

SMANJENJE INJEKCIJE POREMEĆAJA U DISTRIBUTIVNU MREŽU USLED RADA POSTROJENJA ZA PROIZVODNJU PELETA

Nikola LAKETIĆ, Avalon Partners, Elektrotehnički fakultet, Beograd, Srbija
Borko ČUPIĆ, Visoka škola elektrotehnike i računarstva strukovnih studija, Elektrotehnički fakultet, Beograd, Srbija

KRATAK SADRŽAJ

U radu se prikazuje praktični rezultati na smanjenju injekcije poremećaja u distributivnu mrežu usled dinamike rada linije za drobljenje drveta. U pogonu za proizvodnju peleta radi linija drobilice koju pokreću elektromotori 2x250 kW, 0.4 kV. Tokom procesa drobljenja stabala, koji traje oko 3 sekunde, struja pogona dostiže 4.75 In_{motor}, tj. oko 3430 A. Proces drobljenja se ponavlja svake 3-4 sekunde. Ovakav profil opterećenja stvara značajne padove napona kako u industrijskoj tako i u distributivnoj mreži. Zbog velike injekcije poremećaja pretila je opasnost da fabrika bude isključena sa distributivne mreže. Rešenje je pronađeno u instalaciji postrojenja za kompenzaciju reaktivne snage u realnom vremenu, koje je smanjilo injekciju poremećaja na prihvatljiv nivo i stabilizovalo napon u postrojenju. U radu se predstavljaju rezultati merenja pre i posle izvršenog projekta, sa analizom najvažnijih parametara kvaliteta napona.

Ključne reči: Injekcija poremećaja, fliker, kompenzacija reaktivne snage, real-time regulacija

SUMMARY

This paper presents a practical solution for mitigation of disturbance injection into distribution grid. The wood pellet production line comprises two crusher motors 2x250 kW, 0.4kV. During crushing stage, that takes approx 2-3 seconds, the working current reaches 4.75 In_{motor}, i.e. around 3430 A. Crushing stage repeats every 3-4 seconds. Such a dynamic load profile creates significant voltage drops in industrial as well as in distribution grid. Due to high disturbance injection into the grid, local utility was about to switch off the user from the network. A mitigating solution was found in a real time power factor correction device, that reduced disturbance injection to acceptable level as well as stabilized voltage drops inside the factory. The paper presents experimental measurements before and after the installation of equipment, with analysis of main power quality parameters

Key Words: disturbance injection, power factor correction, real time regulation

UVOD

Linija za drobljenje drveta u pogonu proizvodne peleta imala je višestruke probleme u radu. Prvo, nije mogla postići projektovani kapacitet tj. drobljenje je trajalo duže nego što je očekivano i čeljust drobilice se često zaglavljivala, što je dodatno usporavalo rad. Drugo, tokom radu se javljali neočekivano veliki strujni udari, koji su nepovoljno delovali na rad napojnih energetskih transformatore i provodnika, a često je dolazilo i do povremenih prekida rada usled delovanja prekostrujne zaštite. Konačno, elektro-distributivno preduzeće je zahtevalo da se strujni udari ograniče kako zbog velike injekcije poremećaja u distributivnu mrežu, tako i zbog žalbi ostalih potrošača u potrošačkom konzumu. Linija drobilice je ukupne snage 500 kW (2x250kW), pri linijskom naponu 0.4 kV. Radni režim podrazumeva da drobilica koristi debla dopremljena gumenom trakom i čeljust drobilice u nekoliko ciklusa drobi po dva do tri debla odjednom. Ciklus traje oko 2-3 sekunde i ponavlja se na svakih par sekundi. Tokom drobljenja motori rade u režimu dozvoljenog preopterećenja sa radnom strujom od 4.75·In, tj. maksimalna vrednost struje motora je iznosila oko 3430 A. Ovako visoka struja, zajedno sa strujom ostatka fabrike, stvarala je probleme u distributivnoj mreži usled čestog reagovanja zaštite i injekcije flikera. Iz istog razloga, na samom postrojenju se javljao veliki pad napona i smanjenje korisnog momenta motora i do 50% Mn, što je smanjivalo kapacitet drobilice.

Problem je rešen projektovanjem i implementacijom postrojenja dinamičke kompenzacije reaktivne snage sa tiristorskom (TSC) regulacijom u realnom vremenu.

