

MĂSURĂRI FAZORIALE

Tensiunile din nodurile rețelilor electrice sunt mărimi complexe, caracterizate de o amplitudine și de o fază (un unghi) raportată la o referință. Din punct de vedere matematic, reprezentarea lor se poate face sinusoidal sau fazorial (Fig. PMU.1).

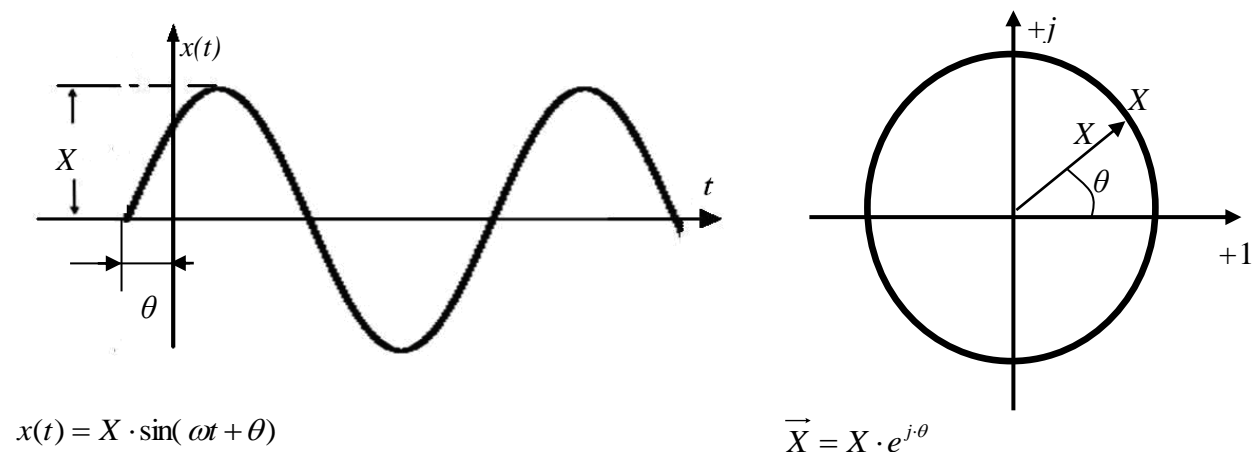


Fig. PMU.1 - Reprezentarea sinusoidală și fazorială a unei mărimi fizice

Prin defazajul între două tensiuni se înțelege diferența dintre unghiurile acestora, raportate la aceeași referință. Într-un sistem electric de tensiune alternativă, în condițiile în care laturile acestuia au un caracter predominant inductiv ($X \gg R$), puterea activă circulează de la nodurile cu valori mai mari ale argumentului tensiunii complexe către nodurile cu argument mai mic, iar mărimea circulației de putere este cu atât mai mare cu cât diferența de fază dintre cele două noduri este mai mare. De aceea, cunoașterea precisă a defazajelor între fazorii de tensiune din nodurile rețelei poate oferi o imagine în timp real, care poate fi utilizată în luarea deciziilor pentru asigurarea funcționării optime a sistemului. Însă, o cerință cheie pentru precizia analizei este folosirea unor măsurători de fazori sincronizate cât mai precis.

Dispozitive pentru măsurări fazoriale

Sistemele clasice de achiziție a datelor de tip SCADA oferă rate de eșantionare a semnalelor măsurate de ordinul secundelor, ceea ce, la nivelul măsurărilor de fazori, s-ar traduce prin erori importante de sincronizare.

Odată cu dezvoltarea sistemului GPS și a sistemelor moderne de comunicație, a fost posibilă punerea la punct a unor instrumente de măsură digitale extrem de precise, sincronizate în timp, capabile să măsoare semnalele de tensiune sau curent cu frecvențe de eșantionare foarte mari, de ordinul microsecundelor, și să le convertească apoi numeric în valori fazoriale. Un asemenea instrument este cunoscut sub numele de **dispozitiv pentru măsurări fazoriale** – DMF (*phasor measurement unit* - *PMU*), iar tehnologia a fost numită a măsurărilor sincronizate de fazori (*synchronised phasor measurement* - *SPM*).

Calculul fazorilor pe baza semnalelor măsurate se poate face în mai multe feluri. Cea mai simplă cale consideră o frecvență nominală fixă și, pe baza ei, calculează fazorii amplitudine și unghi. În realitate, frecvența, deși se încadrează între limite înguste față de frecvența nominală, variază în sistem, ceea ce conduce la modificarea unghiului tensiunii.

Dispozitivele pentru măsurări fazoriale sunt montate în noduri cheie din sistem, din care pot transmite permanent valorile fazorilor tensiunilor nodale și ale curenților laturilor conectate în aceste noduri, formând o rețea de monitorizare și control a întregului sistem. Configurația acestei rețele depinde, în general, de scopul ei și de resursele pe care compania de electricitate le are la dispoziție.

