

Razvoj algoritma za kalibracijo PMU naprav

Miha Kokalj, Rado Lapuh, Matjaž Lindič, Boštjan Voljč, Borut Pinter, Zoran Svetik

*Slovenski institut za kakovost in meroslovje (SIQ), Tržaška cesta 2, 1000 Ljubljana, Slovenija
miha.kokalj@siq.si*

High accuracy signal parameter estimation algorithm for calibration of PMU devices

The paper describes the implementation of a high accuracy signal parameter estimation algorithm for estimating signal parameters of Phasor Measurement Unit (PMU). The algorithm presented is compared with standard four parameter sine fit algorithm, showing improved performance for harmonically distorted signals, which are commonly present in power line signals.

1 Uvod

PMU (Phasor Measurement Unit) je naprava, ki se uporablja v energetskega sistema za merjenje frekvence, amplitude napetosti in toka ter njunega faznega kota ob znanih časovnih intervalih. Posamezne PMU naprave se uporabljajo v pametnem omrežju (Smart Grid), kjer se njihovi podatki uporabljajo za regulacijo ter spremljanje stabilnosti in kvalitete energetskega omrežja.

Podatki, ki jih podajajo PMU naprave, se uporabljajo v realnem času, zato poleg vrednosti frekvence, amplitud ter faze vsebujejo še podatek o točnem času (TimeStamp), v katerem so bili podatki zajeti. Le na takšen način je možna primerjava in usklajevanje podatkov s posameznih PMU naprav oziroma s posameznih delov omrežja. Ker so PMU parametri vezani na referenčni čas, jih imenujemo tudi sinhrofazorji.

Za PMU naprave še niso razviti poenoteni kalibracijski postopki, zato se trenutno razvijajo novi referenčni PMU merilniki in PMU kalibratorji. Za pravilno delovanje in uporabo PMU naprav je potrebno zagotoviti njihovo celovito in poenoteno kalibracijo. Ta bo določena v bližnji prihodnosti, tudi v sklopu novega standarda za področje pametnih omrežij, ki je še v pripravi [4].

Najbolj kritičen element referenčnega PMU merilnika je algoritem za izračun sinhrofazorjev. V članku je tako predstavljen nov algoritem za izračun PMU parametrov ter rezultati primerjave med njim in že uveljavljenim 4PSF algoritmom (algoritem s štiriparametričnim sinusnim prilagajanjem).

2 Motivacija za pametno energetska omrežja

V informacijski dobi je v uporabi vedno več električnih naprav in posledično se je močno povečala tudi poraba

električne energije. Zaradi močnega onesnaževanja okolja pri klasičnem pridobivanju električne energije so v porastu alternativni viri pridobivanja električne energije (vetrne elektrarne, fotovoltaične elektrarne, ...). Problem nastane pri vključevanju takšnih alternativnih virov električne energije v električno omrežje, saj zaradi svojega nepredvidljivega delovanja (proizvodnja električne energije je odvisna predvsem od zunanjih dejavnikov, kot je sonce, veter, ..., na katere nimamo vpliva) kot tudi močnega vnašanja motilnih signalov lahko pogosto povzročijo nestabilne razmere na električnem omrežju in v najslabšem primeru tudi njegov razpad.

Vsi ti problemi so pripeljali do ideje, da je za upravljanje takšnih omrežij potrebno uporabiti pametno regulacijo in na ta način lahko tudi sama omrežja postanejo pametna omrežja.

Najprej pa je potrebno omrežje izdatno preučiti. To je postal izziv za meroslovne kroge in izoblikoval se je projekt »SmartGrid Metrology«, ki je v okviru evropskega meroslovnega raziskovalnega programa (EMRP) finančno podprt s strani EU.

Namen projekta je izdelati model in simulacijo omrežja, razviti sistem za merjenje sinhrofazorjev, razviti protokole za regulacijo in zagotavljanje kvalitete omrežja ter zagotoviti pravilno in točno merjenje porabljene električne energije.

Omrežja, ki smo jih poznali do sedaj, so bila sestavljena iz nekaj velikih elektrarn na eni strani ter porabnikov na drugi strani. Električna moč se je pretakala le v eno smer, od elektrarn do končnih uporabnikov. Omrežja prihodnosti pa naj bi izgledala drugače. Prva razlika je dvosmerni pretok električne energije. Poleg velikih elektrarn se bodo v električno omrežje vedno bolj integrirali tudi lokalni proizvajalci električne energije in sicer bodo to manjši elektrarne na osnovi alternativnih virov. Problem takšnega sistema je velika kompleksnost. Alternativni viri prinašajo v omrežje velika nihanja ter skoke v proizvodnji električne energije, odvisne od zunanjih dejavnikov (veter, sonce, ...). Da bo takšno omrežje možno obvladovati, bo v prvi fazi potrebno izdelati celovit nadzor nad delovanjem tako celotnega omrežja kot njegovih posameznih delov. V drugi fazi pa bo potrebno te podatke v realnem času obdelati in na njihovi podlagi izvesti potrebno regulacijo.

Pametno omrežje tako prinaša cel kup tehničnih problemov, od njegove zasnove, nadzorovanja in regulacije, do šifriranja podatkov, ki se bodo pretakali med posameznimi napravami na omrežju in nadzornimi centri. V sklopu EU se tako z namenom izboljšati

energetske storitve odvija veliko različnih projektov in eden izmed njih je predstavljen v nadaljevanju.

3 Fazor in sinhrofazor

Fazor je kompleksno število, ki predstavlja amplitudo in fazo sinusnega signala na električni liniji. Meritve fazorjev, ki so opravljene v istem času se imenujejo sinhrofazorji. PMU naprave se uporabljajo za merjenje sinhrofazorjev na različnih lokacijah v energetskega sistema. Vse PMU naprave so med seboj sinhronizirane s pomočjo časa GPS satelitov. Uporaba PMU naprav torej omogoča merjenje signalov v električnem sistemu v realnem, točno določenem času, kar nam daje možnost vpogleda v trenutno dogajanje na različnih delih električnega omrežja. Na podlagi teh meritev je možno v kritičnih primerih, ki bi lahko privedli do nestabilnosti električnega omrežja ali celo do njegovega razpada, izvesti pravilne regulacije in tako odpraviti vzroke za nestabilnost oziroma preprečiti hujše posledice.