U radu su prezentovani rezultati radnih režima pre i posle izvršene kompenzacije. Merenja su realizovana brzim akvizicionim uređajem specijalizovanim za merenja tranzijentnih režima, na liniji drobilice debala i u transformatorskoj stanici. U ovom radu se razmatra problematika dinamičke kompenzacije reaktivne snage i to sa aspekta :

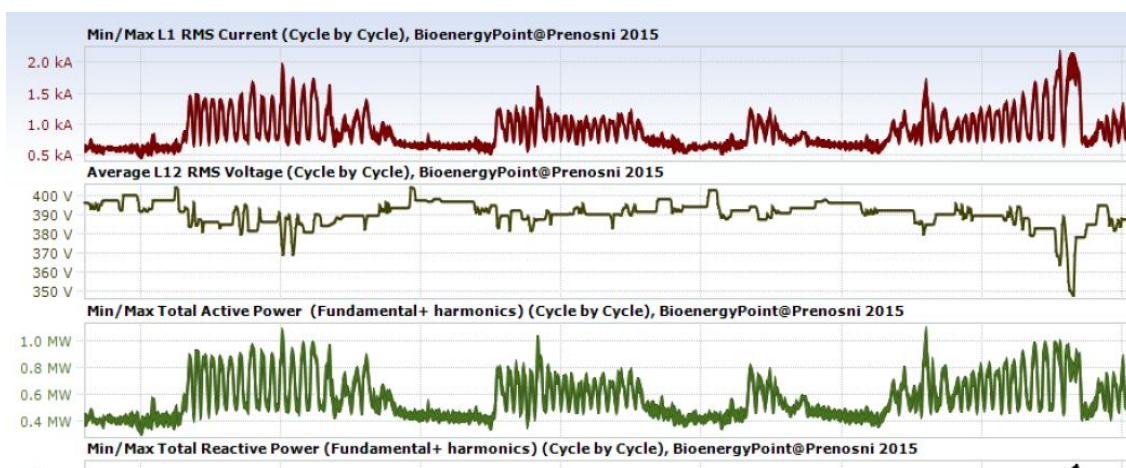
- kvaliteta električne energije,
- karakterističnih prelaznih procesa tokom rada drobilice (napon, struja, snaga, viši harmonici, flikeri).

KARAKTERISTIKE RADNOG REŽIMA DROBILICE

Svi prikazani rezultati merenja izvršeni su tranzijentnim rekorderom visoke klase tačnosti 0.2%, i izrazito velike brzine snimanja sa 1024 odbiraka po periodu merenog signala. Merenja su obavljena u realnim eksploatacionim uslovima. Napon je meren direktno, dok je struja merena fleksibilnim strujnim kleštima opsega 0-3000A.

Karakterističan radni režim energetskih transformatora pre kompenzacije reaktivne snage prikazan je na slici 1. Predstavljeni su rezultati merenja na niskonaponskim sabirnicama u TS 2x1000 kVA, 10/0.42 kV koja napaja liniju peleta kao i druge potrošače u fabrici. Merenja su izvršena na jednom od transformatora i u reprezentativnim radnim režimima. Obzirom da transformatori rade u paralelnom radu, potrebno je prikazane vrednosti pomnožiti sa dva da bi se dobilo celokupno opterećenje transformatorske stanice.

