopnih ormara.



Slika 18. Mjerni ST s rastavljivom jezgrom

E. Smanjivanje troškova komunikacije

Poseban problem pri eksploataciji konvencionalnih PQ monitora mogu činiti komunikacijski troškovi za prijenos podataka u nadzorni centar, ukoliko na mjestu ugradnje ne postoji komunikacijska infrastruktura. Većina PQ monitora posjeduje kapacitet memorije dostatan za pohranu podataka tijekom jednog obračunskog perioda (do 35 dana) nakon čega se najstariji podaci brišu ustupajući mjesto svježim prikupljenim podacima. Budući da su objekti ODS-a TS 110/35 kV i TS 35/10 kV uključeni u SCADA sustav s vlastitom komunikacijskom infrastrukturom PQ monitori instalirani u te objekte mogu se očitavati putem postojećih komunikacijskih kanala bez dodatnih troškova. Međutim instalacija PQ monitora u objekte TS 10/0,4 kV koji nisu komunikacijski povezani u centar zahtijeva uspostavu komunikacijskog kanala za iščitavanje prikupljenih podataka. S obzirom na broj (25.000) i rasprostranjenost tih objekata teško je očekivati da će oni uskoro biti povezani optičkim kabelima. Stoga bežična GSM/GPRS veza predstavlja jedino rješenje koje pak je povezano s troškovima davatelju komunikacijskih usluga, koji tijekom životnog vijeka konvencionalnog PQ monitora mogu nadmašiti troškove instalacije samog uređaja.

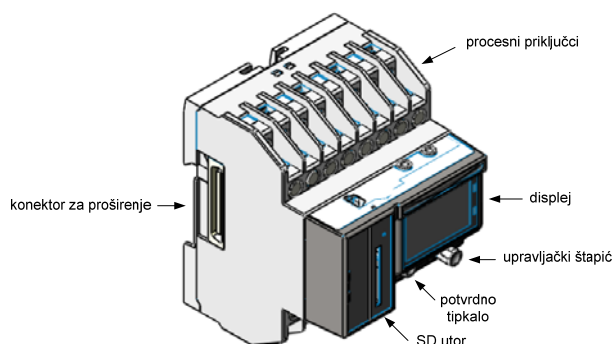
Prednost PQ monitora nove generacije glede komunikacijskih zahtjeva je u tome što zbog velikog kapaciteta memorije praktički ne zahtijevaju spajanje na komunikacijski kanal za daljinsko iščitavanje. Podatci spremni na memorijsku karticu PQ monitora u datoteke standardnog formata mogu se lokalno očitati s izvadene kartice na prijenosno PC računalo kad je to potrebno bez vremenskog ograničenja intervala iščitavanja. To ujedno znači da sustav nadzora KEE zasnovan na takvim PQ monitorima ne zahtijeva komunikacijski sustav što bitno smanjuje troškove eksploatacije.

F. Smanjivanje troškova programske podrške

Postoji još jedna prednost PQ monitora nove generacije glede troškova održavanja vezanih uz programsku podršku. Za prikupljanje i obradu podataka iz konvencionalnih PQ monitora koristi se posebna programska podrška na Windows platformi koja osim velikih inicijalnih troškova instalacije generira i troškove održavanja sukladno pojavi novih inačica operacijskog sustava. Nasuprot tome PQ monitori nove generacije ne zahtijevaju posebnu programsku podršku za obradu podataka, jer se cjelokupna obrada mjerenja obavlja u samom uređaju te se u memoriju pohranjuju gotovi izvještaji u standardnim formatima (csv, html, jpeg, PQDIF) čime se eliminiraju troškovi nabave, instalacije i održavanja specifične programske podrške.