Namen meritev s PMU napravami je torej pametno upravljanje energetskega sistema v celoti s ciljem povečati njegovo učinkovitost, zmogljivost, stabilnost, zanesljivost in v končni fazi kvaliteto prenosa energije do končnega uporabnika.

4 Definicija PMU parametrov

V tem odstavku so predstavljene definicije glavnih PMU parametrov.

Teoretične vrednosti sinhrofazorjev in vrednosti pridobljene na podlagi izračuna vzorcev se lahko razlikujejo. Razlike nastanejo zaradi vzorčenja kompleksnega signala na liniji ter zaradi izračuna na teh vzorcih, ki temelji na uporabljenem algoritmu. Razlike med teoretičnim in izračunanim sinhrofazorjem se lahko predstavijo s PMU parametrom *TVE* (Total Vector Error). Vrednost *TVE* je normalizirana in izražena na enoto. V našem primeru je enota en vzorčni zapis (frame). Manjši kot je *TVE*, bolj se teoretični in izračunani del ujemata.

TVE se izračuna z naslednjo enačbo:

$$TVE = \sqrt{\frac{(X_r(n) - X_r)^2 + (X_i(n) - X_i)^2}{X_r^2 + X_i^2}} \quad (1)$$

kjer je

$X_r(n), X_i(n)$ - izračunan vektor v času n ,
 X_r and X_i - idealni PMU vektor.

TVE nosi informacijo o fazi in amplitudi. Če želimo vedeti, kaj se dogaja s fazo (ψ), moramo določiti še fazno napako *PE* (Phase Error):

$$PE = |\psi(t)_{teoretično} - \psi(n)_{izmerjeno}| \quad (2)$$

Najnovejši standard poleg statičnih razmer na električnem omrežju vključuje tudi meritve dinamičnih razmer. Tipičen primer dinamičnih razmer na omrežju

je sunkovita sprememba frekvence. Za ovrednotenje te spremembe je bil v standardu definirani parameter *ROCOF* (Rate Of Change Of Frequency). Osnovo za njegovo določitev predstavljata sledeči enačbi:

Signal na liniji $x(t)$:

$$x(t) = X_m \cos[\psi(t)] \quad (3)$$

Definicija frekvence $f(t)$:

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{d\psi(t)}{dt} \quad (4)$$

ROCOF je definiran kot drugi odvod faze oz. kot odvod frekvence, torej:

$$ROCOF = \frac{df(t)}{dt} \quad (5)$$

Sinhrofazorji se vedno izračunajo glede na nominalno frekvenco. Če je argument v kosinusni funkciji predstavljen kot:

$$\psi(t) = \omega_0 t + \varphi(t) = 2\pi f_0 t + \varphi(t) = 2\pi \left[f_0 t + \frac{\varphi(t)}{2\pi} \right] \quad (6)$$

potem enačbo za frekvenco lahko zapišemo kot:

$$f(t) = f_0 + \frac{d \left[\frac{\varphi(t)}{2\pi} \right]}{dt} = f_0 + \Delta f(t) \quad (7)$$

kjer je

$\Delta f(t)$ - odstopanje frekvence od nominalne frekvence.

Na podlagi zgornjih enačb lahko definiramo *ROCOF* kot odvod odstopanja frekvence od nominalne frekvence :

$$ROCOF = \frac{d^2 \left[\frac{\varphi(t)}{2\pi} \right]}{dt^2} = \frac{d(\Delta f(t))}{dt} \quad (8)$$

Podobno kot velja za *TVE*, lahko primerjamo tudi idealni in izračunani *ROCOF*. Primerjavo definiramo kot *RFE* (Rate of change of Frequency measurement Error):

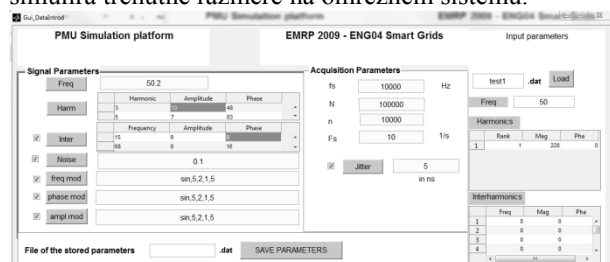
$$RFE = \left| \left(\frac{df}{dt} \right)_{teoretično} - \left(\frac{df}{dt} \right)_{izmerjeno} \right| \quad (9)$$

RFE velja za eno enoto. V našem primeru je enota en vzorčni zapis (frame).

5 Generiranje vhodnih podatkov

Za potrebe analize novega algoritma in primerjave s štiriparametričnim sinusnim prilagajanjem je bil razvit uporabniški vmesnik (Slika 1), ki deluje v programskem paketu MATLAB [5]. Vmesnik nam omogoča generacijo različnih vhodnih signalov, pri katerih lahko določimo: osnovno frekvenco, harmonsko in inter-harmonsko popačenje, nivo šuma ter frekvenčno,

amplitudno in fazno modulacijo. Tako sestavljen signal simulira trenutne razmere na omrežnem sistemu.



Slika 1: Grafični vmesnik za generacijo vhodnih podatkov

Grafični vmesnik omogoča tudi določanje vzorčnih parametrov: vzorčna frekvenca, število vzorcev in število ciklov na sekundo. Vsak cikel je vezan na časovno znamko (time stamp) in je tako lahko obravnavan neodvisno od drugih ciklov.

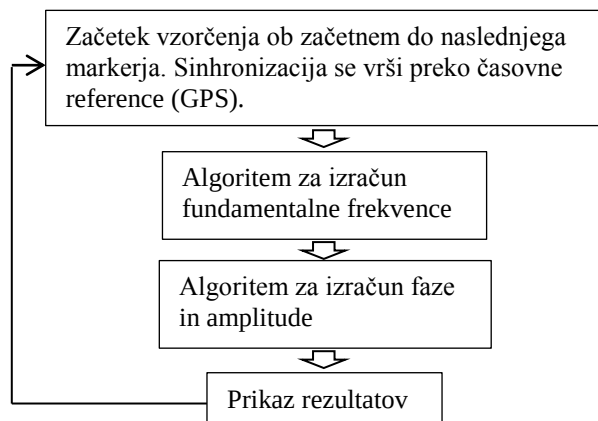
V analizi so bili vzorčni podatki vedno nastavljeni tako, da niso vplivali na končne rezultate, saj vzorčenje ni predmet tega članka.