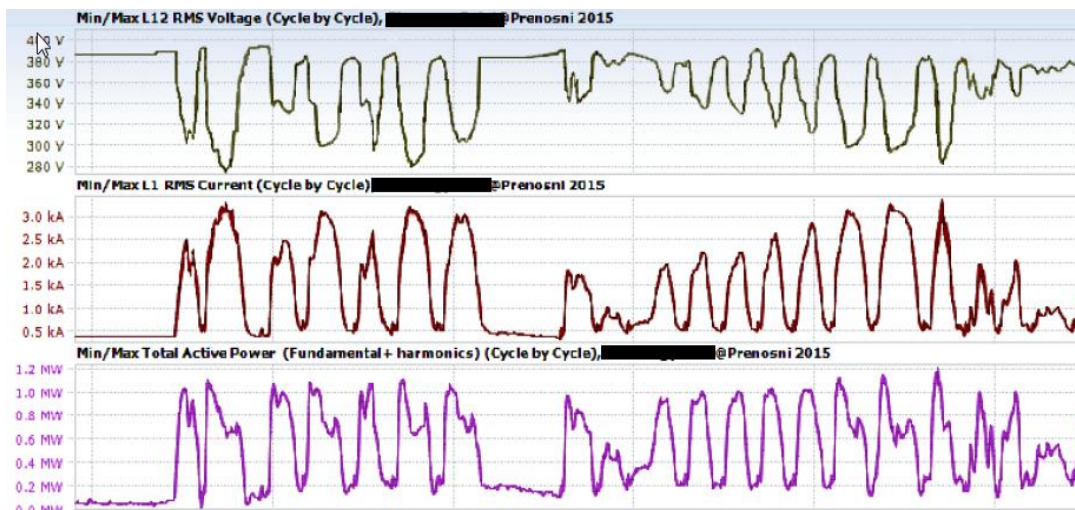
Maksimalna zabeležena kratkotrajna efektivna vrednost struje jednog transformatora iznosila je 2128 A, što predstavlja preopterećenje od 47% u odnosu na nominalnu struju transformatora od 1445 A. Minimalna zabeležena efektivna vrednost napona na sabirnicama transformatora iznosila je 347 V, što je pad napona od 14% u odnosu na interval kada drobilica ne radi. Maksimalna zabeležena vrednost aktivne snage jednog transformatora iznosila je 1034 kW, a reaktivne snage 884 kVAr. Iz navedenih rezultata jasno je da se radna tačka transformatora u karakterističnim radnim režimima kreće daleko iznad oblasti nazivnih parametara u blizini oblasti zasićenja.



Slika 1 Karakteristični elektroenergetski parametri pre izvršene kompenzacije – na energetskom transformatoru. Prikazan vremenski interval od 3 minuta i 30 sekundi.

Na samoj liniji za proizvodnju peleta propadi napona su još veći. Na slici 2 je prikazan snimak minimalnih i maksimalnih efektivnih vrednosti parametara gde se uočava njihov izrazito dinamički karakter. Prikazani vremenski interval je tako odabran da bi se stekla verodostojnija promena efektivnih vrednosti pojedinih parametara.

Propadi napona u ovom slučaju su iznosili i do 112V tj. pad napona je iznosio oko 28%, dok je izmereni linijski napon je iznosio 280V. Kao posledica ovoga došlo je do porasta radnih struja motora koje su iznosile i do 3430A, što približno iznosi $4.75 \cdot I_n$, gde je I_n nominalna struja pogonskih motora.

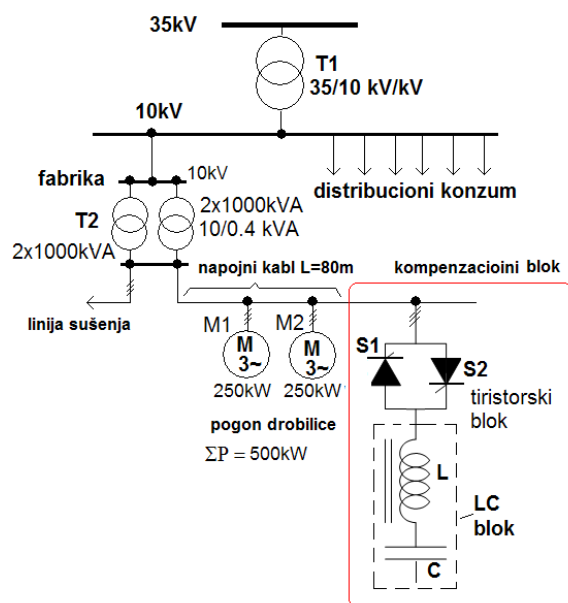


Slika 2 Karakteristični elektroenergetski parametri pre izvršene kompenzacije – na ormanu linije za drobljenje. Prikazan vremenski interval od 60 sekundi.

Zbog ovako visokih propada napona korisni moment motora je iznosio svega oko polovine nominalnog momenta, pa je drobljenje trajalo duže, a često su se i čeljusti drobilice zaglavljivale, te stoga ceo pogon nije mogao da radi sa nominalnim kapacitetom. Iz ovih razloga su bili značajno uvećani troškovi poslovanja i uvećani računi za utrošenu električnu energiju.

