

Cercetări privind optimizarea controlului stațiilor rețehnologizate sistem SCADA

Teză de doctorat – Rezumat

pentru obținerea titlului științific de doctor la

Universitatea Politehnică Timișoara

în domeniul de doctorat INGINERIE ELECTRICĂ

autor ing. Dumitru CIULICĂ

conducător științific Prof.univ.dr.ing. Manuela PĂNOIU

luna 02 anul 2021

Rezumat

În cadrul prezentei lucrări se abordează domeniul de actualitate al comutării controlate a întrerupătoarelor de înaltă tensiune în timpul procesului de exploatare al acestora cu sisteme de comandă control SCADA.

Lucrarea de doctorat, cu un text de bază de 247 pagini este structurată pe 8 capitole, se bazează pe o listă bibliografică de 110 de titluri de actualitate, edificatoare pentru cercetările din teză.

O parte dintre contribuțiile aferente tezei au fost validate de către autor prin publicarea de lucrări științifice, după cum urmează: 2 lucrări publicate în volumele unor conferințe indexate ISI; 3 lucrări publicate în volumele unor conferințe indexate BDI.

Tematica abordată în cadrul tezei este de mare actualitate întrucât teza abordează problematica alimentării cu energie electrică, concret s-au studiat unele probleme care apar în cazul comutării cu întreruptoare cu SF6 de mare putere.

În Uniunea Europeană calitatea serviciului de furnizare a energiei electrice este cuantificată cu ajutorul a trei categorii de indicatori: calitatea comercială, continuitatea alimentării și calitatea energiei. Cercetările efectuate în cadrul tezei de doctorat sunt orientate cu precădere către continuitatea alimentării, dar abordează într-o anumită măsură și calitatea energiei, prin studiul regimului tranzitoriu care apare la comutarea întreruptoarelor electrice.

Teza de doctorat este un studiu laborios cu privire la optimizarea comenzii și controlul stațiilor electrice, unde elementele de comutație sunt întreruptoare cu SF6 iar sistemul de comandă control se realizează cu ajutorul sistemului SCADA. Cercetările efectuate s-au concretizat cu realizarea unui program care poate fi instalat în sistemul de comandă control cu scopul de a face o analiză în timp real a tensiunii și curentului pentru optimizarea punctului de comutare la întrerupătorul de circuit SF6.

De asemenea teza prezintă și o propunere de optimizare a alimentării unor stații pentru servicii interne, studiu care presupune menținerea stabilă a energiei electrice.

În lucrare s-a prezentat o serie de rezultate ale propriilor cercetări, într-o manieră logică, prin identificarea problemelor care pot să apară și propunerea de soluții.

În capitolul 1 sunt prezentate motivația și obiectivele tezei, avantajele și dezavantajele comutării controlate, problemele care pot să apară în timpul comutării normale, precum și conținutul tezei.

Capitolul 2 prezintă informațiile necesare cunoașterii sistemului de comandă control, stadiul actual și tendințe ale sistemului de comandă control al stațiilor electrice rețehnologizate.[1][2]

De asemenea este prezentată o clasificare a întreruptoarelor de înaltă tensiune folosite, rolul acestora precum și condițiile pe care trebuie să le îndeplinească acestea.[3][4]

Pentru o cunoaștere cât mai precisă a întreruptoarelor cu SF6 sunt prezentate elementele constructive, regimurile de funcționare,[7][8] părțile componente și caracteristicile de funcționare ale acestora, iar pentru o cunoaștere cât mai precisă a procesului de comutare sunt prezentate operațiile și fazele procesului de închidere sau deschidere.[11][12][13]

De asemenea este prezentat mecanismul cu resoarte a dispozitivului de acționare al întreruptorului cu SF6 precum și fenomenele principale ale procesului de comutare.[5][6][9][10]

Capitolul 3 prezintă informațiile necesare cunoașterii procesului de stingere a arcului electric de curent alternativ și modelele matematice abordate în literatura de specialitate care simulează comportamentul arcului electric, respectiv modelarea restabilirii tensiunii între contactele echipamentelor de comutație.[14][15]

Sunt prezentate și formulele matematice care definesc fenomenul de deconectare dinamică în instalațiile de curent alternativ precum și modelul conectării controlate prezentat în literatura de specialitate.

În vederea implementării diferitelor scenarii de simulare s-au dezvoltat în Matlab interfețe grafice utilizator care permit ajustarea valorilor parametrilor modelelor într-un anumit domeniu stabilit.

