

Iš atsinaujinančiųjų šaltinių gautos elektros konversijos procesų tyrimas

Č. Ramonas, V. Kepalas, V. Adomavičius

Valdymo technologijų katedra, Atsinaujinančiųjų šaltinių energijos technologijų centras, Kauno technologijos universitetas, Studentų g. 48, LT-51367 Kaunas, Lietuva,

tel. +370 37 300274, el. p.: ceslovas.ramonas@ktu.lt; vytautas.kepalas@ktu.lt,

tel. +370 37 351181, el. p. vytautas.adomavicius@ktu.lt

Įvadas

Saulė yra pats galingiausias atsinaujinančiosios energijos šaltinis. Vėjo, vandens, biomasės energija yra kilusi iš tos pačios saulės energijos, kurią į kitas energijos formas keičia pati gamta. Iki 17 amžiaus žmonija naudojo beveik vien tik saulės energiją ir jos atmainas – biomasės (kuras, gyvulinis transportas), vėjo (buriniai laivai, malūnai) ir vandens (malūnai) energiją. Pradėjus naudoti iškastinį kurą, saulės ir jos atmainų energijos vartojimas pradėjo palaipsniui mažėti ir maždaug dabar pasiekė minimumą. Šiuo metu saulės ir kitų iš jos kilusių atsinaujinančiųjų šaltinių energija (AŠE) vis plačiau naudojama visame pasaulyje. Saulės ir vėjo energetika dabar yra sparčiausiai besiplėtojančios energetikos šakos. Šios energetikos objektų suminė įrengtoji galia pasaulyje kasmet vidutiniškai padidėja maždaug po 22–43 % [1].

Išanalizavus pasaulio energetinių išteklių naudojimo istoriją ir esamas energetikos plėtros tendencijas bei mokslines prognozes [2], galima prieiti išvadą, kad iškastinio kuro naudojimo laikotarpis, kai buvo labai teršiama aplinka, nuodijama gyvoji gamta ir žmonės, galės sudaryti apie 300 metų (1800-2100), o jo intensyvaus naudojimo laikotarpis (>50%) – apie 200 metų. Ir tai bus tik trumpas epizodas daugiataūkstantmetėje žmonijos istorijoje. Prognozuojama, kad 21 amžius bus Saulės amžius – grįžimo prie saulės ir kitų iš jos kilusių AŠE naudojimo. Su tuo sutinka dauguma šios srities mokslininkų, nes iškastinių energijos žaliavų atsargos, kaip žinome, yra baigtinės, o naujų efektyvių energijos gamybos būdų kol kas nerasta.

Sparčią AŠE technologijų plėtrą liudija daug įdomių projektų. Bavarijoje šiemet įrengta galingiausia pasaulyje 10 MW saulės elektrinė. Neseniai buvo paskelbta, kad 2006 m. Portugalija prie Moura miesto pradės statyti dar galingesnę – 62 MW saulės elektrinę [3]. Joje bus panaudota 350000 fotoelektros modulių, kurie užims 114

ha plotą. Statyba, kuri kainuos 250 mln. eurų, bus baigta 2009 m. Maskvoje sukurtas labai galingos globalinės saulės elektrinės modelis. Šią saulės elektrinę sudarytų trys 2,5 TW galios (Ignalinos AE galia tik 0,003 TW) atskiros elektrinės, įrengtos dykumose Australijoje, Libijoje bei Meksikoje ir sujungtos į vieną sistemą galingomis ir efektyviomis energijos perdavimo linijomis [2].

Sparčiai brangstant iškastiniam kurui ir senkant jo atsargoms, susidaro vis palankesnės sąlygos kurti energijos paskirstytojo generavimo sistemas ir jose naudoti AŠE. Įvertinus AŠE technologijų plėtros tempus pasaulyje bei šių technologijų naudojimo ekologinius, ekonominius, socialinius, sveikatos apsaugos ir energetinio saugumo aspektus, nesunku suprasti, kodėl Europos Sąjunga, Jungtinės Tautos, G–8 valstybių grupė bei kitos pažangios šalys ir organizacijos šiai sričiai teikia išskirtinį dėmesį. G–8 valstybių grupės vadovai 2000 metų liepos mėn. Okinavoje įkūrė organizaciją „Renewable Energy Task Force (RETF)“, kuri parengė pranešimą-pasiūlymą, kaip iš AŠE gauta „žaliąja“ elektra aprūpinti 2 milijardus neturtingiausių pasaulio gyventojų, dar jos neturinčių iki šiol. Projektą, kuris kainuotų 200-250 mlrd. JAV dolerių ir truktų 10 metų, patvirtino G–8 valstybių lyderiai 2001 m. liepos mėn. Genujoje.

