

REZUMAT TEZA DE ABILITARE

CALITATEA ȘI EFICIENȚA ENERGIEI ÎN INSTALAȚIILE ELECTRICE MODERNE

Prof. dr. ing. Emil CAZACU

Universitatea POLITEHNICA București, Facultatea de Inginerie Electrică

Teza de abilitare este dedicată calității energiei și eficienței energetice din cadrul instalațiilor industriale de joasă tensiune. Selecția acestei teme este justificată și de faptul că peste 70 % din energia electrică totală consumată se realizează în cadrul acestor instalații, care sunt de o mare diversitate și gamă de puteri. Acestea includ o cantitate semnificativă de material activ și un număr foarte mare de echipamente electrice. În plus, multe din tehnologiile electrice moderne, care vizează o înaltă eficiență energetică, conțin receptoare alimentate în joasă tensiune. Lucrarea aprofundează în mare măsură aspectele teoretice ale fenomenelor de calitate și eficiență energetică din instalații electrice, realizându-se evaluări calitative și cantitative ale acestora menite să genereze soluții optime din punct de vedere tehnic și economic, care ulterior să fie puse în practică în concordanță cu stadiul curent al dezvoltării tehnologice.

Structurată în 6 capitole, lucrarea debutează în capitolul 1 cu o prezentare generală a problematicilor actuale impuse de cerința ridicată de calitate a energiei dar și de utilizarea eficientă a acesteia în cadrul instalațiilor electrice moderne.

În capitolul 2 este examinat modul în care una din cele mai importante abateri de la calitatea energiei electrice, distorsiunea formei de undă a curentului, afectează echipamentele esențiale implicate în distribuția de energie electrică (transformatoarele de distribuție și conductele de energie electrică). Se urmărește estimarea cantitativă a nivelului de declasare sau denominare (reducere a puterii nominale) echipamentelor în aceste regimuri nesinusoidale, astfel încât acestea să-și prezerve durata de viață inițial proiectată (în regim pur sinusoidal). Sunt astfel evaluate cantitativ pierderile adiționale de putere în cadrul echipamentelor cauzate de regimul nesinusoidal, creșterile de temperatură și estimat factorul de accelerare a îmbătrânirii izolației echipamentului. Abordarea este realizată având în vedere standardele internaționale în domeniu.

Capitolul 3 este dedicat analizei regimurilor tranzitorii ale unor echipamente electrice care conțin materiale feromagnetice (transformatoarelor electrice monofazate și bobine cu miezuri feromagnetice) și a modului în care aceste regimuri dinamice afectează nivelul de calitate și eficiență energetică din instalații. Sunt examinate atât analitic cât și numeric problemele determinate de inițierea acestor regimuri tranzitorii (valoarea mare a amplitudinea curentului de conectare, spectrul armonic specific al primei perioade). De asemenea, sunt propuse și diverse remedii care să determine reducerea apelului mare de curent la conectarea echipamentelor precum și poluarea armonică semnificativă care însoțesc aceste comutații.

În capitolul 4 este analizat, folosind un instrument matematic avansat, fenomenul de ferorezonanță din instalațiile electrice de joasă tensiune. Acesta este identificat în ultimul timp în circuitele noi cu înaltă eficiență energetică (cu pierderi intrinseci mici) și care conțin elemente capacitive și inductive neliniare (cu caracteristică magnetică neliniară). Fenomenul se manifestă prin oscilații cu de valori extreme și instabile ale tensiunii și/sau curenților în circuit putând să determine avarii semnificative în instalații. Sunt de asemenea sugerate și mijloace prin care aceste efecte distructive pot fi diminuate sau evitate prin selecția optimă a unor parametrii de rețea.

Capitolul 5 este dedicat unor alte chestiuni actuale de calitate și eficiență energetică din cadrul instalațiilor de joasă tensiune. Sunt astfel investigate: evaluarea minim invazivă a eficienței energetice a motoarelor electrice asincrone din sistemele moderne de acționări electrice, studiul analitic al regimului de comutație (tranzitoriu) inițiat la pornirea motoarelor electrice asincrone, modalitatea de compensare a factorului de putere în cadrul rețelelor poluate armonic și dezechilibrate, regimul dinamic determinat de comutația bateriilor de condensatoare din cadrul sistemelor clasice și moderne de compensare a puterii reactive și efectele acestuia în instalațiile în care aceste sunt conectate, dimensionarea corespunzătoare a conductorului a instalațiilor care alimentează receptoare puternic deformante și dezechilibrate.

