

## SISTEM ZA ANALIZU KVALITETA ELEKTRIČNE ENERGIJE BAZIRAN NA PC RAČUNARSKOM SISTEMU

Zoran Lazarevic, Nikola Laketić, Elektrotehnički fakultet Beograd

*Sadržaj:* U cilju otklanjanja nepravilnosti u radu VN sinhronih motora napravljen je ekonomičan sistem za praćenje poremećaja, akviziciju podataka i analizu kvaliteta električne energije. Sistem sačinjavaju PC računar, akviziciona kartica (sa A/D konvertorom i brojačem-tajmerom), specijalno napisan softver za detekciju poremećaja i njegovo snimanje, kao i komercijalni matematički softver za off-line analizu podataka.

*Ključne reči:* kvalitet električne energije, sinhroni motori, digitalna obrada signala

### 1. UVOD

#### 1.1 Opis problema

U poslednjih godinu dana se u više navrata u pogonu Tehnogasa u Smederevu javljala pojava povremenih elektromehaničkih oscilacija rotora sinhronih motora. Ove oscilacije su se manifestovale u povremenim fluktuacijama pokazivanja ampermetara, voltmetara i vatmetara i oscilovanju brzine obrtanja svih sinhronih motora. Njihova osnovna karakteristika je neregularnost u dužini trajanja, učestanosti i intenzitetu oscilovanja.

S obzirom da ovakav rad sinhronih motora može da dovede do kvarova na mehaničkoj vezi motora sa turbokompresorom (sistemu spojnica, ležajevi i zupčanic), pojavila se potreba za utvrđivanjem trenutnog stanja i mogućih uzroka oscilovanja.

#### 1.2 Kvalitet električne energije

I proizvođači i korisnici električne energije postaju sve zainteresovaniji za problematiku u vezi sa **kvalitetom električne energije**. Sam termin nije nov, ono što je novo je to što inženjeri počinju da se bave ovom problematikom sa gledišta samog energetskog sistema za razliku od doskorašnjeg individualnog pristupa [1].

Ima četiri glavna razloga za sve veće interesovanje za kvalitet:

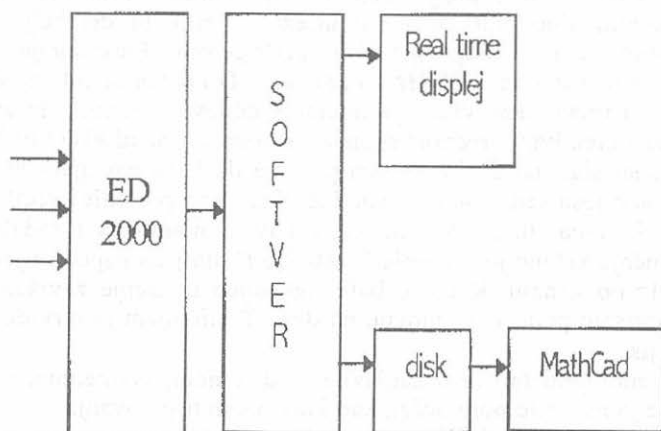
- (1) Potrošači električne energije su sve bolje informisani o negativnim posledicama prekida napajanja, kratkotrajnih propada napona i tranzijentata prilikom prekidanja napajanja i zahtevaju da se poboljša kvalitet isporučene električne energije;
- (2) Oprema kod potrošača je sve osetljivija na varijacije kvaliteta napajanja. Uredaji mnogih novih potrošača su opremljeni mikroprocesorskim sistemima i energetskom elektronikom zbog čega su osetljivi na razne tipove poremećaja;
- (3) Povećani naglasak na globalnu efikasnost energetskog sistema je doveo do stalnog povećanja aplikacija sa regulisanim elektromotornim pogonima, uređajima visoke efikasnosti i otočnim kondenzatorima za korekciju sačinioća snage. Sve to dovodi do uvećanja nivoa viših harmoničnih komponenti u elektroenergetskom sistemu i do naglašene potrebe inženjera za proučavanje njihovog uticaja na sistem;
- (4) Elektroenergetski sistem je veliki i složen sistem. Ispad bilo koje komponente jednog takvog sistema može imati značajne posledice za sistem u celini.

