

CUPRINSUL

- 1 Tehnici de modelare
 - 1.1 Domeniul timpului
 - 1.2 Domeniul armonic extins
 - 1.2.1 Convoluție în EHD
 - 1.2.2 Elemente liniare în EHD
 - 1.2.3 Funcție de comutare în EHD
 - 1.2.4 Exemplu
 - 1.3 Domeniul armonic extins flexibil
 - 1.3.1 Selecție de frecvență
 - 1.3.2 Convoluție modificată
 - 1.4 Concluzii
- 2 Teoria Floquet și matricea de participare
 - 2.1 Relațiile de bază ale teoriei Floquet
 - 2.2 Matricea de participare
 - 2.3 Studiu de caz. Sistem stand-alone eolian-fotovoltaic-baterie
 - 2.3.1 Descriere generală
 - 2.3.2 Modelul de tablou fotovoltaic
 - 2.3.3 Generatorul sincron al turbinei eoliene
 - 2.3.4 Baterie și sarcină chopper
 - 2.3.5 Convertoarele electronice de putere
 - 2.3.6 Bănci de filtre LC, linie de distribuție în formă de PI și sarcină neliniară
 - 2.3.7 Schema de control
 - 2.4 Rezultatele simulării
 - 2.4.1 Cazul I. Punct de operare fix
 - 2.4.2 Cazul II. Punct de operare variabil
 - 2.5 Concluzii
- 3 Echivalent de parametri lumpați folosind FEHD
 - 3.1 Generalități ale echivalentului PV pentru analiza fluxului de putere
 - 3.2 Scheme de soluții propuse
 - 3.2.1 Descriere generală a algoritmului de soluție

- 3.2.2 Matricea de admitanță armonică a domeniului PV
- 3.2.3 Încorporarea controalelor în calculul HDAM
- 3.2.4 π -Echivalent din HDAM
- 3.2.5 Soluție de flux de putere
- 3.3 Studiu de caz
- 3.4 Concluzii
- 4 FEHD dinamic. Soluție analitică pentru sistemele periodic-temporale
 - 4.1 Descriere generală
 - 4.2 Soluție DFEHD în formă închisă
 - 4.3 Forme de undă instantanee în domeniul timpului
 - 4.4 Calculul condițiilor inițiale
 - 4.5 Studiu de caz I. Circuit RLC
 - 4.5.1 Descriere generală
 - 4.5.2 Vectorul de condiții inițiale pentru modelul DFEHD
 - 4.5.3 Rezultatele simulării
 - 4.6 Studiu de caz II. Sistem PV
 - 4.6.1 Descriere generală
 - 4.6.2 Vectorul de condiții inițiale pentru modelul DFEHD
 - 4.6.3 Rezultatele simulării
 - 4.7 Concluzii
- 5 Inițializarea corectă a modelelor bazate pe EHD
 - 5.1 Sisteme liniare periodic-temporale
 - 5.1.1 Metodologie propusă
 - 5.1.2 Studiu de caz
 - 5.1.3 Concluzii
 - 5.2 Sisteme neliniare periodic-temporale
 - 5.2.1 Metodologie propusă
 - 5.2.2 Studiu de caz
 - 5.2.3 Concluzii

CUVINTE-CHEIE

- Armonici
- Baterie
- Convertoare de putere DC-AC
- Flux de putere
- Fotovoltaic
- Interarmonici
- Matrice de participare
- Sisteme de generare distribuită
- Spectrul de frecvență
- Stabilitate
- Teoria Floquet
- Turbină eoliană

SINTEZA

1. Tehnicile de modelare

Sunt prezentate trei abordări pentru simularea tranzitorie a rețelelor comutate periodic în timp:

- Modelarea în Domeniul Timpului (TD): Această tehnică matură reprezintă eficient sistemele periodice în timp prin definirea și interpretarea clară a comportamentului fiecărei părți. Metodele TD pot gestiona elemente neliniare și convertoarele comutate fără dificultăți.
- Modelele Extinse ale Domeniului Armonic (EHD): Aceste modele oferă variații armonice instantanee, utile pentru calcularea indicilor de calitate a puterii instantanee (de exemplu, curentul/tensiunea de undă) ale rețelelor comutate. Totuși, datorită dinamicii la frecvențe înalte a convertoarelor comutate, modelele EHD se confruntă cu provocarea dimensiunilor mari, făcând dificilă simularea tranzitorie.
- Tehnica Flexibilă a Domeniului Armonic Extins (FEHD): FEHD generalizează EHD implicând frecvențe distincte (nu neapărat multiple secvențiale întregi ale frecvenței fundamentale) pentru fiecare parte a rețelei comutate, permițând analiza pas cu pas a interarmonicilor. FEHD nu depinde de o frecvență de eșantionare și presupune dinamica variabilă în timp a armonicilor și interarmonicilor, evitând erorile precum scurgerile spectrale, fenomenul Gibbs și aliasingul care apar cu modelele PSCAD/EMTDC și TD bazate pe FFT. În plus, metodele bazate pe DFT necesită multe eșantioane pe o perioadă lungă atunci când sunt implicate interarmonicile.