G. PQube – „low cost“ PQ monitor

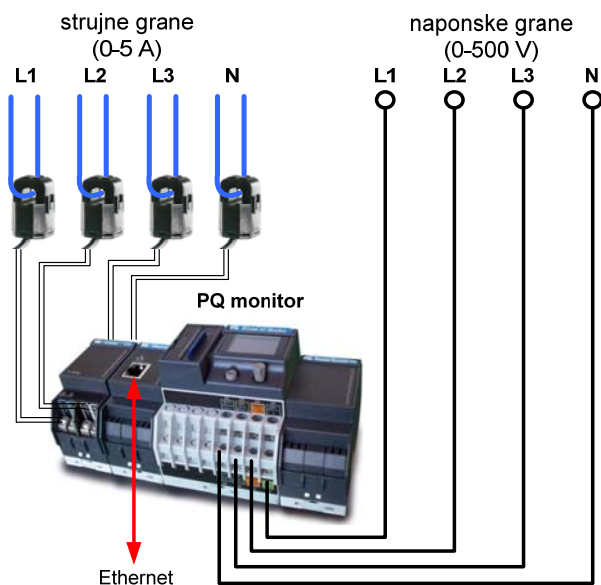
Uređaj predstavlja kombinaciju DMM, registratora mjerenih veličina i registratora smetnji s lokalnom obradom podataka sukladno zahtjevima [1] i [6] te pohranom podataka na SD memorijsku karticu kapaciteta dostatnog za višegodišnje kontinuirano praćenje KEE (Slika 19) [11].



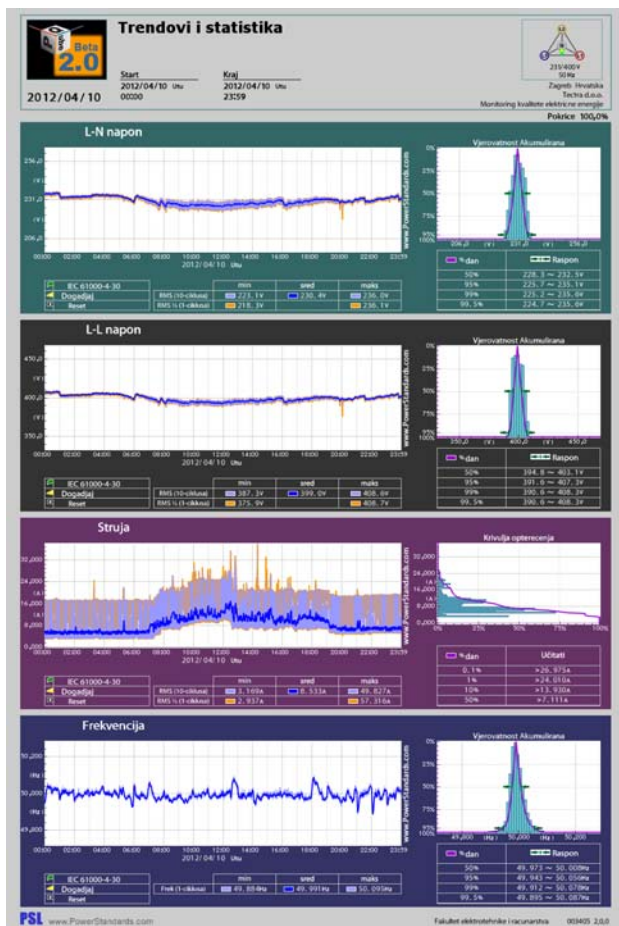
Slika 19. PQube monitor – osnovni modul

Uređaj je modularne strukture – sastoji se od osnovnog modula koji se funkcionalno može proširivati dodatnim modulima. Predviđen je za unutarnju montažu u razvodne ormare na standardnu montažnu šinu 35 mm. Na gornjoj strani kućišta izvedeno je korisničko sučelje koje se sastoji od LCD displeja u boji te namjenskog četverosmjernog štapićastog upravljača i potvrdnog tipkala. Prikaz svih mjerenja te pregled pohranjenih i obrađenih podataka obavlja se na LCD displeju u boji. Modul se napaja izmjeničnim ili istosmjernim naponom 24 V. U kućištu se nalazi litij-baterija koja omogućuje rad modula i nakon prekida napajanja. Dodatni napojni, strujni i komunikacijski moduli su istog profila kao osnovni modul i učvršćuju se na montažnu šinu zajedno s osnovnim modulom, a spajaju na osnovni modul pomoću ugrađenog konektora (Slika 20).