U pozadini svih prethodnih razloga je zahtev za povećanje produktivnosti potrošača. Interesantno je da obostrana zainteresovanost potrošača i proizvođača električne energije za povećanje produktivnosti dovodi do uvođenja u pogon sve savremenije opreme, koja je često osetljiva na varijacije kvaliteta električne energije, i do dodatnih problema u vezi sa kvalitetom isporučene energije.

## 2. METOD

Primenjeni metod analize se bazira na praćenju i snimanju talasnih oblika napona i struja visokonaponskih sinhronih motora i njihovoj daljoj obradi i tumačenju.

Struje i naponi su snimani na sekundarnoj strani mernih transformatora koristeći specijalno konfigurisan akvizicioni sistem sa PC računarom. Kao rezultati merenja dobijaju se ASCII fajlovi sa snimljenim podacima. Ovi podaci predstavljaju trenutne vrednosti napona i struja u sistemu i snimljeni su u visokoj rezoluciji kako bi naknadna analiza dala što preciznije podatke. Ovako dobijene datoteke se obrađuju na odgovarajući način programskim paketom MatCad Plus 6.0.



Slika 1: Uprošćeni blok dijagram sistema za analizu kvaliteta el. energije

Praćenje trenutnih vrednosti napona i struja je vršeno kontinualno a njihovo memorisanje se obavljalo u trajanju od 15 s na osnovu jednog od tri slučaja trigerovanja:

- ukoliko dođe do trenutne, kratkotrajne promene napona u unapred utvrđenim granicama;
- ukoliko se efektivna vrednost napona promeni u unapred utvrđenim granicama;
- u regularnim vremenskim intervalima iako nije registrovan ni jeda od uslova (A) i (B);

Kompletan akvizicioni sistem je zahvaljujući odgovarajućem hardveru i softveru imao dvostruku ulogu:

- analizator poremećaja;
- analizator viših harmoničnih komponenti [2].

Izlaz iz programa je grafičkog karaktera. Podaci se čuvaju u datotekama sa ASCII vrednostima izmerenih veličina, tako da se može izvršiti dodatna statistička analiza ili se mogu koristiti kao ulaz u druge komercijalne programe.

### 3. HARDVER

Prikupljanje podataka je izvršeno akvizicionim sistemom koji je baziran na PC platformi sa akvizicionom karticom ED2000 [4,5,6]. Na kartici se nalaze AD konvertor, osmokanalni multiplekser i counter timer moduli. AD konvertor je rezolucije 12 bita, opseg napona  $\pm 10$  V. Vreme konverzije je 6.5  $\mu$ s ( 3  $\mu$ s za samu konverziju i 3.5  $\mu$ s za smirivanje multipleksera). Hardver za kondicioniranje signala ugrađen je u menu ćeliju i sastoji se od analognog priključnog panela ED 1770 AD, naponskih transformatora 220/18 V i strujnog šanta.

### 4. SOFTVER

#### 4.1 Softver za praćenje i akviziciju

Za ovu priliku je u programskom jeziku Turbo Pascal ver. 5.0 [3] napisan softver koji kontinualno prati stanje u mreži, i prilikom detekcije tražene vrste poremećaja snima isti sa odgovarajućim pretrigerom. Frekvencija odabiranja je softverski inicijalizovana na 1600 Hz po kanalu. AD konvertor interaptom signalizira kraj konverzije. Rutina za servisiranje interapta očitava vrednost izmerenog signala, računa trenutnu i efektivnu vrednost signala i smešta u kružni FIFO bafer u memoriji trenutne vrednosti signala. Zatim se vrši provera da li su ispunjeni zadati uslovi za trigerovanje, i ako jesu setuje se odgovarajući fleg. Kao posledica prethodnog, kružni bafer se puni do vrha, tj. koliko mu dozvoljavaju memorija i zadati pretriger. U konkretnom slučaju vršeno je praćenje 3 veličine (2 linijska napona i jedna struja) 15 sec sa 1600 Hz po kanalu. Kada je bafer napunjen (merenje završeno) interapt se zabrani i memorisani podaci se snimaju na disk. Testiranjem je utvrđeno da interapt rutina traje 22  $\mu$ s.

