

Eksploatacija EES-a

Ekonomski proračuni u eksploataciji
elektroenergetskih sistema
(Statička estimacija stanja)

Statička estimacija stanja

Uvod

- Statička estimacija stanja je proces u kome se određuju nepoznate vrednosti promenljivih stanja na bazi redundantnih merenja u sistemu.
- Promenljive stanja su moduli i fazni uglovi fazora napona u čvorovima, kao i nenominalni odnosi transformacije regulacionih transformatora.
- Kada su poznate promenljive stanja, za datu konfiguraciju i definisane parametre sistema, dalje se mogu izračunati i sve druge sistemske promenljive od interesa.
- Ulazni podaci za statičku estimaciju stanja su analogna merenja i statusi uključenosti uređaja.
- Ovi podaci se dobijaju preko SCADA sistema i preko PMU uređaja.
- Pored toga kao ulazni podaci koriste se i baze podataka iz kojih se učitavaju podaci o parametrima elemenata mreže.

Statička estimacija stanja

Uvod

- Sam statički estimator stanja je matematički algoritam pomoću kojeg se transformišu merni podaci iz sistema u procenu vektora stanja.
- Pri tome nije cilj dobijanje vrlo „tačne” već pouzdane i u datom trenutku „najbolje” procene stanja, čak i kada su merenja jako poremećena zbog prisustva šumova i drugih grešaka.
- Taj matematički algoritam je složen i sastoji se iz više međusobno spregnutih programa.
- U nekim elementima algoritam je sličan proračunu tokova snaga, a u nekim se razlikuje.
- Rezultati algoritma imaju široku primenu u eksploataciji i upravljanju elektroenergetskih sistema.

Statička estimacija stanja

Uvod

- Svi podaci koji se koriste u estimatoru u sebi mogu sadržati razne greške i nepreciznosti.
- Pretpostavlja se da su greške kod većine merenja male i da podležu određenim statističkim zakonima, a da su podaci o topologiji i parametrima mreže tačni (osim kod estimacije parametara).
- Prisutne merne greške su različitog porekla. Za redundantna merenja može se koristiti statistička teorija u slučaju filterovanja sirovih mernih podataka i otklanjanja tih grešaka. To je u suštini druga osnovna funkcija statičke estimacije stanja.
- Prva funkcija je procena promenljivih stanja.
- Treća osnovna funkcija je estimacija parametara modela mreže, za slučaj da su neki od njih nepouzdana.
- Kombinovana estimacija stanja i parametara normalno zahteva povećani broj merenja iz sistema, a poželjna je i veća redundancija mernih podataka, čime se ističe značaj sistema za akviziciju podataka (SCADA).

Statička estimacija stanja

Uvod

- Implementacija statičkog estimatora stanja predstavlja sveobuhvatni postupak obrade informacija iz elektroenergetskog sistema u realnom vremenu.
- Ona omogućava ekonomičan i praktično izvodljiv način za obezbeđenje pouzdane i konzistentne baze podataka za upravljanje i eksploataciju elektroenergetskih sistema.

Statička estimacija stanja

Algoritam statičke estimacije stanja

- Algoritam statičke estimacije stanja sadrži četiri osnovna koraka. To su:
 - formiranje modela,
 - analiza observabilnosti,
 - razvoj algoritma rešavanja estimacije stanja (i/ili parametara),
 - detekcija, identifikacija i uklanjanje grešaka u ulaznim podacima.

Statička estimacija stanja

Formiranje modela

- Model sistema predstavlja se preko modela merenja:

$$\mathbf{z} = \mathbf{h}(\mathbf{x}) + \mathbf{v}_z$$

gde je:

\mathbf{x} – vektor stanja dimenzije $n = 2N-1$,

\mathbf{z} – vektor merenja dimenzije $m \geq 2N-1$,

$\mathbf{h}(\mathbf{x})$ – vektorska funkcija dimenzije m ,

\mathbf{v}_z – vektor slučajnih grešaka merenja dimenzije m .

- Potrebno je reći da elementi vektora \mathbf{v}_z podležu Gausovoj raspodeli i imaju osobinu da im je matematičko očekivanje jednako 0.

Statička estimacija stanja

Formiranje modela

- U opštem slučaju vektor stanja \mathbf{x} čine:
 1. Efektivne vrednosti i fazni stavovi (uglovi) kompleksnih napona u čvorovima;
 2. Efektivne vrednosti i fazni stavovi kompleksnih nenominalnih odnosa transformacije transformatora u granama sa klasičnim i faznim (*Phase shift*) transformatorima.