V aplikaciji za analizo PMU parametrov se izračunavajo »idealni« PMU parametri in tako služijo za referenco in ovrednotenje PMU parametrov, ki se izračunavajo na podlagi vzorčenih podatkov z uporabo določenega algoritma.

6 Predlagan algoritem za izračun PMU

Predlagan algoritem določi osnovno frekvenco z uporabo posebnega iPSFE algoritma (Interpolated phase sensitive frequency estimation algorithm) [2].

Prednost tega algoritma je, da je fazna razlika med dvema podatkovnima cikloma uporabljena v kosinusni funkciji, kar omogoča hitro konvergenco proti iskani osnovni frekvenci. Algoritem za izračun osnovne frekvence vsebuje iteracijo, ki tipično potrebuje dva do tri iterativne cikle do končne konvergence. Ločitev podatkov na podatkovne okvire ali okna je določena kot celo število period. Prednost celoštevilске ločitve na okna omogoča visoko slabljenje harmonskih komponent. Delovanje predlaganega algoritma v referenčnem PMU je predstavljeno v spodnji blok shemi (Slika 2).

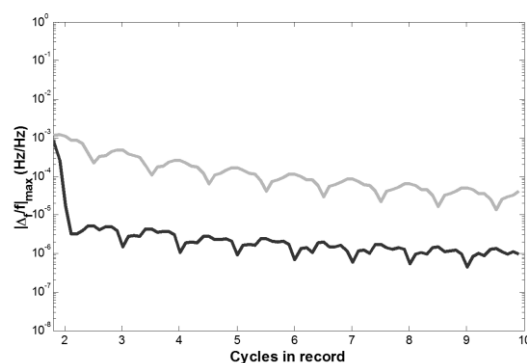


Slika 2: Delovanje predlaganega algoritma

6.1 Algoritem za izračun osnovne frekvence

Predlagan algoritem za izračun PMU parametrov vsebuje napreden algoritem za izračun frekvence [2, 3]. Njegova prednost je zelo hitro konvergiranje. V dveh ciklih doseže oceno frekvence z napako $5 \cdot 10^{-6}$ za tipični linijski signal napetosti. Hitrost algoritma je ključna za aplikacije v realnem času. Slika 3 predstavlja primerjavo napake izračuna frekvence med štiriparametričnim prilagajanjem in naprednim algoritmom za izračun frekvence v odvisnosti od časa oz. od iterativnih ciklov.

Izkaže se, da je iPSFE algoritem pri izračunu frekvence bolj točen in predvsem bolj hiter v primerjavi s 4PSF algoritmom.



Slika 3: Primerjava napake pri izračuni osnovne frekvence (Podatki o vhodnem signalu: N vzorcev=1000, Amplituda drugega harmonika=0,01·A1, SNR=120 dB, f=52,1 Hz)

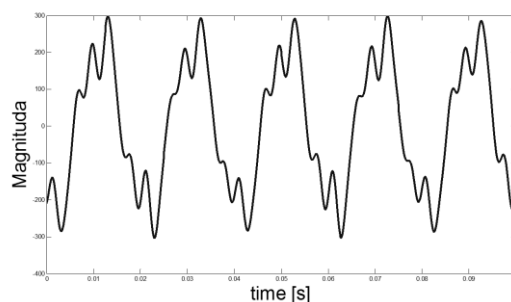
Legenda:

Štiriparametrično sinusno prilagajanje —
Predlagani algoritem —

7 Rezultati

V simulacijskem okolju sta bila analizirana dva algoritma [1]. Analiza je bila izvedena na istih vhodnih podatkih in na istih vzorcih. Primerjani so bili trije PMU parametri: *TVE*, *ROCOF* in razlika v fazi glede na referenčno fazo. Vhodni signal (Slika 4) vsebuje naslednje komponente:

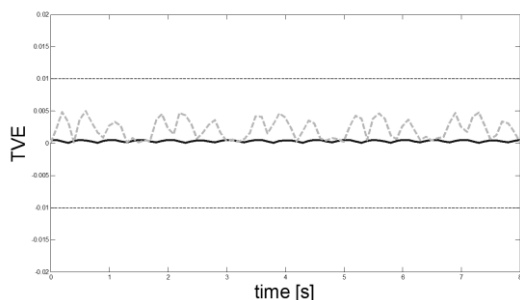
- Osnovna frekvenca: 50,2 Hz
- Harmonske komponente: 1, 3, 5, 7
- Amplituda harmonski komponent: 230 V, 150 V, 33 V, 50V
- Faze harmonskih komponent: 45°, 126°, 33°, 175°
- Frekvenca interharmonikov: 45 Hz, 155 Hz
- Amplituda interharmonikov: 50 V, 50 V
- Faze interharmonikov: 50°, 0°



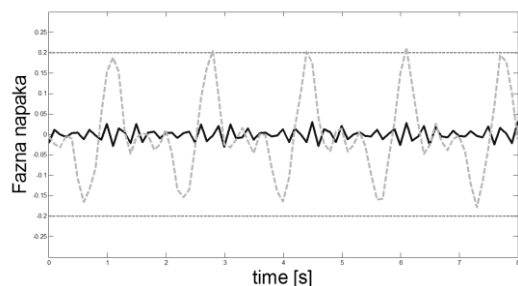
Slika 4: Vhodni signal

Vhodni signal je bil vzorčen z vzorčno frekvenco 10 kHz.

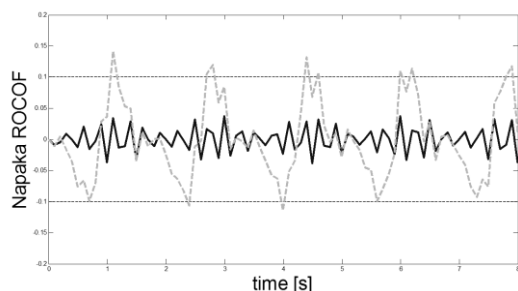
Naslednji grafi (Slika 5, Slika 6, Slika 7) prikazujejo napako *TVE*, fazno napako in napako *ROCOF* glede na referenčne PMU izračune. Na grafih so prikazani rezultati iPSFE algoritma ter algoritma 4PSF.



