
REDUCEREA POLUĂRII ELECTROMAGNETICE LA ECHIPAMENTE ELECTROTHERMICE DE ÎNALTĂ FRECVENȚĂ

Teză de doctorat

rezumat

Această lucrare constituie un studiu privind îmbunătățirea indicatorilor de calitate a energiei electrice în funcționarea unei instalații electrotermice de călire cu inducție electromagnetică. În urma studiului asupra variației parametrilor electrici ce caracterizează funcționarea acestei instalații de călire, s-a realizat un sistem trifazat de filtre pasive și un filtru activ realizat cu tranzistoare IGBT și care este comandat soft utilizând o aplicație realizată în mediul de programare LabVIEW.

Capitolul 1.

În primul capitol sunt prezentate considerații teoretice privind instalațiile de încălzire prin inducție electromagnetică. De asemenea, sunt prezentate elementele componente ale instalației electrotermice studiate.

Capitolul 2.

Al doilea capitol propune două metode de măsurare a parametrilor electrici la instalația de călire prin inducție electromagnetică. Această instalație se alimentează cu energie electrică de la rețeaua de distribuție 0,4kV, 50Hz. În vederea studierii parametrilor electrici ai instalației electrotermice s-a propus ca primă metodă utilizarea unui analizor trifazat pentru măsurarea calității energiei electrice CA 8334B. Cu ajutorul acestui analizor se pot determina armonicile de curent și tensiune generate de sarcinile neliniare. Parametrii electrici pot fi calculați și reprezentați în formă grafică și vizualizați prin intermediul unui ecran LCD. Conectând acest analizor în punctul de racord al instalației electrotermice cu rețeaua de distribuție, s-au obținut informații privind variația următorilor parametri electrici: curenți și tensiuni de fază, puteri active, reactive, deformante, aparente, factor de putere, distorsiuni armonice pentru curenți și tensiuni, spectrele de armonici ale curenților și tensiunilor.

În urma măsurărilor efectuate se poate observa că tensiunile sunt aproape sinusoidale, spre deosebire de curbele curenților care sunt puternic deformate. De asemenea, se poate observa o creștere a valorilor efective ale curenților odată cu creșterea puterii instalației.

Măsurătorile s-au desfășurat într-un interval de timp de aproximativ 67s, perioada de eșantionare fiind egală cu 1s. Valorile efective ale curenților variază în limite largi pe parcursul procesului de călire, valorile lor crescând odată cu creșterea puterii absorbite de instalație. Curenții sunt puternic distorsionați (THD>100%).

A doua metodă utilizată constă în realizarea unui sistem care achiziționează eșantioane din semnalele de curent și tensiune din rețeaua electrică de distribuție în timpul funcționării instalației de călire. Acest sistem presupune utilizarea unei plăci de achiziții de date conectate la un calculator și realizarea unui *bloc de adaptare* a nivelelor semnalelor de curent și tensiune din rețeaua electrică de distribuție la cerințele solicitate de sistemul de achiziție. Utilizând *aplicația de achiziție* realizată în mediul de programare LabVIEW, sistemul de achiziție preia în timp real pe șase canale analogice eșantioane din semnalele de curent și tensiune (trei curenți și trei tensiuni de fază). Eșantioanele achiziționate sunt salvate în fișiere cu extensia .txt și pot fi încărcate ulterior în aplicația de redare care calculează și afișează pe panoul frontal variațiile parametrilor electrici amintiți mai sus. Variațiile sunt afișate atât într-o perioadă a tensiunii rețelei de alimentare, cât și pe intervalul de 10s.

Din variația parametrilor principali și secundari în domeniul timp, se poate observa că factorul de distorsiune ce caracterizează curbele tensiunilor de fază este mic (cuprins între 2 și 2,95%), spre deosebire de cel al curbelor de curent. Acestea sunt puternic distorsionate, valoarea distorsiunii armonice totale variind între 85 și 140%. Chiar dacă valorile acestor distorsiuni armonice descresc odată cu creșterea puterii absorbite de la rețea, valorile pentru curbele curenților depășesc cu mult limitele admise prin normativele în vigoare.