Svaki snimljeni fajl nosi zaglavlje sa datumom, vremenom, rednim brojem kanala na kome je nastupio poremećaj, kao i razlogom trigerovanja.

Svi bitni parametri akvizicije su podesivi: dužina prozora na kome se računa efektivna vrednost, trajanje pretrigera, osetljivost trigera, kao i frekvencija semplovanja i vremenski period tokom koga se snima poremećaj.

Tokom rada programa na ekranu računara mogu se pratiti efektivne vrednosti napona i struja u sistemu, broj snimljenih fajlova, kao i procena broja poremećaja koji se još mogu snimiti (prema slobodnom prostoru na disku). Tokom samog snimanja poremećaja, na ekranu se može videti razlog trigerovanja kao i vreme do kraja snimanja.

#### 4.1 Off-line analiza

Snimljeni podaci analizirani su programima napisanim u programskom paketu MathCad 6.0. Ovim programima računata je envelope naponskih i strujnih signala, kao i učestanost naponskih signala.

Sve veličine računata su numerički po metodi najmanjih kvadrata. Kao idealna funkcija korišćena je funkcija oblika  $f(A, \omega, \varphi) = A \cdot \sin(\omega t + \varphi)$ . Fitovanjem parametara  $A$ ,  $\omega$ , i  $\varphi$  dobijane su amplituda, učestanost i fazni stav naponskog i strujnog signala. Fitovanje je vršeno MatCad funkcijom  $\text{genfit}(vx, vy, vd, F)$ ; gde su:  $vx$ ,  $vy$  - vektori koji sadrže  $x$  (vreme) i  $y$  (trenutna vrednost) koordinate memorisanog

signala;  $\mathbf{vd}$  - vektor sa početnim vrednostima za  $A$ ,  $\omega$ , i  $\varphi$ ;  $F$  - vektor oblika:  $F = [f \ \partial f/\partial A \ \partial f/\partial \omega \ \partial f/\partial \varphi]$  - slika 2.

$$F(z, u) := \begin{bmatrix} \sin(z \cdot u_1 + u_2) \cdot u_0 \\ \sin(z \cdot u_1 + u_2) \\ z \cdot u_0 \cdot \cos(u_1 \cdot z + u_2) \\ u_0 \cdot \cos(u_1 \cdot z + u_2) \end{bmatrix}$$

U cilju što efikasnije analize napisan je potprogram u MathCad-u koji učitava jedan po jedan fajl sa snimljenim podacima i nakon fitovanja kao izlaz daje novi fajl sa podacima o amplitudi i frekvenciji signala tokom posmatranog perioda -slika 3.

Slika 2:  $F = [f \ \partial f/\partial A \ \partial f/\partial \omega \ \partial f/\partial \varphi]$

Zbog filtriranja snimljenog signala fitovanje se vrši na prozoru dužine 4 periode, tj 128 tačaka. Ova vrednost za dužinu prozora usvojena je posle niza numeričkih testova na signalu poznatog oblika - jer je zaključeno da se pri ovoj dužini prozora postiže najbolji odnos vremena izvršenja potprograma i upotrebljivosti dobijenih podataka. U cilju dobijanja što bolje rezolucije prozor se pomera duž snimljenog intervala u koracima od 32 tačke. U svakom koraku (ukupno ima 400 koraka) vrši se fitovanje parametara  $A$ ,  $\omega$ , i  $\varphi$  kako naponskog, tako i strujnog signala. Izlaz iz potprograma je matrica na osnovu koje su nacrtani grafici u glavi 5: Rezultati merenja.