OPIS REALIZOVANOG SISTEMA ZA DINAMIČKU KOMPENZACIJU REAKTIVNE ENERGIJE U REALNOM VREMENU

Jednopolna šema sistema napajanja elektromotornog pogona drobilica 2x250kW i pripadajućeg tiristorskog sistema za dinamičku kompenzaciju reaktivne energije je data na slici1. Napajanje fabrike u okviru koje se nalazi tehnološka linija za proizvodnju peleta se ostvaruje na srednjem naponu 10kV, 50Hz, preko distributivnog transformatora T1, 35/10 kV/kV. Sa sabirnica 10kV se pored fabrike napaja distributivni konzum. Napajanje elektromotornog pogona drobilica (motori M1 i M2) se izvodi sa NN sabirnica 400V, 50Hz posredstvom dvostrukog transformatorskog spoja T2 10/0.42kV, 2x1000kVA. Sa ovih NN sabirnica se napaja i tehnološka linija sušenja.



Slika 3. Jednopolna električna šema elektromotornog pogona drobilica i TSC sistema za dinamičku kompenzaciju reaktivne energije

Analizom snimaka sa slika 1. i 2. utvrđeno je da je dominantni mehanizam nastanka propada napona i injekcije poremećaja u distributivnu mrežu – velika potreba za reaktivnom snagom elektromotora. Stoga se i rešenje ovog problema našlo u postrojenju za kompenzaciju reaktivne snage.

U cilju što efikasnije i kvalitetnije kompenzacije brzih fluktuacija reaktivne snage nastale usled rada elektromotornog pogona drobilica, predviđeno je kompenzaciono postrojenje bazirano na tiristorskoj tehnologiji i korišćenju LC filtra. Posebna pažnja posvećena je brzini uključenja i isključenja tiristorskog koraka. Dobro je poznato iz prakse da klasični „brzi“ regulatori za tiristorsku kompenzaciju reaktivne snage i pored deklarisanе brzine uključenja od jedne periode, u stvari imaju brzinu reagovanja od nekoliko perioda: 1 perioda za računanje trenutne reaktivne snage i najmanje 1-2 periode za provođenje tiristora zbog čekanja na prolazak struje kroz nulu, a u slučajevima veće dinamike i još nekoliko perioda zbog vremena potrebnog zapražnjenje zaostalog napona u kondenzatorima. Ovaj način regulacije, sa klasičnim regulatorima za brzu kompenzaciju, nije pogodan za smanjenje injekcije poremećaja u mrežu jer, zbog opisanog kašnjenja u reagovanju, dovodi u realnosti do povećanja naponskog flikera. Naime, umesto jednog poremećaja koji se injektuje u mrežu, imala bi se dva poremećaja sa suprotnim smerom: jedan na početku prelaznog procesa – zbog kašnjenja kod uključenja koraka kompenzacije, drugi na kraju prelaznog procesa – zbog kašnjenja kod isključenja koraka kompenzacije.

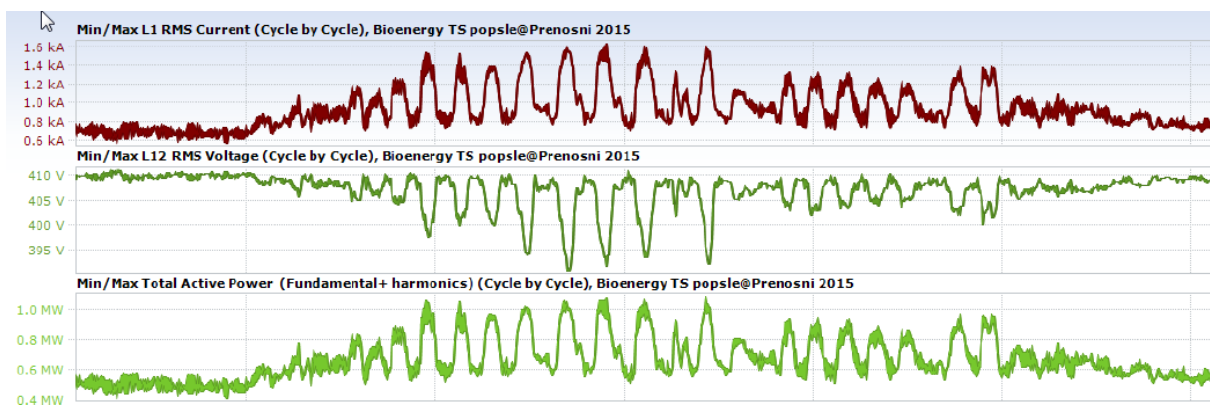
Da bi se navedeno ograničenje prevazišlo, u ovom konkretnom slučaju izvršena je sinhronizacija sa kontrolnim kolom koje upravlja radom elektromotora i koraci kompenzacije se uključuju sinhrono sa opterećenjem motora, praktično bez kašnjenja. Sa druge strane, posebnim elektronskim sklopom obezbeđeno je ubrzano pražnjenje kondenzatorskih baterija, kako bi bile spremne za novo uključenje bez kašnjenja.