În capitolul 4 s-a realizat un model de comutare controlată prin exemplificarea timpilor necesari procesului de comutare. Astfel s-au realizat două simulări pentru operația de conectare a unei sarcini inductive cu reprezentare grafică a principalelor mărimi ce intervin în proces, schema logică ce stă la baza calculului timpului de comutare precum și valorile măsurate. [16][17]

Tot în acest capitol s-au realizat două simulări pentru operația de deconectare controlată cu algoritmul folosit, reprezentarea grafică a operației precum și compararea cu modelul din literatura de specialitate.

Pe baza rezultatelor obținute în acest capitol s-au identificat următoarele concluzii:

- Simularea timpului de închidere în cazul întreruptoarelor cu SF6 depinde în mare măsură de tipul întreruptorului.
- Pentru fiecare tip de întreruptor trebuie să se ridice caracteristicile acestora funcție de temperatură, tensiunea de alimentare cu curent continuu a bobinelor de acționare și presiunea agentului hidraulic.
- Având în vedere că întreruptorul funcționează în condiții normale, adică temperatura în limitele $0^{\circ}\text{C} \div +40^{\circ}\text{C}$, putem aproxima acest coeficient ca fiind egal cu 72 milisecunde pentru operația de conectare și cu 22 milisecunde pentru operația de deconectare.
- Pentru verificarea acestor timpi este necesară folosirea unor contacte auxiliare, care copiază poziția contactelor întreruptorului, foarte rapide și precise.
- Algoritmul de calcul pentru timpul de conectare este simplu, totul se rezumă la calcularea celor șapte momente de timp și aplicarea cât mai rapidă a comenzii la bobina întreruptorului.
- Măsurarea cu o precizie ridicată cu ajutorul unor traductoare existente în instalație a temperaturii și tensiunii de curent continuu.
- Simularea s-a făcut pentru o singură fază, pentru cazul în care comanda întreruptorului este monopolară. Atunci pe fiecare fază trebuie să se transmită comanda de comutare defazată față de faza studiată cu o anumită întârziere calculată.

Capitolul 5 prezintă un program de simulare pentru comutarea controlată a principalelor tipuri de sarcini.[18]

Au fost sintetizate și analizate mai multe tipuri de comutări considerate reprezentative pentru procesul avut în vedere: deconectare controlată a unei sarcini capacitive; conectare controlată a unei sarcini capacitive; deconectare controlată a unei sarcini inductive; conectare controlată a unei sarcini inductive; deconectare controlată a unui transformator de putere; conectare controlată a unui transformator de putere.

Comutările controlate au fost analizate și comparate cu comutările necontrolate pentru

a evidenția care dintre acestea oferă performanțe mai bune.

În capitolul 6 este tratată problema comutării controlate a întrerupătoarelor de înaltă tensiune în regim tranzitoriu. În prima parte sunt prezentate schemele echivalente pe tipuri de defecte.

Au fost sintetizate și analizate mai multe tipuri de comutări, considerate reprezentative pentru regimul tranzitoriu, în funcție de:

- tipul sursei: caracter capacitiv, caracter rezistiv, caracter inductiv.
- tipul sarcinii: caracter capacitiv, caracter rezistiv, caracter inductiv.
- locul de defect: apropiat sau depărtat.

Tot în acest capitol s-au realizat simulări pentru operația de deconectare controlată în regim tranzitoriu cu diferite tipuri de defecte.

În urma simulărilor se pot formula următoarele concluzii referitoare la deconectarea controlată a regimului tranzitoriu:

- permite obținerea unei caracteristici curent și tensiune a cărei formă este echivalentă cu cea regăsită în literatura de specialitate;
- permite obținerea de curenți de rupere diferiți, necesari procesului de deconectare;
- permite modificarea caracterului sursei prin modificarea defazajului de curent și tensiune;
- permite modificarea caracterului sarcinii prin modificarea defazajului de curent și tensiune;
- permite evidențierea parametrilor care sunt supervizați în cazul instalației electrice reale;
- permite lucrul cu distanțe de defect diferite ;
- urmărește formele de undă ale curentului și tensiunii, obținute de la instalația reală;
- curentul maxim de rupere a arcului se obține pentru o deschide la momentul când curentul de defect este la maximum amplitudinii curentului de defect;
- poate fi folosit în sinteza structurilor de conducere.