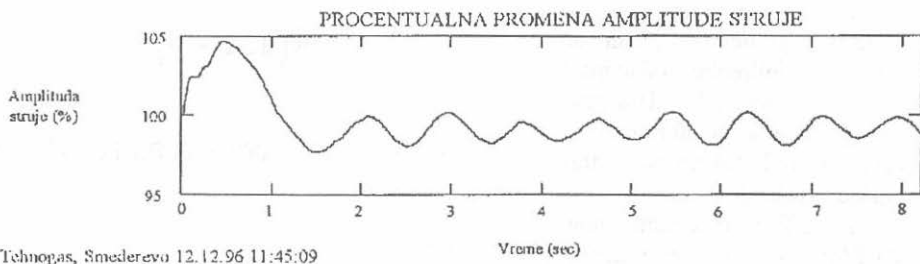
```
d := | j ← 0
      | for i ∈ 0, 32..12400
      |   vx ← submatrix(v, i, i + 128, 0, 0) · 2 · π
      |         1600
      |   vs ← submatrix(v, i, i + 128, 3, 3)
      |   vv ← submatrix(v, i, i + 128, 1, 1)
      |   j ← j + 1
      |   p<j> ← genfit(vx, vs, vd, F)
      |   g<j> ← genfit(vx, vv, vg, F)
      |   p<j> ← |p<j>|
      |   g<j> ← |g<j>|
      |   r<j> ← stack(p<j>, g<j>)
      | r
```

## 5. REZULTATI MERENJA

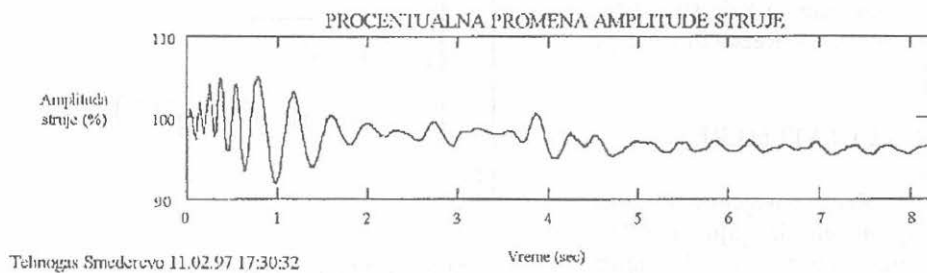
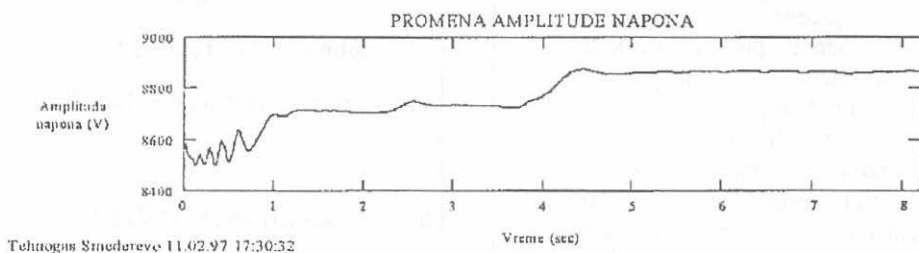
Zbog usvojenog matematičkog modela javljaju se pikovi promene učestanosti pri naglim promenama napona. Fizički do ovakvih promena učestanosti u elektroenergetskom sistemu ne može doći.