Uređaj ne zahtijeva posebnu korisničku programsku podršku, jer s vlastitom programskom podrškom automatski obrađuje mjerene podatke i izrađuje izvješća u grafičkom obliku (Slika 22) koja pohranjuje na memorijsku karticu. Putem komunikacijskog Ethernet modula uređaj se može priključiti na računarsku mrežu za potrebe daljinskog nadzora - web-server (Slika 23) odnosno prikupljanja podataka - ftp-server (Slika 23).



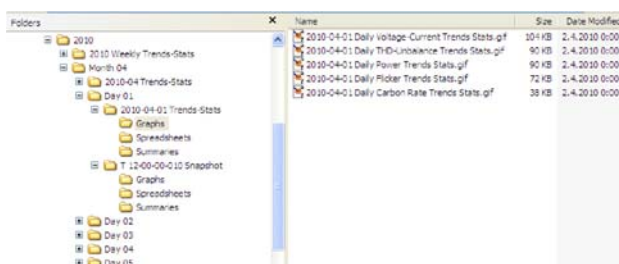
Slika 20. Priključak PQube monitora



Slika 21. Statistički obrađena mjerenja (gif datoteka)



Slika 22. Osnovna web stranica



Slika 23. Struktura datoteka na SD kartici

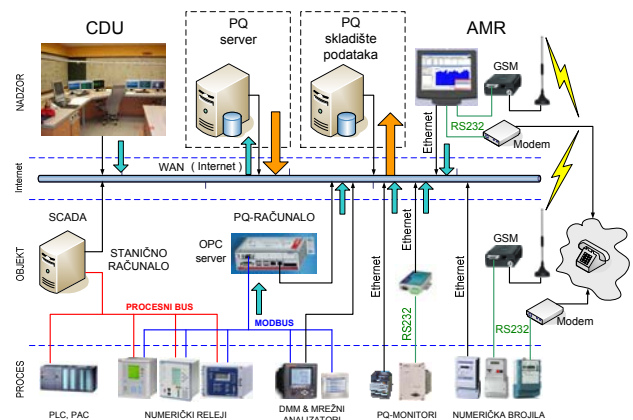
Tablica 2 Značajke PQube monitora

Veličina	Karakteristike
Frekventni opseg	40 Hz – 70 Hz
Konfiguracija mjerenja	jednofazno, spoj u trokut, spoj u zvijezdu
Nazivni napon	Un = 100 – 690 Vac međufazno
Mjerni kanali	faza-faza, faza-nula, nula-zemlja
Uzorkovanje	256 uzoraka u sekundi
Mjerni opseg	0 – 900 Vac međufazno
Točnost	+/- 0,05% očitavanja +/- 0,05% pune skale
Mjerna metoda	"True RMS" u jednoj periodu i 10/12 perioda
Tranzijentija	+/- 450 Vpp faza-zemlja; visokopropusni filter 4,8 kHz
Nesimetrija	opseg 0-100 %
Izobličenje (THD)	opseg 0-100 %; točnost +/- 0,2 %
Flikeri	srednja vrijednost razlike URMS1/2 i 1-s RMS u % Un prema IEC 61000-4-15
Harmonici	opseg 0-100% osnovnog vala do 63 harmonika
Tip mjerenja struje	vanjski burden transformator
Nazivni ulaz	0,333 V; 1 V; 5V; 10 V
Vršni faktor	3,5 (+/-1,17 Vpp; +/-3,5 Vpp; +/-17,5 Vpp; +/-35 Vpp)
Točnost	+/- 0,2% očitavanja +/- 0,2% pune skale