Analizom prelaznih režima na slici 2 utvrđeno je da je u cilju svođenja injekcije poremećaja na prihvatljiv nivo, minimalna potrebna snaga postrojenja real-time kompenzacije reaktivne snage iznosi 620 kVAr/400 V.

KARAKTERISTIKE RADNOG REŽIMA DROBILICE POSLE UGRADNJE OPREME ZA KOMPENZACIJU REAKTIVNE SNAGE

Novi režimi rada predstavljeni su na snimcima koji su dati naslikama4-5. Instalacijom opreme za ograničenje propada napona situacija je znatno poboljšana. Na svim snimcima posle izvršene kompenzacije očigledan je porast efektivne vrednosti napona na sabirnicama energetskog transformatora na 412÷415 V u odnosu na 395÷400 V pre kompenzacije, što je blisko nominalnom naponu transformatora od 420 V. Važno je napomenuti da na dan snimanja nije radilo postrojenje kompenzacije od 170 kVAr u pogonu prese, a koje je bilo u funkciji tokom snimanja režima pre kompenzacije.

Na slici 4 prikazan je karakteristični radni režim energetskog transformatora sa postrojenjem kompenzacije u funkciji. Tokom ovog režima zabeležena je maksimalna kratkotrajna struja transformatora od 1636 A i maksimalni propad napona od 390.5V tj. 5%. Aktivna snaga transformatora je iznosila 1082 kW, slično kao u merenjima pre kompenzacije (slika 1), što je potvrda da se radi o uporedljivim radnim režimima.



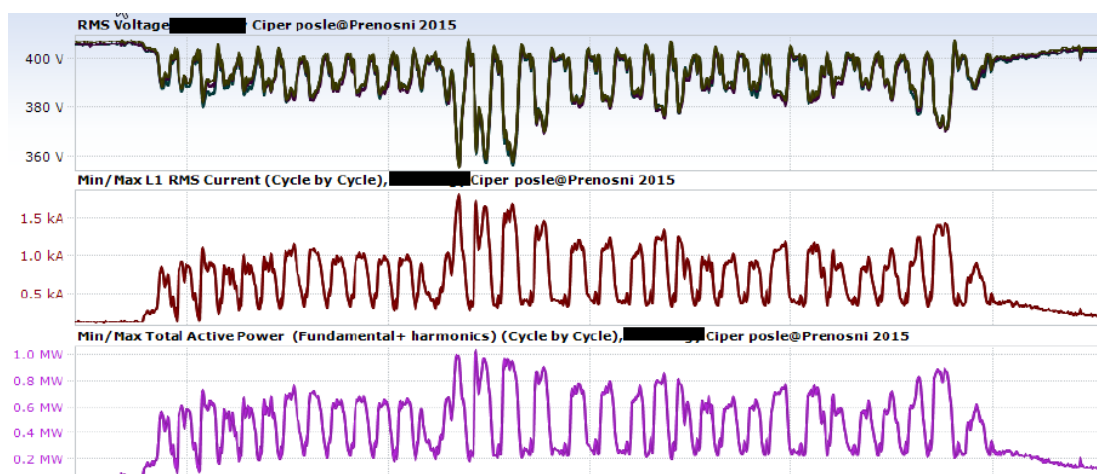
Slika 4. Karakteristični elektroenergetski parametri posle izvršene kompenzacije – na energetskom transformatoru. Prikazan vremenski interval od 90 sekundi.

Uporedni prikaz parametara radnog režima energetskog transformatora pre i posle dinamičke kompenzacije je dat u Tabeli 1.