Slika 3: MathCad potprogram

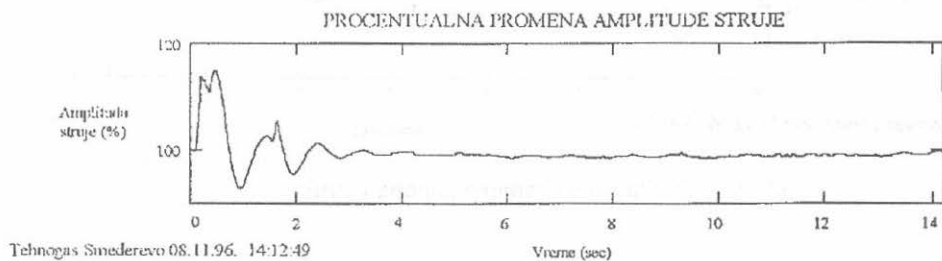
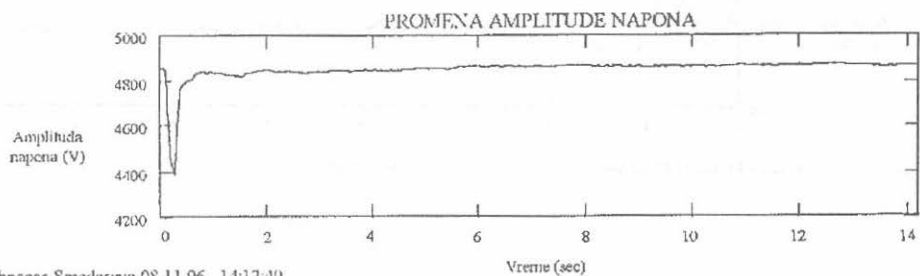
Na slici 4 je registrovana kratkotrajna promena efektivne vrednosti faznog napona u trajanju od 200 ms, koja je praćena oscilacijama efektivne vrednosti struje u trajanju od približno 4 s, sa maksimalnim odstupanjem od 15%. Varijacija učestanosti nije registrovana.



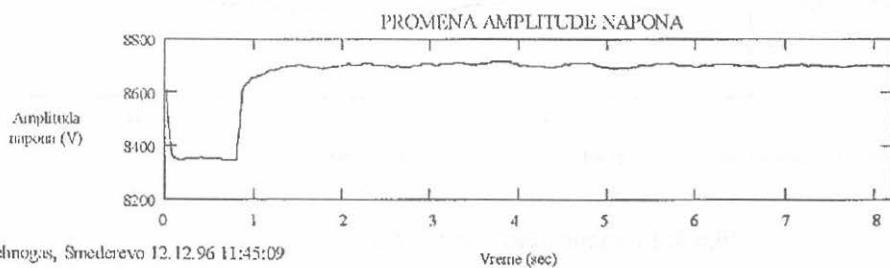
Slika 5b: Promena amplitude struje usled oscilacije napona sa slike 5a



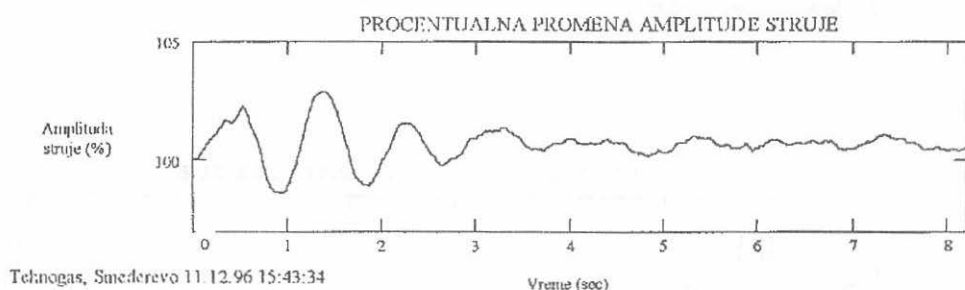
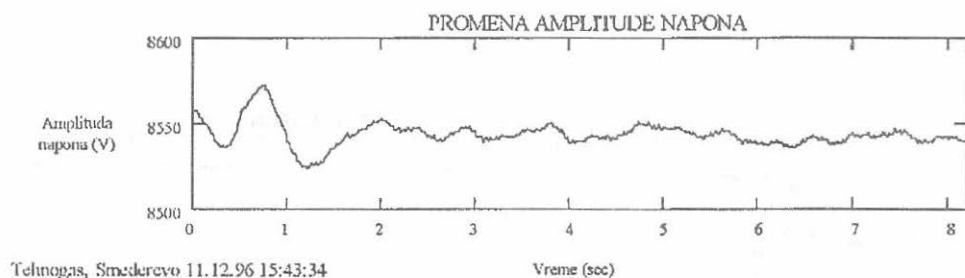
Slika 6: Tipičan primer dugotrajne promene napona i struje