IV. KONCEPCIJA SUSTAVA ZA NADZOR KEE

Pregledom postojećeg stanja mjerne opreme u distribucijskim objektima EE sustava RH može se zaključiti da postoje znatne razlike u opremljenosti objekata uređajima raznih generacija. Postojeće DMM nove generacije potrebno je uključiti u sustav nadzora KEE. Problem koji se pri tom javlja je količina podataka koje treba trajno pohraniti. S obzirom da su DMM opremljeni komunikacijskim kanalom, pohranjivanje podataka može se obavljati na drugom mjestu no za to treba osigurati brzu on-line vezu. U objektima gdje već postoji računalna infrastruktura (TS 35/10 kV) moguće je takve DMM povezati preko adekvatnog sučelja na računarski sustav gdje se obavlja obrada i pohrana podataka. Međutim ukoliko na lokaciji gdje se ugrađuju DMM ne postoji računalna infrastruktura (TS 10/0,4 kV) potrebno je mjerene podatke obraditi i pohraniti u samom mjernom uređaju što implicira ugradnju PQ monitora. Za prikupljanje podataka o kvaliteti napona i formiranje datoteka koje sadrže dnevne zapise potrebno je u objekte TS 35/10 kV instalirati posebna PQ računala koja će se povezati na centralnu bazu podataka (Slika 24).

Sustav AMR je zasebni sustav koji predstavlja suplement sustavu nadzora KEE i potrebno ga je komunikacijski povezati s centralnom PQ bazom podataka radi razmjene prikupljenih podataka zanimljivih za KEE.



Slika 24. Struktura sustava za nadzor KEE

V. ZAKLJUČAK

Uspostava sustava za nadzor KEE u distribucijskim mrežama je tehno-ekonomski i vremenski vrlo opsežan projekt koji zahtjeva dodatno opremanje velikog broja objekata relativno skupim mjernim uređajima, jer postojeća oprema SCADA sustava uglavnom ne zadovoljava performanse prema IEC standardu [1]. S obzirom da se pri izgradnji novih odnosno rekonstrukciji postojećih TS 35/10 kV ugrađuju novi DMM i IED uređaji oportuno je koristiti njihove opcije koje podržavaju određene mogućnosti praćenja kvalitete napona kako bi se ti uređaji iskoristili i u sustavu za nadzor KEE.

U cilju približavanja točaka, u kojima se prati kvaliteta napona, krajnjim potrošačima potrebno je postupno opremiti TS 10/0,4 kV novom generacijom „low cost“ PQ monitora koje nije nužno povezivati na centar nadzora, ako to ne opravdavaju troškovi uspostave i korištenja komunikacijskih kanala (GSM/GPRS). Iščitavanje podataka iz tih uređaja može obavljati lokalno u relativno dugim vremenskim intervalima s obzirom na veliki kapacitet njihove memorije za pohranu već obrađenih mjerenih podataka u obliku datoteka u standardnim alfanumeričkim i grafičkim formatima.

LITERATURA

- [1] International Standard IEC 61000, Electromagnetic compatibility (EMC), Part 4-30: "Testing and measurement techniques – Power quality measurement methods", Reference number CEI/IEC 61000-4-30:2003
- [2] "Opći uvjeti za opskrbu električnom energijom", Narodne novine, br. 14, 2006.
- [3] The european parliament and the council of the european union, Directive 2003/54/EC: "Common rules for the internal market in electricity", 26. June 2003.
- [4] "Zakon o tržištu električne energije", Narodne novine, br. 177, 2004.
- [5] "Mrežna pravila elektroenergetskog sustava", Narodne novine, br. 36, 2006.
- [6] European standard EN 50160, "Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution systems ", ICS 29.020, November 1999
- [7] "ITI (CBEMA) curve application note", Information Technology Industry Council (ITI), 1101 K Street NW, Suite 610, Washington DC 20005, (202) 737-8888, 2000
- [8] "MT831 - modularno industrijsko brojilo", ISKRAEMECO, www.iskraemeco.hr
- [9] "ION 7650 Brochure", Schneider Electric USA, Inc., 11/2010, www.PowerLogic.com
- [10] "High accuracy split core CTs", DENT Instruments, Inc., Oregon 97702 USA, 2011
- [11] "PQube - Installation & User's Manual", PSL Power Standards Lab, Alameda CA 94501 USA, 2011, www.PowerStandards.com
- [12] "Nadogradnja sustava vođenja i informacijskih sustava HEP - ODS d.o.o. - implementacija sustava nadzora kvalitete električne energije", FER Zagreb, Zavod za visoki napon i energetiku, 2010.