Slika 5: Primerjava *TVE*



Slika 6: Primerjava fazne napake



Slika 7: Primerjava *ROCOF*

Legenda:

Štiriparametrično sinusno prilagajanje (4PSF) ---

Predlagan algoritem (iPSFE) —

Mejna napaka po standardu IEEE Std C37.118TM

Mejni pogreški so določeni v standardu IEEE Std C37.118TM-2005, IEEE Standard for Synchrophasors for Power Systems.

Simulacije kažejo, da je predlagan algoritem primeren tudi za izračun PMU parametrov pri visoko harmonsko popačenem vhodnem signalu. Predlagan algoritem je v vseh točkah izračunal PMU parametre natančneje kot ostali algoritmi. Poleg tega so vsi izračuni znotraj mejnih vrednosti, ki jih določa standard. Analiza je tudi pokazala, da je najbolj kritičen element pri izračunu PMU parametrov s algoritmom 4PSF

amplituda harmonikov. Za razliko pa je predlagan iPSFE algoritem izjemno neobčutljiv na harmonska popačenja in je posledično bolj primeren za uporabo pri postopkih kalibracije PMU naprav.

8 Nadaljne delo

Predlagan algoritem je učinkovit v simulacijskem okolju. Naslednji korak je integracija predlaganega algoritma v PMU kalibrator in verifikacija na dejanskih omrežnih signalih glede na standard IEEE Std C37.118TM.

9 Zaključek

Na podlagi izkušenj o različnih algoritmih za različne tehnične aplikacije je bil razvit nov algoritem za izračun PMU parametrov. Algoritem je bil integriran v simulacijsko okolje, ki je bilo razvito v programskem paketu MATLAB. Analiza algoritma je pokazala, da je nov algoritem učinkovitejši od 4PSF algoritma za visoko harmonsko popačene signale. Primerjave PMU parametrov *TVE*, fazne napake in *ROCOF* so pokazale, da je novi algoritem v vseh točkah učinkovitejši od 4PSF algoritma.

Literatura

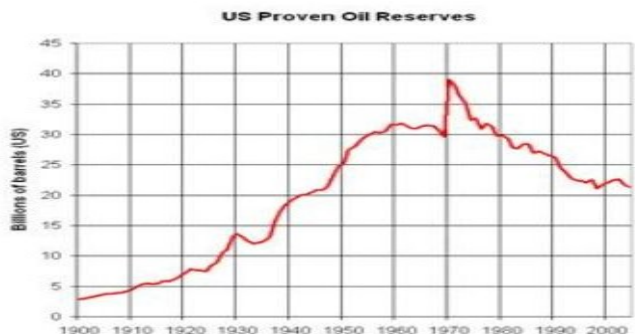
- [1] M. Kokalj, R. Lapuh, M. Lindič, B. Voljč, B. Pinter, Z. Svetik: High accuracy signal parameter estimation algorithm for calibration of PMU devices, CPEM 2012, Washington DC, USA, July 2012
- [2] R. Lapuh, Interpolated phase sensitive frequency estimator for fast estimation of harmonically distorted signals, ERK 2010, Portorož, Slovenija, september 2010
- [3] R. Lapuh, "Phase estimation of asynchronously sampled signal using interpolated three-parameter sinewave fit technique," Conf. Dig. I2MTC 2010, Austin, Texas, May 2010
- [4] PC37.118.1 Standard for Synchrophasor Measurements for Power Systems, Draft 3, April 2011.
- [5] U. Pogliano, J-P. Braun, R. Lapuh and B. Voljč, "Software Platform for PMU Algorithms Testing", presented at CPEM 2012

Razvoj algoritma za kalibracijo PMU naprav

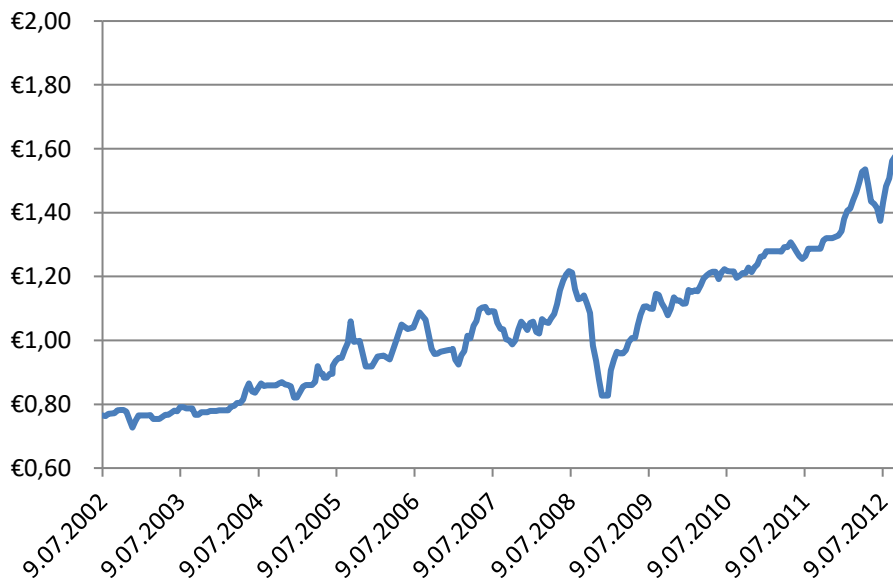
Miha Kokalj
Portorož, 2012

Motivacija

Rezerve fosilnih goriv so omejene



Nihanje cen goriva EuroSuper 95



Vpliv fosilnih goriv slabo vpliva na okolje



V 10 letih se je EuroSuper 95 podražil za faktor 2



Cena na 9.7.2002 : 0,765 €

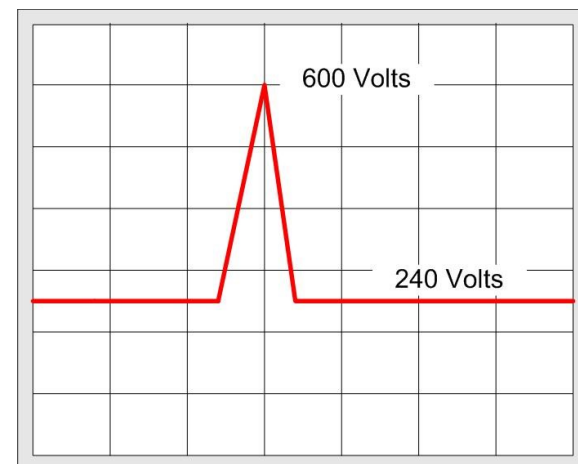
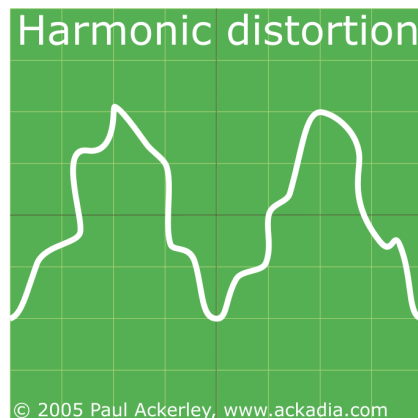
Cena na 4.9.2012: 1,576 €