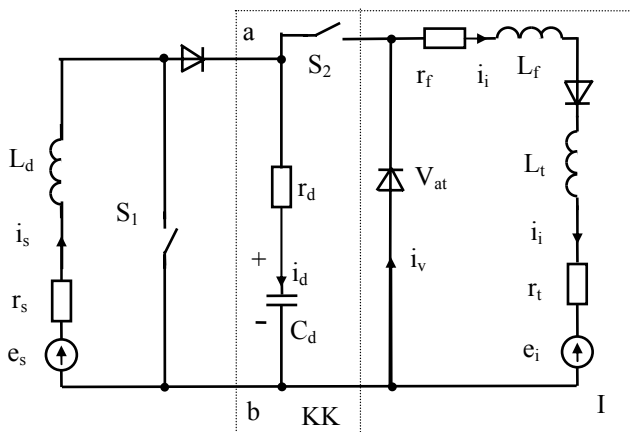
Išanalizavus AŠE technologijų plėtros perspektyvas ir įvertinus milžiniškus tų šaltinių išteklius, galima įsitikinti, kad ir pasibaigus iškastinio kuro atsargoms žmonijai negresia neįveikiama energetinė krizė, jeigu ji išmoks tais ištekliais sėkmingai naudotis. To reikia mokytiis jau dabar.

Keitiklio ekvivalentinė schema

Kadangi dažniausiai po pirminio energijos rūšies keitiklio iš AŠE gaunamos elektros parametrai iš esmės yra tik nuo gamtinių sąlygų priklausantis kintami dydžiai, tai dar reikalingas grynai elektrinis keitiklis, keičiantis ją į

standartinių ir stabilių parametrų kintamosios srovės elektros energija, tinkamą vartoti arba tiekti į elektros tinklą [4,5,6,7]. Tokiai konversijai atlikti galima naudoti įvairius keitiklius. Paprasčiausia schema būtų su lygintuvu (jeigu jis energijos konversijos sistemoje yra reikalingas) ir akumuliatorių baterija energijai kaupiti bei tinklo inverteriu ir suderinančiu transformatoriumi energijai į elektros tinklą tiekti.

Straipsnyje nagrinėjamas tiesioginis elektros energijos keitiklis NS/KS su energijos atidavimo į tinklą, kaupimo grandimi ir impulso pločio moduliacija. Tiksliai aprašyti tokio keitiklio galios grandinių elektromagnetinius procesus gana sudėtinga. Todėl bus naudojami keitiklinių grandinių teorijoje taikomi supaprastinimai [8,9], palengvinantys gauti matematinės išraiškas. Keitiklio n-fazės grandinės keičiamos vienfazėmis ekvivalentinėmis schemomis. Galios ventiliai idealizuojami. Padarius šias prielaidas, sudaryta keitiklio ekvivalentinė schema, kuri pateikta 1 paveikslėlyje. Schemoje esantys raidėmis nepažymėti diodai rodo laidumo kryptį atitinkamose šakose.