Capitolele 2, 3, 4 și 5 conțin și o secțiune în care sunt indicate pe larg principalele direcții de continuare a cercetărilor sugerându-se și modalitățile prin care temele investigate pot fi abordate din diverse perspective tehnico-științifice și cu instrumentele matematico-informatiche disponibile la momentul curent. De asemenea la finalul acestor capitole (2, 3, 4 și 5) sunt însoțite de un bogat material bibliografic care cuprinde: un număr mare de lucrări de specialitate (naționale și internaționale, de dată recentă sau consacrate), rapoarte unor contracte de cercetare științifică, reglementări tehnice în vigoare la data elaborării prezentului material cât și documentație de specialitate furnizată de marii producători de echipament electric.

În capitolul 6 sunt expuse activitatea didactică și de cercetare a autorului prezentei teze de abilitare atât din punct de vedere al desfășurării acesteia până în momentul actual cât și din punct de vedere al evoluției acesteia în perspectivă. Sunt subliniate astfel domeniile de competență profesională, modul în care ele vor fi dezvoltate și extinse cu indicarea evoluției carierei academice, științifice și profesionale în contextul global al realizărilor științifice actuale și semnificative din domeniul ingineriei electrice. Este de asemenea documentată și capacitatea autorului tezei de abilitare de a coordona echipe de cercetare, de a organiza și gestiona activități didactice, de explicare și facilitare a învățării și cercetării.

Temele științifice abordate în prezenta teză de abilitare pot fi sintetizate astfel:

1. Analiza calității și eficienței energiei electrice utilizate de consumatorii industriali

- Dezvoltarea unor metode de evaluare minim invazive atât a randamentului de funcționare cât și a factorului de putere pentru motoarele electrice asincrone utilizate în sisteme de acționare electrice moderne.
- Propunerea de soluții privind modul de realizare a corecției factorului de putere în instalații electrice (de joasă tensiune), care funcționează în regim puternic deformant și nesimetric.
- Caracterizarea cantitativă (forme de undă tensiuni și curenți, durată) a regimului tranzitoriu generat de comutația bateriilor de condensatoare din sistemele automate de compensare a energiei reactive.
- Studii privind corelarea parametrilor de calitate a energiei electrice cu cei din analiza de vibrații și inspecția de termoviziune în infra roșu (mentenanță pro activă).

2. Consecințele regimului periodic nesinusoidal (deformant) asupra funcționării echipamentelor electrice.

- Determinări cantitative privind pierderile de putere suplimentare datorate regimului periodic nesinusoidal în elementele de rețea (transformatoare, conducte electrice etc.).
- Evaluarea numerică „in situ” a indicatorilor privind declasarea (reducerea puterii nominale) transformatoarelor de distribuție care alimentează sarcini neliniare (încărcarea maximă admisibilă).

- Corelarea directă a indicatorilor de regim deformant (măsurabili) cu denominarea puterii electrice disponibile (instalate) din instalațiile electrice industriale de joasă tensiune.
- Propunerea unor soluții de diminuare a efectelor armonicilor superioare din formele de undă ale curenților și tensiunilor absorbite de echipamente.

3. Caracterizarea regimurilor tranzitorii a dispozitivelor electromagnetice neliniare (care conțin piese din materiale feromagnetice).

- Predeterminarea curentului de conectare a transformatoarelor electrice monofazate și analiza critică a caracteristicilor acestuia (amplitudine, durată și spectru armonic a primei alternanțe). Evaluarea curentului de conectare al dispozitivelor electromagnetice neliniare (transformatoare, bobine cu miez de fier etc.) pentru forme de undă distorsionate ale tensiunii de alimentare.
- Analiza influenței caracteristicilor de material (curba de magnetizare) asupra parametrilor curentului de conectare al transformatoarelor monofazate utilizate în instalațiile de joasă tensiune.
- Caracterizarea calitativă și cantitativă a regimului tranzitoriu pentru bobinele trifazate utilizate în aplicații ale electronicii de putere (compensare regim capacitiv în convertoare statice).

4. Analiza fenomenului de ferorezonanță electrică în instalațiile electrice moderne.

- Determinarea condițiilor de apariție a fenomenului de ferorezonanță în instalațiile electrice moderne și caracterizarea calitativă și cantitativă a acestuia.
- Modelarea matematică a ferorezonanței circuitelor din instalații (sisteme de ecuații integro-diferențiale neliniare) și analiza avansată a soluțiilor prin reprezentarea acestora în planul fazelor, utilizarea vizualizării Poincaré sau a teoriei bifurcațiilor.
- Analiza vulnerabilității unei instalații electrice de joasă tensiune la apariția ferorezonanței prin analiza dispozitivelor magnetice neliniare în raport cu ceilalți parametri de circuit ai instalației.
- Investigarea diverselor tipuri de ferorezonanță ale transformatoarelor monofazate de joasă tensiune cu diferite forme ale miezului magnetic (tip U+I, M, E+I sau toroidale).
- Propunerea unor mijloace, metode sau proceduri de evitare a inițierii fenomenului de ferorezonanță sau de reducere a efectelor acestuia în instalațiile electrice actuale.