Motivacija

Nedavna raziskava (Leonardo institute):
„PQ – power quality in Europe is responsible for serious reduction in industrial performance with an economic impact exceeding €150bn/year“

Motnje na omrežju:

- Kratkotrajno znižanje napetosti
- Napetostni udar (veliko povečanje napetosti)
- Kratkotrajno zvišanje napetosti
- Šum
- Prekinitev el. Toka
- Popačenje



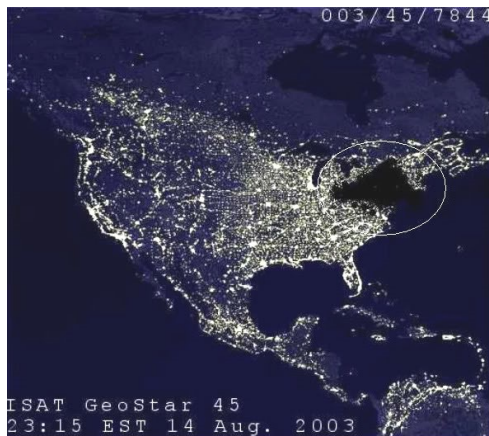
Northeast blackout of 2003, ZDA

Vzrok:

- Izpad 1 elektrarne zaradi vzdrževanja
- Človeški faktor
- Virus v računalniškem sistemu (brez alarma)
- Verižna reakcija izklopa 265 elektrarn

Posledice:

- ~ 55 milijonov ljudi brez elektrike
- Pomanjkanje vode
- Ustavitev prometa (železnice, letališča)
- Težave v telekomunikacijah
- Industrija (tovarne brez elektrike)
- Ogromna škoda ~ 6 – 10 milijard \$



New York



Toronto

Alternativni viri energije

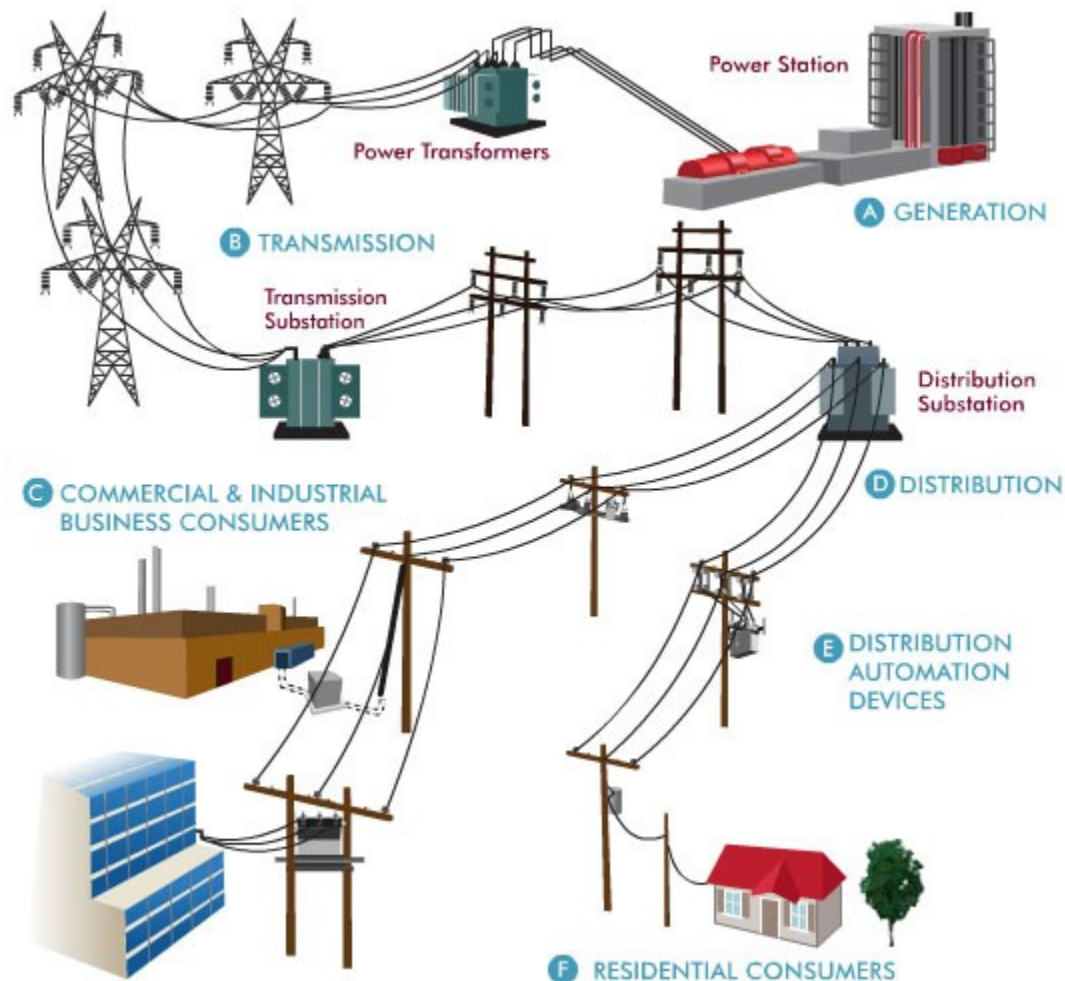
- Cilji EU do leta 2020:
 - Zmanjšanje CO2 za 20 %
 - Proizvodnja energije iz obnovljivih virov 20 %
 - Zmanjšanje porabe energije za 20 %



Klasično električno omrežje

Značilnosti:

- Nekaj velikih elektrarn
- Smer električne energije gre v eno smer – od elektrarn do porabnikov
- Enostavni porabniki, enostavna nespremenljiva bremena