Valorile efective ale tensiunilor de fază au o slabă variație odată cu creșterea puterii absorbite de la rețea. Factorul de putere are o variație crescătoare la creșterea puterii absorbite de la rețea (0,59...0,75).

Studiind variațiile tensiunilor și curenților în domeniul frecvență, se poate observa că la puteri absorbite de valori mici, spectrul armonicilor de curent este foarte bogat, fiind semnificativ

și armonica de rang 21. Odată cu creșterea puterii, rămân important de studiat armonicile de curent de rang 5, 7, 11 și 13 care cresc constant în amplitudine. Pe parcursul efectuării măsurătorilor, armonica de rang 5 atinge valoarea maximă de 15A, armonica de rang 7 are valoarea 10A, armonicile de rang 11 și 13 au valorile 2,5A, respectiv 2A.

În acest capitol sunt prezentate rezultatele măsurătorilor efectuate prin ambele metode, crescând din 10 în 10% puterea nominală a instalației. Se poate concluziona aici că distorsiunea armonică totală a curenților de fază depășește cu mult limita admisă prin standardele tehnice în vigoare. Valoarea acestei distorsiuni atinge 140%, iar limita admisă este 8%. Distorsiunea armonică totală a tensiunilor de fază se încadrează în limitele admise. Ca metodă de reducere a poluării electromagnetice a rețelei de distribuție, se propune aici realizarea unui sistem de filtrare a armonicilor de curent.

Capitolul 3.

În urma setului de măsurători ai parametrilor electrici ce caracterizează instalația de călire și care a fost prezentat în capitolul al 2-lea, s-au propus metode de reducere a distorsiunilor armonice ale curbelor de curent din rețeaua electrică de distribuție a energiei electrice.

Prin urmare, în acest capitol s-a realizat dimensionarea unui filtru hibrid compus dintr-un sistem trifazat de filtre pasive absorbante și un filtru activ trifazat realizat cu șase tranzistoare IGBT comandate soft.

Studiind spectrul curenților armonici generați în rețea de către instalația de călire și care a fost, de asemenea, prezentat în capitolul al 2-lea, apare necesitatea reducerii amplitudinilor curenților armonici de rang 5, 7, 11 și 13. Pe frecvențele acestor armonici s-au dimensionat filtre pasive absorbante realizate din bobine și condensatoare.

Dimensionarea filtrelor pasive s-a realizat utilizând patru metode, în așa fel încât să fie îndeplinite condițiile privitoare la tensiunea și solicitarea termică a condensatoarelor, condițiile privitoare la tensiunea și curentul admisibil, respectiv condițiile privitoare la tensiunea și puterea admisibilă.

Valorile capacităților și inductivităților obținute prin proiectare urmează a fi utilizate în capitolul al 4-lea la simularea funcționării schemei electrice a instalației de călire utilizând programul PSCAD-EMTDC. Astfel se va putea urmări comportarea instalației de călire utilizând aceste dispozitive de reducere a distorsiunilor armonice.

Filtrul activ proiectat în acest capitol este compus din *controlerul filtrului activ și converterul PWM*. *Controlerul filtrului activ* constă într-o aplicație realizată în mediul de programare LabVIEW care achiziționează eșantioane de curent și tensiune utilizând sistemul de achiziție descris în capitolul al 2-lea. *Converterul PWM*, o altă aplicație LabVIEW, generează semnale de comandă *modulului IGBT* realizat cu șase tranzistoare IGBT. Aceste tranzistoare produc un sistem trifazat de curenți care pot compensa prin forma lor de variație distorsiunile curenților din rețeaua electrică.

Capitolul 4.

Acest capitol prezintă în primul paragraf modelarea și simularea schemei electrice a instalației de călire, precum și rezultatele simulărilor efectuate. Programul de simulare ales este PSCAD-EMTDC.