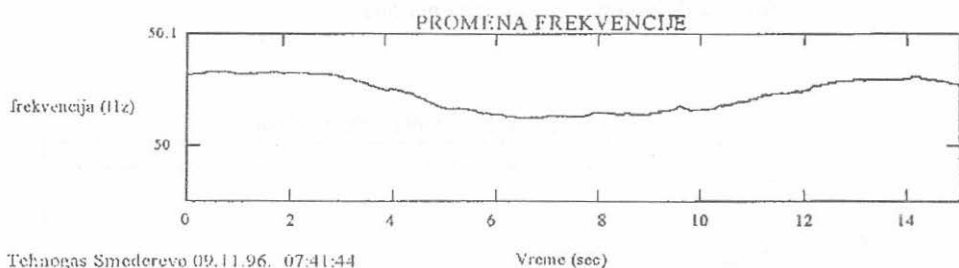
Slika 4: Kratkotrajna promena napona



Slika 5a: Promena napona u trajanju od 1 sec



Slika 7: Oscilatorne promene napona i struja



Slika 8: Promena učestanosti u EES-u.

Za razliku od ovakve kratkotrajne promene napona na slici br. 5 je snimljen nagli propad napona u trajanju od 1 s, sa izraženom pojavom oscilacije struje motora. I u ovom slučaju nije registrovano odstupanje učestanosti od svoje stacionarne vrednosti. Registrovan je i niz slučajeva sa dugotrajnom promenom napona i karakterističnom postepenom restauracijom. Tipičan primer je dat na slici 6.

Uočen je i čitav niz pojava sa oscilatornom varijacijom napona. Na slici 7 prikazan je jedan od snimaka. Na slici br. 8 je predstavljen režim tokom kog je došlo i

do promene učestanosti u EES-u. Tokom ovih sporih oscilacija nisu registrovane značajne promene efektivnih vrednosti napona i struje motora. Treba napomenuti da je izmerena vrednost učestanosti po pravilu odstupala od dozvoljenih vrednosti.

## 6. ZAKLJUČAK

U radu je prikazan višenamenski sistem za nadgledanje, akviziciju i analizu kvaliteta električne energije u EES-u. Činjenica da je uređaj baziran na primeni standardnog PC računara, akvizicione kartice i odgovarajućeg softvera, a da su koristi od njegove primene velike, čini ovaj sistem veoma ekonomičnim. Na osnovu izmerenih promena napona, struja i učestanosti i izvršenih analiza dolazi se do zaključka da su nagle promene napona u mreži uzročnici pojave elektromehaničkih oscilacija rotora sinhronih motora i da učestanost u EES odstupa od dozvoljenih vrednosti.

## LITERATURA

- [1] R.C. Dugan, M.F. McGranaghan, H.W. Beaty, "Electrical Power Systems Quality", *McGraw Hill* 1996
- [2] J. Arrillaga, D.A. Bradley, P.S. Boder "Power System Harmonics", *John Wiley & Sons* 1985
- [3] S.K. O'Brien, "Turbo Pascal The complete reference", *McGraw Hill* 1989
- [4] PCI-2001C-1A, General purpose carrier Manual, *A Burr Brown Company* 1988
- [5] ED2019-AD Brzi analogni modul, *Electronic design* 1995
- [6] PCI-20007M-1A Counter/Timer/Rate Generator with 2 channel Quadrature Decoder Manual, *A Burr Brown Company* 1988.

**Abstract:** An economical PC based monitoring system was built in order to track the electromechanical oscillations of HV synchronous machines, perform the data acquisition and monitor the power system quality. System components are PC computer, data acquisition card, custom made software for disturbance tracking and recording. For off line digital signal processing the Math Cad 6.0 routines were written and used.

## PERSONAL COMPUTER BASED INSTRUMENT FOR POWER QUALITY ANALYSIS

Zoran Lazarevic, Nikola Laketić