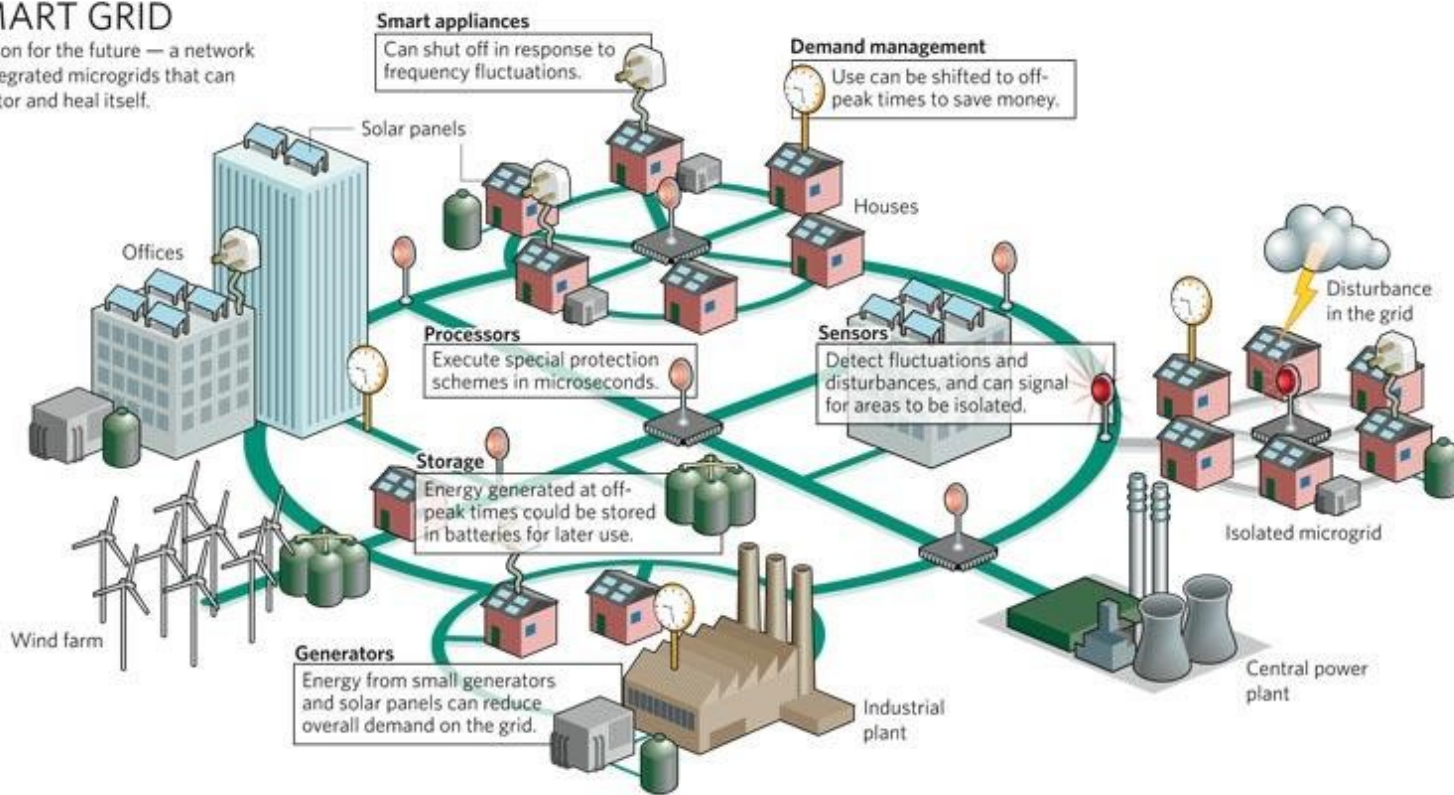
Električno omrežje prihodnosti - Smart Grid

Značilnosti:

- Dvosmerni pretok energije
- Lokalni viri energije + velike elektrarne
- Kompleksna spremenljiva bremena
- Razpršenost virov energije
- Mehanizmi za zagotavljanje kvalitete

SMART GRID

A vision for the future — a network of integrated microgrids that can monitor and heal itself.



Izzivi za metrologijo



Dve glavni nalogi:

- Zagotoviti kontinuiteto električne energije
- Zagotavljati zanesljivost in kvaliteto

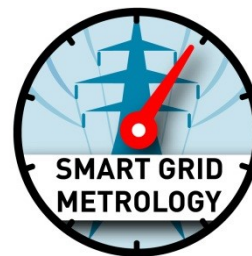
V sklopu EMRP – European Metrology Research Programme se je izoblikoval evropski projekt Smart Grid.

EMRP

European Metrology Research Programme
■ Programme of EURAMET



The EMRP is jointly funded by the EMRP participating countries within EURAMET and the European Union



Naloge projekta Smart Grid:

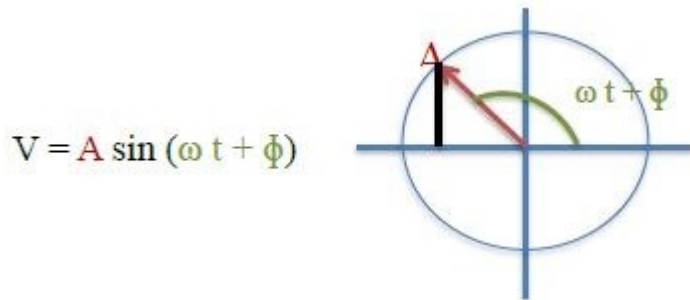
- Modelirati omrežje
- Izmeriti PMU – Phasor Measurement Unit
- Razviti mehanizme za zagotavljanje kvalitete
- Meriti energijo



PMU – Phasor Measurement Unit

PMU je naprava, ki se uporablja v energetskega sistemu za merjenje frekvence, amplitude napetosti in toka ter njunega faznega kota ob znanih časovnih intervalih, kar omogoča:

- Primerjavo in usklajevanje podatkov s posameznih PMU naprav v realnem času, ker je sistem sinhroniziran na GPS čas.