Studiind formele de variație ale parametrilor electrici la frecvența de 50Hz, se observă că tensiunile atât în înfășurarea primară, cât și în cea secundară a transformatorului de putere sunt sinusoidale. În timpul funcționării instalației de călire, curbele curenților din înfășurările transformatorului de putere se abat puternic de la forma sinusoidală, distorsiunea armonică totală a acestora având valoarea de 78,8%. Această valoare depășește cu mult limita impusă de 8% prevăzută prin normativele tehnice în vigoare.

S-au conectat multimetre pentru măsurarea puterilor active și reactive în diverse puncte ale schemei, astfel încât puterea activă absorbită de instalația de călire din rețeaua electrică este 17,94kW, iar puterea reactivă este 20,31kVAr.

Frecvența de funcționare a inverterului este stabilită la 100kHz, formele de undă ale tensiunilor la această frecvență sunt dreptunghiulare. În înfășurarea primară a transformatorului T1 tensiunea U_1 are amplitudinea de 430V. Tensiunea U_2 are amplitudinea de 360V, iar tensiunea la bornele inductorului este 90V. Se poate observa că se verifică rapoartele de transformare ale transformatoarelor de înaltă frecvență (T1: 600/500V, T2: 500/100V). Curentul prin înfășurarea inductorului are valoarea la vârf de 180A. Se concluzionează că rezultatele simulărilor efectuate sunt comparabile cu cele obținute prin măsurătorile reale prezentate în capitolul al 2-lea.

În al doilea paragraf sunt prezentate rezultatele simulărilor schemei instalației care utilizează dispozitive de reducere a efectului deformant și anume filtre pasive acordate pe armonicile 5, 7, 11 și 13. Aceste filtre au fost dimensionate în capitolul al 3-lea. Studiind variațiile obținute, se observă că în urma conectării sistemului de filtre se reduce valoarea distorsiunii armonice totale de la 78,8% la 28,63%. În schimb, cresc puterile active și reactive absorbite la 36,57kW, respectiv 44,19kVAr.

Capitolul 5.

Acest capitol prezintă validarea experimentală la nivel de laborator a instalației electrotermice utilizând filtrele de armonici dimensionate în capitolele anterioare. Acest lucru este realizat în două etape. În prima etapă se conectează la instalația electrotermică sistemul trifazat de filtre pasive. Utilizând sistemul de achiziție descris în capitolul al 2-lea împreună cu aplicația realizată în LabVIEW pentru calculul și redarea parametrilor electrici, se achiziționează eșantioane din semnalele de curent și tensiune de fază din rețeaua electrică de distribuție în timpul funcționării instalației electrotermice. În paragraful 5.1 sunt prezentate astfel rezultatele măsurătorilor împreună cu variația parametrilor electrici în situația utilizării sistemului de filtrare pasivă.

Aplicația realizată în LabVIEW realizează comanda soft a unui filtru activ realizat cu tranzistoare IGBT astfel: semnalele de curent și tensiune eșantionate și preluate în urma filtrării pasive sunt prelucrate soft. În acest fel sunt obținute semnale de curent rezidual care sunt apoi introduse într-un modulator trifazat realizat de asemenea soft. Pulsurile de comandă generate de modulator comandă modulul IGBT prin intermediul unei plăci de achiziții de date. Semnalele de compensare generate de modulul IGBT sunt preluate de aplicație utilizând din nou placa de achiziție. Aplicația LabVIEW realizează scăderea semnalelor de compensare din semnalele de curent obținute prin filtrarea pasivă. Distorsiunea semnalelor rezultate este semnificativă, ajungând la valori de 16%. Acest capitol prezintă în detaliu modul de realizare a filtrului activ comandat soft. De asemenea, sunt prezentate rezultatele obținute.

Contribuțiile proprii ale autoarei acestei lucrări sunt: realizarea practică a blocului de adaptare, aplicațiile soft de achiziție, respectiv de redare prezentate în capitolul al 2-lea, realizarea practică a sistemului de filtrare pasivă, aplicația soft de comandă a filtrului activ prezentate în capitolul al 5-lea, precum și toate măsurătorile care s-au efectuat pentru realizarea acestei lucrări.

Doctorand: ing. Raluca Oana Sonia ROB

Coordonator științific: prof.dr.ing. Ioan ȘORA