Capitolul 7 prezintă sinteza studiului procesului de comutare controlată a întrerupătoarelor de înaltă tensiune cu ajutorul sistemului comandă control.

În acest capitol s-au aplicat studiile din capitolele precedente prin realizarea simulării comutării controlate în: deschiderea și închiderea controlată a unui întreruptor de linie cu sistemul de comandă control; deschiderea și închiderea controlată a unui întreruptor de autotransformator cu sistemul comanda control.

În urma simulărilor se pot formula următoarele avantaje referitoare la închiderea controlată a unui întreruptor:

- permite obținerea unei caracteristici curent și tensiune a cărei formă este echivalentă cu cea regăsită în practică;
- permite citirea mărimilor necesare procesului din sistemul de comandă și control prin intermediul Tag-uri interne, aceste valori fiind afișate în fereastra de lucru;
- permite modificarea mărimilor necesare procesului de simulare prin introducerea manuală a acestora;
- fereastra de dialog pentru simulare are grafica și modul de afișare identic cu cel folosit în practică în sistemul de comandă control;
- se determină cu o precizie ridicată momentul de trecere prin zero a tensiunii folosind unghiul de defazaj al tensiunii pe fiecare fază, presupunând că sistemul în condiții normale este trifazat echilibrat și unghiul de defazaj al tensiunii pe faza R este zero;
- permite calculul momentului de închidere, care este pe maximum tensiunii de referință, cu o precizie ridicată folosind algoritmi de calcul;
- permite afișarea poziției întreruptorului cu ajutorul colorării dinamice;
- urmărește formele de undă ale curentului și tensiunii, obținute de la instalația reală;
- factorul de întârziere este calculat cu ajutorul testelor realizate;

- poate fi folosit în sinteza structurilor de conducere.

În capitolul 8 este studiată anclanșarea automată a alimentării de rezervă (AAR) cu sistemul de comandă control pentru serviciile interne de curent alternativ cu 3 surse de bază și un grup electrogen ale unei stații electrice.

În acest capitol se simulează toate defectele posibile care pot să apară la alimentarea serviciilor interne, precum și rezolvarea acestor probleme cu ajutorul unor algoritmi instalați în sistemul de comandă control.

Capitolul 9 concluzionează demersul științific întreprins prin cercetările din teză, focalizându-se pe concluziile și contribuțiile aduse. Sunt prezentate de asemenea tendințele de cercetare viitoare.

Pornind de la obiectivele declarate ale acestei lucrări se pot enumera următoarele contribuții:

- Elaborarea unui studiu asupra problematicilor de bază ale procesului de comutare a echipamentelor de înaltă tensiune în vederea comutării controlate a acestora.
- Realizarea identificării stării actuale a procesului de comutare în instalațiile de înaltă tensiune.
- Analiza principalelor operații și factori care influențează procesul de comutare a întreruptoarelor de înaltă tensiune prin prisma intereselor legate de comutarea controlată și validarea modelelor matematice propuse și respectiv elaborarea strategiilor de comutare controlată.
- Dezvoltarea și implementarea (în Excel și Geogebra) a unor modele matematice ale curentului, tensiunii în funcție de timp pentru conectarea și deconectarea controlată a bobinei de compensare de 400kV
- Dezvoltarea și implementarea (în Matlab) a unor modele matematice ale curentului, tensiunii trifazate în funcție de timp pentru conectarea și deconectarea în condiții defavorabile a unei sarcini capacitive, sarcini inductive și transformator.
- Dezvoltarea și implementarea (în Matlab) a unor modele matematice ale curentului, tensiunii trifazate în funcție de timp pentru conectarea și deconectarea controlată a unei sarcini capacitive, sarcini inductive și transformator.
- Analiza comparativă a modelelor matematice ale curentului, tensiunii trifazate în funcție de timp pentru comutarea controlată față de comutarea necontrolată a unei sarcini capacitive, sarcini inductive și transformator.
- Dezvoltarea și implementarea (în Matlab) a unor modele matematice ale curentului, tensiunii trifazate în funcție de timp pentru conectarea și deconectarea controlată sau necontrolată a întrerupătoarelor de înaltă tensiune în regim tranzitoriu a unei sarcini capacitive, inductive, rezistive.
- Dezvoltarea și implementarea (în Visual Basic) a unor programe de determinare a momentului de timp pentru conectarea și deconectarea controlată a unui întreruptor de linie cu sarcină capacitivă sau rezistivă cu sistemul de comandă control.
- Dezvoltarea și implementarea (în Visual Basic) a unor programe de determinare a momentului de timp pentru conectarea și deconectarea controlată a unui întreruptor de linie cu sarcină capacitivă sau rezistivă cu sistemul de comandă control.
- Dezvoltarea și implementarea (în Visual Basic) a unor programe de determinare a momentului de timp pentru conectarea și deconectarea controlată a unui întreruptor de autotransformator cu sistemul de comandă control.
- Dezvoltarea și implementarea (în Visual Basic) a unor programe de reprezentare grafică a curentului, tensiunii în funcție de timp și momentului de timp pentru conectarea și deconectarea controlată a unui întreruptor de linie cu sistemul de comandă control.
- Elaborarea unui program (în Visual Basic) pentru studiul și simularea automatizării AAR pentru sistemul de comandă control al serviciilor interne de c.a. a unei stații, precum și simularea tuturor variantelor de funcționare.
- Dezvoltarea și implementarea unui program de funcționare a AAR în toate variantele