PMU parametri:

- TVE (Total Vector Error)
- PE (Phase Error)
- RFE (Rate of change of Frequency measurement Error)

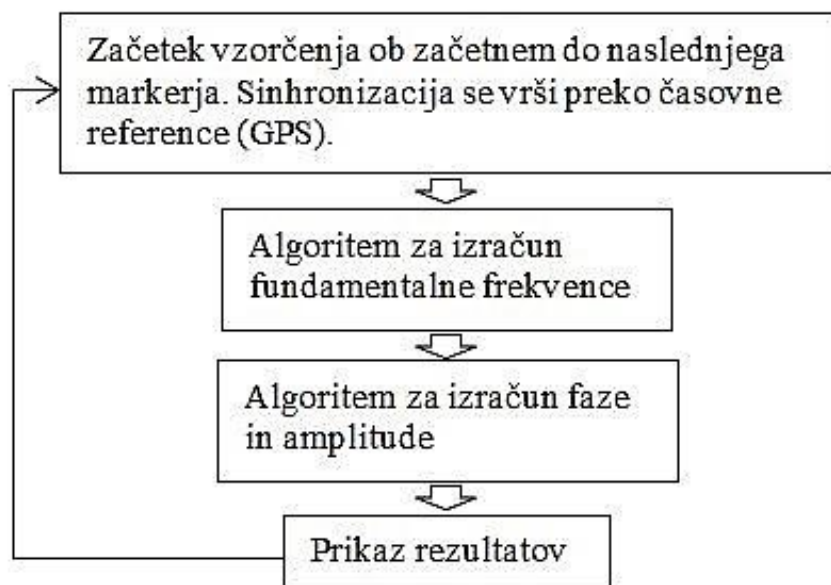
$$TVE = \sqrt{\frac{(X_r(n) - X_r)^2 + (X_i(n) - X_i)^2}{X_r^2 + X_i^2}}$$

$$PE = |\psi(t)_{teoretično} - \psi(n)_{izmerjeno}|$$

$$RFE = \left| \left(\frac{df}{dt} \right)_{teoretično} - \left(\frac{df}{dt} \right)_{izmerjeno} \right|$$

Delovanje iPSFE (Interpolated phase sensitive frequency estimation algorithm)

- Sinhrono vzorčenje (GPS)
- Izračun frekvence
- Izračun amplitude in faze

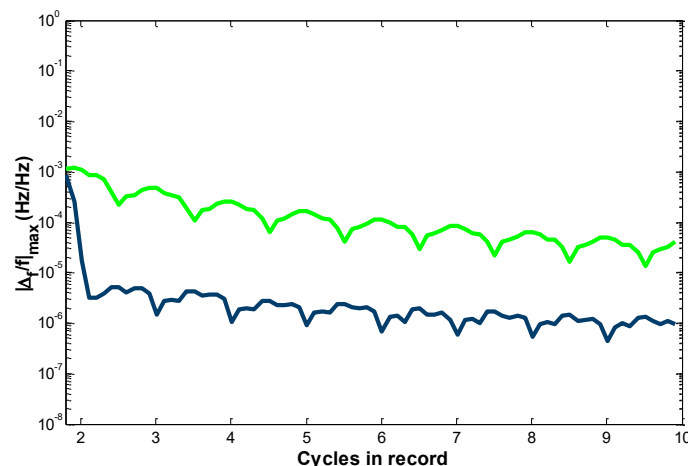


Blok shema delovanja predlaganega algoritma iPSFE

Napreden algoritem za izračun frekvence

- V dveh ciklih doseže $N=5 \cdot 10^{-6}$
- Hitrost algoritma je ključna za aplikacije v realnem času

Primerjava napake izračuna frekvence med 4PSF in naprednim algoritmom za izračun frekvence v odvisnosti od iterativnih ciklov.



Primerjava napake pri izračuni osnovne frekvence (Podatki o vhodnem signalu: N vzorcev=1000, Amplituda drugega harmonika= $0,01 \cdot A_1$, SNR=120 dB, $f=52,1$ Hz)

Razvoj in analiza algoritma za izračun PMU parametrov

Naloga SIQ

- Razviti simulacijsko okolje za analizo in razvoj algoritmov za kalibracijo PMU naprav
- Vhodni signal: $f=50,2$ Hz; harmoniki: [1, 2, 5, 7], amplitude [230 V, 150 V, 33 V, 50 V], faze [45°, 126°, 33°, 175°]; interharmoniki: $f=45$ Hz, 155 Hz, amplitude interharmonikov [50 V, 50 V], faze interharmonikov [50°, 0°]

PMU Simulation platform **EMRP 2009 - ENG04 Smart Grids**

Reference signal parameters

f	50.3	Hz
Ampl	230	V
teta	-36.0108	deg
ROCOF	0	Hz/s

PMU calculated signal parameters

f	50.3123	Hz
Ampl	230.0927	V
teta	-36.0073	deg
ROCOF	0.011084	Hz/s

Simulation Results

comp	at time	max	limit	
TVE	0.0004079	0.018657	0.01	V/V
AE	0.00040318	0.0051675	0.01	V/V
tetaF	0.0035436	1.0245	0.2	deg

File param: test32 .dat **LOAD PARAMETERS** File of results: .dat

Algorithm: PMU_4P_X **RUN** **SAVE RESULTS**

Selection of Graphics

pmu and ref graphics: ☒ mag ☐ pha ☐ freq ☐ ROCOF

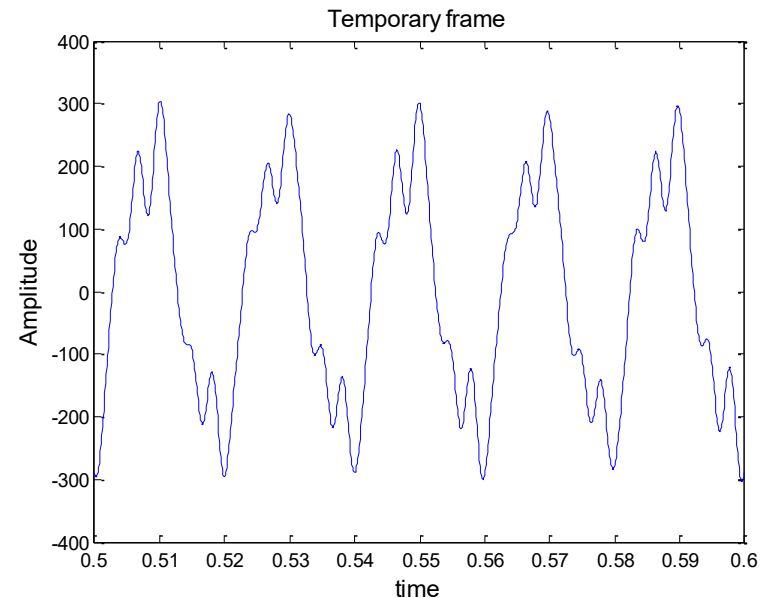
pmu and ref display

Error graphics: ☒ TVE ☐ Rel_diff_mag (AE) ☐ Diff pha (tetaE) ☐ Diff freq (FE) ☐ Diff ROCOF (RFE)