Statička estimacija stanja

Formiranje modela

- Vektor merenja \mathbf{z} čine stvarna i pseudo-merenja.
- U grupu stvarnih merenja spadaju moduli napona u čvorovima, tokovi aktivnih i reaktivnih snaga i struja po granama, injektiranja aktivnih i reaktivnih snaga, i efektivnih vrednosti struja u čvorovima, kao i efektivne vrednosti i fazni stavovi nenominalnih odnosa transformacije regulacionih transformatora.
- U grupu pseudo-merenja spadaju: specificovane (željene) vrednosti modula i faznih stavova napona u čvorovima, specificovane vrednosti tokova aktivnih i reaktivnih snaga i struja po granama, kao i specificovane efektivne vrednosti i fazni stavovi nenominalnih odnosa transformacije regulacionih transformatora.
- Svim merenjima pridružuju se i odgovarajući težinski faktori sa kojima ulaze u dalji proračun.

Statička estimacija stanja

Formiranje modela

- Redundancija merenja definiše se kao:

$$R_d = \frac{m}{2N-1}$$

ili

$$R_d = \left(\frac{m}{2N-1} - 1 \right) \cdot 100 [\%]$$

- Uslov da je broj merenja veći ili najmanje jednak broju stanja ($m \geq 2N-1$) proističe iz osnovnog zahteva opservabilnosti sistema, pri čemu se moraju imati odgovarajući raspored i struktura merenja, a čije ispunjenje garantuje rešenje problema statičke estimacije stanja.

Statička estimacija stanja

Analiza opservabilnosti

- U teoriji sistema često se koriste pojmovi kontrolabilnost i opservabilnost.
- Kontrolabilnost je osobina sistema da se pod dejstvom upravljanja može dovesti iz bilo kojeg početnog u željeno krajnje stanje.
- S druge strane, opservabilnost je osobina da se na osnovu merenja mogu preračunati stanja, gde se pod pojmom „stanje” podrazumeva skup promenljivih koje opisuju sistem.
- Analizom opservabilnosti utvrđuje se da li se nad kompletnom elektroenergetskom mrežom može izvršiti statička estimacija stanja.
- Ukoliko se to ne može postići, određuju se „opservabilna ostrva” koja se mogu posebno estimirati. Ako postoji dovoljan broj merenja da se za celu mrežu mogu odrediti moduli i fazni uglovi napona, kao i nenominalni odnosi transformacije, smatra se da je mreža opservabilna.
- Mreža je opservabilna ako je rang Jakobijeve matrice vektorske funkcije $\mathbf{h}(\mathbf{x})$ jednak ili veći od broja napoznatih promenljivih stanja sistema. Rang te matrice zavisi od topologije mreže, lokacije i tipa merenja.

Statička estimacija stanja

Razvoj algoritma statičke estimacije stanja

- Razvoj algoritama statičke estimacije najviše zavisi od izabranog statističkog kriterijuma.
- Od mnogih kriterijuma koji su ispitani i korišćeni u različitim aplikacijama, posebno su se izdvojila sledeća tri:
 1. Kriterijum maksimalne verovatnoće, gde je cilj da se maksimizira verovatnoća da je procena promenljive stanja prava vrednost vektora promenljive stanja, \mathbf{x} (tj. maksimizovati $P(\hat{\mathbf{x}} = \mathbf{x})$).
 2. Ponderisani kriterijum najmanjih kvadrata, gde je cilj da se minimizira zbir kvadrata ponderisanih odstupanja procenjenih merenja od stvarnih merenja \mathbf{z} .
 3. Kriterijum minimalne varijanse, gde je cilj da se minimizira očekivana vrednost zbira kvadrata odstupanja procenjenih komponenti vektora promenljivih stanja od odgovarajućih komponenti pravog vektora promenljivih stanja.

Statička estimacija stanja

Detekcija, identifikacija i uklanjanje grešaka u ulaznim podacima

- Osnovni problem u ulaznim podacima predstavlja detekcija loših merenja, koja se može vršiti samo ukoliko je prethodno sprovedena estimacija stanja.
- U principu, detekcija loših merenja najčešće se vrši pomoću sledeća dva testa:
 1. Poređenje funkcije cilja sa odgovarajućim pragom,
 2. Poređenje normalizovanih reziduala merenja sa odgovarajućim pragom.
- Smatra se da su greške prisutne ukoliko je bilo koji od ova dva testa pozitivan.

Statička estimacija stanja

Primene statičkog estimatora stanja

- Statički estimator stanja je obavezan softverski paket u centru upravljanja elektroenergetskim sistemima.
- Funkcije upravljanja koje koriste statički estimator stanja su:
 - kontrola sigurnosti pogona,
 - regulacija učestanosti, napona, aktivnih i reaktivnih snaga,
 - kratkoročna prognoza potrošnje i upravljanje potrošnjom,
 - optimizacija rada sistema.
- Na narednoj slici dat je šematski prikaz funkcija estimatora stanja u sklopu koncepta sigurnosnog upravljanja elektroenergetskim sistemima.

Statička estimacija stanja

Primene statičkog estimatora stanja