- Cea mai simplă metodă de a integra DMF în rețeaua de monitorizare și control deja existentă este de a folosi infrastructura SCADA-EMS, dar aceasta este și cea mai limitată soluție, folosirea ei recomandându-se doar ca prim pas până la trecerea la un sistem dedicat.
- Arhitecturi de rețea de tip *flat*, care folosesc ca terminale dispozitive de protecție inteligente, capabile să proceseze date achiziționate local sau din rețea; acestea se pretează mai ales pentru utilizarea în scheme de protecții de distanță, stabilitate de tensiune sau frecvență
- Cea mai utilizată arhitectură este cea multinivel, în care mai multe DMF din sistem sunt conectate la concentratoare de date, care pot juca rolul de simple colectoare, ori pot procesa local datele colectate. Mai departe, concentratoarele locale sunt legate la un concentrator central, situat într-un dispecerat. Acest tip de arhitectură se poate utiliza, atât la nivel local, cât și la nivel central, pentru studii de vizualizare a sistemului, de estimare a stării sau de analize post-avarie. Schema unei asemenea rețele este indicată în Fig. PMU.2.

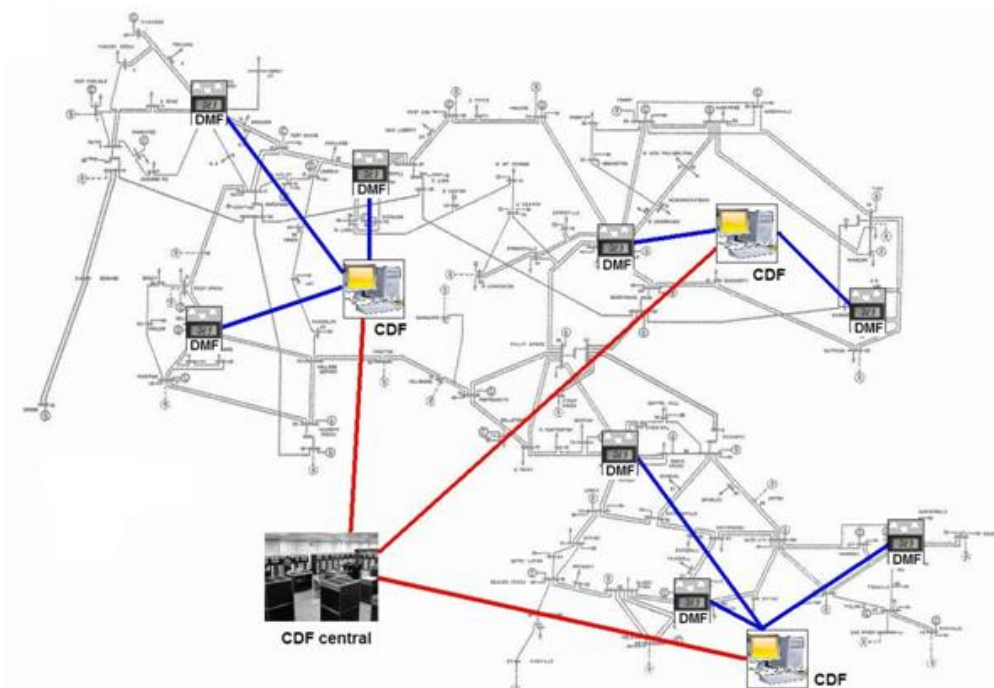


Fig. PMU.2 – Arhitectura multinivel pentru o rețea de control și monitorizare în timp real cu DMF

Aplicații ale tehnologiei DMF în energetică

Monitorizarea și controlul sistemelor în timp real

Cunoașterea de către operatorul aflat în centrul de control a unor informații din sistem venite în timp real îi permite acestuia, pe de o parte, să aibă o vedere de ansamblu corectă a regimului de funcționare al sistemului și, pe de altă parte, să anticipateze și să corecteze evenimentele nedorite ce ar putea apărea. Vizualizarea în timp real a regimurilor statice și, mai ales, dinamice ale sistemelor electroenergetice este una dintre cele mai importante utilizări ale tehnologiei DMF. O aplicație în acest domeniu este monitorizarea în timp real a nivelului de tensiune în rețea. În Fig. PMU.3 este prezentată evoluția nivelului de tensiune în rețea în timpul colapsului produs în zona de nord-est a sistemului electroenergetic din SUA pe 14 august 2003, obținută cu ajutorul unei asemenea rețele de monitorizare. Se observă primele semne de scădere generală a nivelului de tensiune cu 45 de minute înaintea inițierii deconectării în cascadă și nivelul scăzut al tensiunii în tot sistemul în timpul desfășurării evenimentelor.