2. Teoria Floquet și matricea de participare

Acest capitol introduce o metodologie, combinând teoria Floquet și matricea de participare, pentru a caracteriza sistemele de generare distribuită în ceea ce privește locațiile polilor în planul complex. Factorii de participare identifică care poli sunt cei mai influențați de fiecare variabilă de stare, oferind perspectiva modificării variabilelor pentru stabilizarea polilor instabili sau invers. Această metodologie oferă un instrument eficient pentru proiectarea parametrilor, evaluarea stabilității și analiza post-eveniment, în special pentru operațiile în buclă închisă, atât în sistemele liniare periodice, cât și în cele neliniare. Un avantaj cheie este potențiala sa implementare prin calcul paralel, alături de simularea tranzitorie folosind arhitectura multiprocesor, îmbunătățind eficiența computațională. Cu toate acestea, apare o provocare semnificativă în evaluarea stabilității în sistemele cu mai multe frecvențe fundamentale, cum ar fi sistemele eoliene-fotovoltaice-baterie, în special pe măsură ce perioada fundamentală crește, conducând la o povară computațională semnificativă. Abordarea acestei provocări rămâne un domeniu deschis pentru cercetări ulterioare.

3. Echivalentul parametrilor adunați folosind FEHD

Această secțiune introduce o nouă metodă pentru integrarea generatorilor fotovoltaici într-un algoritm de flux de putere folosind un circuit în formă de π cu parametri adunați. Abordarea abordează problema simetriei observată în metodologiile anterioare aplicate generatorilor fotovoltaici printr-o restructurare simplă. Această abordare restructurată permite încorporarea variabilelor de control ale generatorului fotovoltaic în algoritmul de flux de putere cu ușurință. În plus, este demonstrată fezabilitatea utilizării conceptului HDAM pentru sistemele fotovoltaice, în

ciuda lipsei lor de simetrie și implicarea diferitelor frecvențe de sursă. În mod remarcabil, abordarea propusă elimină necesitatea calculării derivatei parțiale pentru dispozitivele electronice de putere în cadrul algoritmului de flux de putere.

Validarea π -echivalentului a fost efectuată folosind instrumentul software de flux de putere larg utilizat PSS/E și, în scopuri de verificare, cu PSCAD/EMTDC, rezultând o acord excelent. Mai mult, s-a arătat că luarea în considerare a cuplării încrucișate a armonicilor duce la rezultate îmbunătățite în comparație cu Metoda Alternativă de Dislocare (ADM), care ține cont doar de curent continuu și frecvența fundamentală.

4. Dinamică FEHD. Soluție analitică pentru sistemele periodice în timp

Acest capitol introduce abordarea Domeniului Armonic Extins Dinamic (DFEHD), permițând calculul evoluției frecvenței în timp în sistemele Lineare Periodice în Timp (LTP) printr-o expresie în formă închisă constând din semnale sinusoidale, atât armonice, cât și interarmonice. Propunerea oferă soluția analitică pentru orice sistem LTP reprezentat ca o sumă de semnale sinusoidale, cu frecvențe derivate din frecvențele pre-selectate FEHD, frecvențele naturale și combinațiile acestora. Prin urmare, frecvențele de comutare pot fi integrate direct în setul pre-selectat de frecvențe în formularea DFEHD.

DFEHD a fost validat eficient prin două studii de caz, demonstrând o acuratețe remarcabilă datorită naturii sale analitice. Caracteristicile sale cheie includ: i) calculul soluției tranziente armonice/interarmonice dinamice prin expresie în formă închisă, ii) eliminarea metodelor de integrare numerică și a dependenței de pasul de timp, și iii) furnizarea dinamică completă a spectrului de frecvențe.

Având în vedere aceste caracteristici, DFEHD servește ca o metodă alternativă pentru simularea tranzitorie a sistemelor LTP și poate fi folosit pentru a evalua calitatea energiei în sistemele moderne. În contrast, modelele bazate pe PSCAD/EMTDC și TD necesită rutine de post-procesare, ducând la erori cunoscute, așa cum se evidențiază în studiile de caz prezentate. Modelele FEHD convenționale sunt limitate de setul lor fix de frecvențe armonice/interarmonice, eșuând astfel în a incorpora frecvențele naturale ale sistemului. Abordarea DFEHD depășește această limitare prin luarea în considerare a acestor frecvențe, permițând astfel o inițializare precisă a modelelor FEHD.

5. Inițializarea corectă a modelelor bazate pe EHD

Acest capitol introduce o abordare nouă bazată pe Domeniul Armonic Extins Dinamic Flexibil (DFEHD) pentru calcularea condițiilor inițiale ale sistemelor neliniare. Implementarea acestei abordări implică o metodă de aproximare a condițiilor inițiale, care reduce eficient oscilațiile nedorite la frecvențe preselectate cauzate de inițializare sau schimbări de pas, în comparație cu modelarea tradițională FEHD. Mai mult, timpul necesar pentru implementarea acestei abordări se dovedește a fi neglijabil în comparație cu timpul total de simulare al CPU-ului. Rezultatele obținute din abordarea bazată pe DFEHD au fost comparate cu modelarea tradițională FEHD, efectuată fără calculul condițiilor inițiale, precum și cu PSCAD/EMTDC. Compararea demonstrează o acordare excelentă în valorile instantanee și o reprezentare îmbunătățită a evoluției frecvenței.