Teza prezintă și studiile realizate în mediul industrial care au determinat și o bogată **activitate tehnică** în domeniul ingineriei electrice, **complementară celei științifice**:

- Realizare de audit și bilanțuri electroenergetice pentru consumatori industriali: evaluarea randamentelor de funcționare a diverselor echipamente electrice industriale în regim permanent (utilaje, instalații sau linii tehnologice), identificarea oportunităților de creștere a eficienței energetice și propunerea unor soluții eficiente de îmbunătățire a parametrilor energetici ai consumatorilor cuprinși în conturul investigat.
- Efectuare și interpretare de măsurători privind calitatea energiei electrice consumate; monitorizare parametri: puteri electrice (active, reactive, aparente, deformante), factori de putere, indicatori regimuri nesimetrice și/sau deformante (distorsiune armonică, factori de nesimetrie), indicatori de denominare echipamente, parametri curenți de conectare (amplitudine, durată spectru armonic), calitatea tensiunii de alimentare (flicker, armonici, interarmonici, întreruperi, valori efective, medii, maxime, factori de vârf sau de formă etc.).

- Realizarea mentenanței predictive la consumatori prin inspecția de termoviziune (interpretarea hârților termografice) și analiza de vibrații a echipamentelor electrice cu elemente în mișcare (mașini electrice rotative sau alte convertoare electromecanice).
- Dezvoltarea unor sisteme de gestiune informatică a instalațiilor electrice și abordarea integrativă a elementelor de calcul în cadrul acestora – Evaluare continuă și concomitentă a curenților solicitați de receptoare în regim normal și suprasarcină, a puterilor de scurtcircuit în diverse puncte din rețea, a pierderilor de tensiune și putere în raport cu variația sarcinii electrice (puterii cerute de consumatori).
- Proiectarea optimală din punct de vedere a eficienței energetice de regim staționar și a performanțelor dinamice (solicitările determinate de regimurile tranzitorii) a instalațiilor electrice industriale de joasă tensiune prin selecția adecvată a caracteristicilor echipamentelor electrice de protecție, comutație și măsură din instalația investigată.
- Investigarea calitativă și cantitativă a efectelor rezonanței electrice pe diverse armonici din spectrul formelor de undă ale curenților și tensiunilor electrice (solicitări electrodinamice, termice și dielectrice) împreună cu propunerea unor soluții de diminuare a acestora.
- Analiza modalității de corecție a factorului de putere în regim periodic nesinusoidal (deformant) și selecția adecvată a soluției tehnice de compensare (corelată în acord cu parametrii calității energiei electrice circulate prin consumator).

Direcțiile majore de cercetare viitoare vor viza următoarele domenii:

- ▶ Impactul regimurilor periodice nesinusoidale și nesimetrice asupra funcționării echipamentelor electromagnetice: evaluarea pierderilor în regim nesinusoidal, comportamentul materialelor feromagnetice în câmpuri distorsionate etc.
- ▶ Modelarea și simularea proceselor fizice specifice din instalațiile electrice industriale, gestiunea informatică a acestora: dezvoltarea unor noi sisteme de monitorizare, control, evaluare, proiectare și optimizare a principalelor echipamente implicate în procesul de distribuție a energiei electrice.
- ▶ Creșterea calității și eficienței energiei electrice utilizată de consumatori: inspecția minim invazivă a parametrilor de funcționare a echipamentelor electrice corelată cu identificarea oportunităților de creștere a randamentelor de regim, predeterminarea valorii optime a acestora și corelarea investigațiilor multifizice simultane (electrice, termice și mecanice).
- ▶ Dezvoltarea de mijloace matematice, stocastice, analitice și numerice puse în slujba interpretării fenomenelor fundamentale și a proceselor aplicate.

Teza de abilitare apare ca un rezultat al unei importante experiențe didactice și de cercetare dobândite în cadrul Facultății de Inginerie Electrică a Universității POLITEHNICA București, dar și din bogata practică industrială a autorului (proiectant și auditor autorizat de instalații electrice). Lucrarea de față dorește o racordare a tematicii abordate atât la problemele actuale din cadrul ingineriei electrice, cât și la mediul industrial modern. Astfel, în cadrul instalațiilor electrice curente, utilizarea celor mai noi și eficiente echipamente, folosirea la o scară largă a sistemelor de calcul și informaticii aplicate împreună cu cele mai performante instrumente de investigație și măsură reprezintă o stare de fapt pe care specialistul trebuie să o cunoască, stăpânească și controleze.