Estimarea stării sistemelor

Algoritmii clasici de estimare a stării folosesc drept măsurători doar circulații de puteri pe laturi, injecții de puteri nodale și valori ale modulelor tensiunilor în noduri. Argumentele tensiunilor nu pot fi folosite, din cauza imposibilității obținerii de măsurători de fază perfect sincronizate, desincronizări mici putând introduce erori mari ale valorii măsurate și afecta negativ rezultatele estimării. Măsurătorile extrem de precise de tensiune, modul și argument, oferite de DMF, împreună cu măsurătorile fazorilor de curent de pe laturile incidente în nodurile în care sunt instalate DMF, pot contribui la sporirea acurateței rezultatelor algoritmilor de estimare a stării.

În plus, posibilitatea sincronizării prin GPS a măsurătorilor fazoriale a permis dezvoltarea unor aplicații de estimare distribuită. Un model de astfel de aplicație presupune împărțirea unui sistem vast în mai multe regiuni de mai mici dimensiuni, în care estimarea se face inițial separat, rezultatele fiind agregate apoi la nivelul unui coordonator central. În faza de agregare a estimărilor individuale, diferențele de fază între regiuni sunt compensate în funcție de indicațiile DMF instalate în nodul de echilibru al fiecărei regiuni.

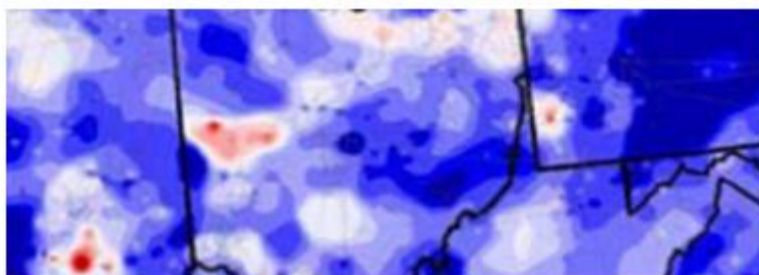
Beneficiile aduse de tehnologia DMF în aplicațiile de estimare a stării se pot enumera pe scurt ca fiind: îmbunătățirea preciziei estimării, identificarea mai precisă a măsurătorilor eronate, reducerea efortului de calcul și îmbunătățirea algoritmilor de estimare multiregiune.

Managementul congestiilor

Metodele tradiționale de tratare în timp real a congestiilor se bazează pe capacitatea de transport a liniilor, calculată offline, pe baza unor ipoteze predefinite legate de limitele admisibile termice, de tensiune și de stabilitate. Cu ajutorul măsurătorilor de fazori preluate în timp real din sistem, se poate calcula capacitatea de transport a liniei la un moment dat, pentru anumite condiții de funcționare, ceea ce îmbunătățește managementul congestiilor.

Construirea protecțiilor adaptive

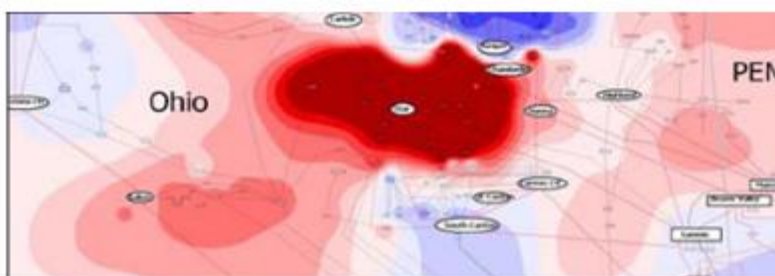
Introducerea tehnologiei DMF a deschis noi aplicații în domeniul releelor inteligente. Algoritmii programate în asemenea relee pot utiliza în luarea deciziei de acționare a protecției informații primite de la DMF aflate în vecinătate. Două aplicații în acest domeniu care arată



(a) Rețeaua funcționând normal



(b) Situația cu 45 de minute înaintea producerii colapsului



(c) Nivelul de tensiune în rețea în timpul producerii evenimentelor

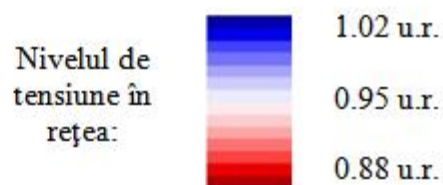


Fig. PMU.3 - Colapsul din NE SUA, analiza în timp real a nivelului de tensiune din rețea

rezultate promițătoare sunt detectarea deconectării liniilor și măsurarea mai precisă a impedanței liniilor în aplicațiile de identificare a locului de defect.

Analiza post-avarie

Metodele standard de analiză post-avarie folosesc înregistrări de date culese din sistem și procesate ulterior. O mare deficiență a acestei abordări o constituie lipsa sincronizării între înregistrări, ceea ce face dificilă corelarea în timp a succesiunii evenimentelor. Folosind măsurări fazoriale sincronizate prin GPS, evoluția în timp a producerii defectului poate fi reconstruită mult mai precis.