Tabela 1 Poređenje parametara radnog režima transformatora 1000 kVA, 10/0.42 kV pre i posle kompenzacije

	Maksimalna snaga pogona [kW]	Max. vr. struje transformatora [A]	Max. vr. struje transformatora [%In]	Min. vr. napona [V]	Propad napona [%]
Pre kompenzacije	1180	2128	147.3	347	14
Posle kompenzacije	1082	1636	113,2	390.5	5

Sa snimka na slici 5 se uočava da je sa instalacijom opreme za ograničenje propada napona situacija znatno poboljšana i na samoj liniji za drobljenje. Najveći propad napona iznosio je 11%, tj. oko 357 V. Najveća zabeležena struja pogona iznosila je oko 1840 A, tj. oko 2.5 In motora. Istovremeno korisni momenat motora se povećao na 0.79·Mn motora. Zbog povećanog momenta pogon drobilice je bio u stanju da drobljenje izvrši za kraće vreme, tj. da poveća broj radnih ciklusa za isti broj radnih sati, što je dovelo do povećanja kapaciteta za 33%, a što odgovara nominalnom kapacitetu pogona.



Slika 5. Karakteristične efektivne vrednosti mernih parametara posle izvršene kompenzacije – na ormanu linije za drobljenje. Prikazan vremenski interval od 60 sekundi.

Uporedni prikaz poređenja parametara radnog režima pogona drobilica pre i nakon dinamičke kompenzacije je dat u Tabeli 2.

Tabela 2 Poređenje parametara radnog režima drobilice pre i posle kompenzacije

	Maks. snaga [kW]	Struja motora [A]	Struja motora [In]	Min. vr. napona [V]	Propad napona [%Unm]	Moment motora [%Mn]	Trajanje ciklusa [sec]
Pre kompenzacije	1180	3430	4,75	280	30	0,49	2,5
Posle kompenzacije	980	1840	2,5	357	10.8	0,79	1,67

ZAKLJUČAK

Prelazni režimi postrojenja drobilice drveta u liniji za proizvodnju peleta bili su glavni uzročnik povećane injekcije poremećaja u distributivnu mrežu iz koje se napaja fabrika. Vrednosti radne struje fabrike bile su i do 147% nazivne struje energetskih transformatora, što je stvaralo značajne poremećaje u kvalitetu napona u

distributivnoj mreži, kao i operativne probleme usled čestih reagovanja zaštite na datom izvodu. Pored toga, sama drobilica nije bila u mogućnosti da postigne ugovoreni kapacitet proizvodnje zbog povećane dužine trajanja drobljenja i čestih zaglavljanja čeljusti drobilice.

Merenjima je ustanovljeno da se u prelaznim režimima tokom drobljenja javljaju veoma visoke vrednosti reaktivne komponente struje i sa time vezani propadi napona u pogonu koji idu i do 30%. Kako bi se problem rešio namenski je dizajnirano postrojenje sa veoma kratkim vremenima reagovanja koje je praktično u realnom vremenu kompenzovalo najveći deo reaktivne komponente struje drobilice. Ovakvim rešenjem struja energetskog transformatora je značajno smanjena čak i u prelaznim režimima, kada su najveće zabeležene vrednosti iznosile 113.2% nazivne struje energetskih transformatora, a napon na drobiličnom postrojenju je stabilizovan sa maksimalnim propadom od 10.8%.

LITERATURA

- [1] M.S.Ćalović, "Regulacija elektroenergetskih sistema –Tom 2", ETF- Univerzitet u Beogradu, 1997.
- [2] W.Shepherd, P.Zand, "Energy Flow and Power Factor in Nonsinusoidal Circuits", Cambridge University Press, London, 1979.
- [3] M.Clemens, G.Mapelli, "Dynamic reactive power compensation", AEG Technology report, AEG Industry 0207/0.1.07.
- [4] L. Kuchumov, A. Novitskiy, "Reactive Power Compensation of Non-Linear Loads on the Basis of the Analysis of Frequency Dependences of Electrical Supply Systems", in Proc. PCIM & PQ Europe 1998, pp. 49-56.
- [5] M. Gonzalez, V. Cardenas, N. Visairo, "Voltage regulation with a dynamic voltage restorer using reactive power for low DC energy storage utilization" , , Int. Rev. of Ele. Eng. (IREE) ,Vol.4, No.1, pp.75-85, Jan. 2009.