error display **display waveform**

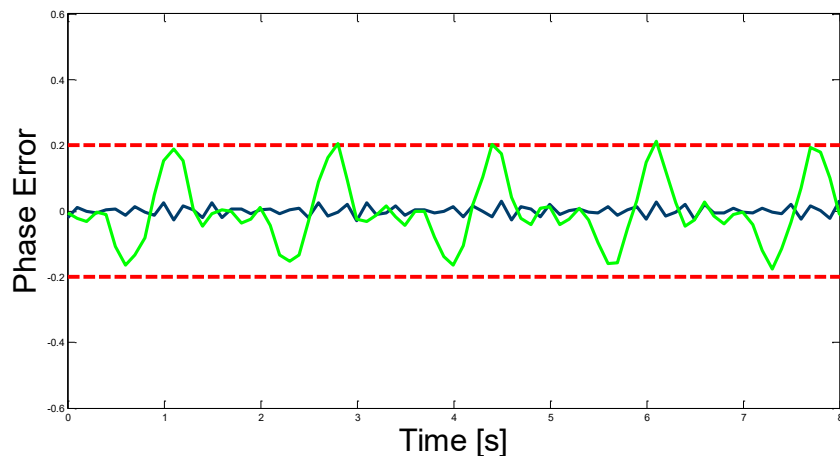
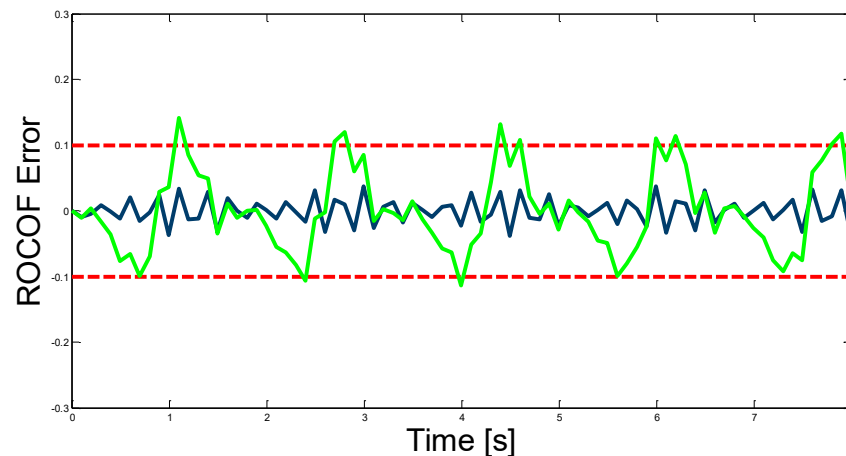
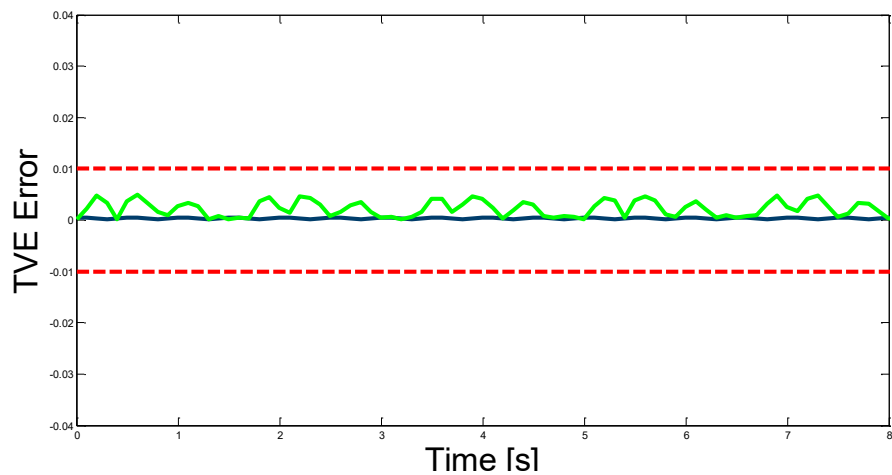
Waveform of tmp frame: .dat **SAVE**

Export whole waveform: .dat **Save**



Rezultati in primerjava med 4PSF in iPSFE

Primerjava predlaganega algoritma **iPSFE** (Interpolated phase sensitive frequency estimation algorithm) s 4PSF (štiri parametrično sinusno prilagajanje)



Primerjava:

- Pri vseh izračunih PMU parametrov je bil iPSFE bolj točen od 4PSF

Legend:

- 4PSF
- iPSFE
- Limits

Aplikacije PMU

- Analiza
 - Wide Area Situational Awareness (WASA) - nadzor sistema in izboljšanje komunikacije med operaterji
 - Nadzor stabilnosti napetosti, faze in frekvence
- Kontrola
 - Kontrola v realnem času
 - Rezervni viri energije (vključitev po potrebi)
- Zaščita
 - Nadzor nizkofrekvenčnih nihanj
 - Takojšna opozorila o napakah
 - Uporaba spremenljivih bremen za uravnovešanje (po potrebi)
 - Mehanizmi za avtomatsko ponovno vzpostavitev sistema po napaki

Glavni namen: zagotoviti kvaliteto in zanesljivost omrežja

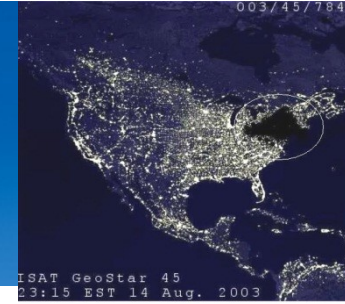


PMU Kalibrator



PMU merilnik





Hvala za pozornost

EMRP

European Metrology Research Programme
 Programme of EURAMET



The EMRP is jointly funded by the EMRP participating countries within EURAMET and the European Union