de defecte posibile a surselor de alimentare pentru serviciile interne de c.a. ale unei stații.

Bibliografie semnificativă

- [1] Modelling and evaluation of interruptible-load programmes in electricity markets. Yu, C. W., S. Zhang, T. S. Chung, K. P. Wong. s.l. : Generation Transmission and Distribution, IEE Proceedings, 2005. Vol. vol.152, pg. 581-588.
- [2] Vasielievici A., Gal S., Bălașiu F., Făgărașan T. Implementarea echipamentelor digitale de protecție și comandă pentru rețele electrice . s.l. : Editura Tehnică 2000, 2000.
- [3] Vasile Dușa, Victor Vaida. Comanda și controlul funcționării rețelelor electrice. București : Editura Tehnică, 2001.
- [4] Nicolae, Chiosa. Instrucțiune tehnică internă privind exploatarea sistemului de comandă-control SICAM PAS din stația 400/220/110 kV Mintia . 2015.
- [5] Wolloner, Koovac. DCS- Manual de operare și mentenanță. s.l. : Siemens, 2013.
- [6] Nicolae, Chiosa. Curs studenți master sisteme moderne comandă control protecții din SEN. Timișoara : s.n., 2018.
- [7] Controlled Switching of HVAC Circuit Breakers, Guide for application lines, reactors, capacitors, transformers (1st part). Group, CIGRÉ Working. Paris : CIGRÉ Working Group 13.07, 1999. Electra No 183.
- [8] Controlled Switching of HVAC Circuit Breakers, Guide for application lines, reactors, capacitors, transformers (2nd part). Group, CIGRÉ Working. Paris : s.n., 1999 august. Electra No 185 part2.
- [9] Standard Definitions for Power. IEEE. s.l. : IEEE, 1992. C37.100-1992, IEEE Std.
- [10] AC Power Systems Handbook. Whitaker, Jerry C. s.l. : CRC Press LLC, 1999.
- [11] High-voltage switchgear and controlgear - Part 100:High-voltage alternating-current circuit-breakers. IEC 62271-100:2001. Geneva : s.n., 2001. International Electrotechnical Commission.
- [12] AC High-Voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Current Basis - Preferred Ratings and Related Required. C37.06-1987, ANSI. New York : American National Standards Institute, 1987.
- [13] High Voltage Circuit Breakers : Design and Applications. D., Garzon R. New York : Marcel Dekker Inc, 1997.
- [14] Transients in Power Systems. van der Sluis, L. Chichester : John Wiley & Sons Ltd, 2001.
- [15] SF6 Gas Circuit Breakers Reliability Estimation, Considering Likely Wear Points. Elaine A. L. Vianna, Alzenira R. Abaide, Luciane N. Canha, Priscila L. Vianna. s.l. : IEEE, 2016. 978-1-5090-4650-8/16/2016 IEEE.
- [16] Interruption simulation at different arcing times for a Puffer Type 252kV SF6 Circuit Breaker. Jin Guo, Xu Jiang, Bing Chen, Jingwei Mu. Busan, Korea : IEEE, 2015. 978-1-4673-7414-9/15.
- [17] Inductive load switching. 62271-110, IEC. s.l. : IEC, 2012. IEC High voltage switchgear and controlger. p. Part. 110.
- [18] Condition monitoring of SF6 circuit breakers. Akesson, U. s.l. : CIGRE, 1992 . pg. Paper 13-104.