1 pav. Keitiklio ekvivalentinė schema

Kai jungiklis S_1 iš AŠE gautos elektros energijos šaltinį e_s, r_s perjungia į trumpojo jungimo režimą (jei jis generuoja kintamąją įtampą, tai būtinas lygintuvas), energija sukaupiama induktyvume L_d . Jungikliui S_1 išsijungus, energija perduodama į kaupimo kondensatorių C_d . Jei jungiklis S_2 įjungtas, tai per inverterį I teka srovė i_i ir sukaupta energija tiekiamą į elektros tinklą [8]. Norint suderinti šaltinio ir tinklo įtampas, jungikliui S_2 valdyti naudojama impulso pločio moduliacija (IPM). Moduliacijai naudojama tinklo įtampa. Taip keitiklio darbas yra sinchronizuojamas su tinklu. Moduluoto signalo nešlio dažnis paprastai būna kelių arba keliolikos kilohercų eilės. Trumpinimo jungiklio S_1 darbas gali būti sinchronizuotas su tinklo įtampa arba ne. Nagrinėjamoju atveju jungiklis S_1 dirba nepriklausomai nuo tinklo įtampos.

Energijos konversijos proceso matematinis aprašymas

Energijos konversijos elektromagnetinius procesus sunku tirti analiziškai dėl ekvivalentinės schemos kitimo priklausomai nuo jungiklių S_1 ir S_2 būsenos konkrečiame laiko intervale. Įvertinus konversijos procesų specifiką, keitiklio galios grandinėms aprašyti naudingiausia taikyti dviejų mazgų metodą, o matematinėms išraiškoms gauti – būsenos kintamųjų metodą [8]. Būsenos kintamųjų metodu gautos išraiškos yra paprastos ir gerai tinka skaičiavimams su ESM. Keitiklio elektromagnetiniams procesams tirti numatyta pritaikyti intervalų metodą [8]. Laikoma, kad keitiklio darbo intervalas (periodas) yra sudarytas iš sekos elementarių intervalų, kurių metu keitiklio principinė schema ir jos parametrai nekinta. Iš anksto nustatyti šių intervalų kiekį bei jų ekvivalentines schemas neįmanoma. Elementarių intervalų kiekis priklauso nuo jungiklių S_1 ir S_2 būsenos (įjungta/išjungta) nustatytais laiko momentais ir nuo keitiklio elektromagnetinių procesų eigos. Todėl autoriai šiuo atveju taiko matematinio modeliavimo metodą keitiklyje vykstantiems elektromagnetiniams procesams skaičiuoti. Modeliavimo programų paketuose esantys netiesiniai blokai (jungikliai, ribotuvai ir pan.) leidžia automatizuoti schemas darbo intervalų pasikeitimą.

Energijos konversijos procesui matematiškai aprašyti panaudota keitiklio vienfazė ekvivalentinė schema (1 pav.).

Pirmiausia sudaroma inverterio atoveikio elektrovaros (EV) e_i matematinė išraiška. Inverterio atoveikio EV galima apskaičiuoti pagal formulę:

$$e_i = E_{im} \cdot \sin(\omega \cdot t - \frac{2\pi}{m} \pm \varphi); \quad (1)$$

čia E_{im} – maksimali inverterio linijinės (tinklo) įtampos vertė; m – inverterio schemas pulsacijų skaičius; φ – atoveikio EV pradinis fazinis kampas; ω – tinklo įtampos ciklinis dažnis.

Tačiau ši išraiška tiktų tik pirmam – invertavimo intervalui. Inverterio atoveikio EV išraišką, tinkančią visiems darbo intervalams, galima gauti pasinaudojus Hevisaido funkcijomis. Tuomet inverterio atoveikio EV išraiška bus tokia:

$$e_i = E_{im} \sum_{k=0}^{\infty} F(t - k \cdot T') \cdot \sin\left[\omega \cdot (t - k \cdot T') - \frac{2\pi}{m} - \varphi\right],$$

$$F(t - k \cdot T') = 1(t - k \cdot T') - 1[t - (k + 1) \cdot T'], \quad (2)$$

čia $T' = T/m$ – darbo intervalo trukmė, T – tinklo įtampos periodas, $k=0, 1, 2, 3, \dots$ – natūrinis skaičius.

Kaip buvo paminėta anksčiau, jungiklio S_1 darbas nėra sinchronizuotas su tinklo įtampa. Kai S_1 įjungtas, yra šaltinio trumpinimo intervalas. Šaltinio srovė gaunama iš formulės:

$$\frac{di_s}{dt} = \frac{1}{L_d} \cdot e_s - \frac{r_s}{L_d} \cdot i_s; \quad (3)$$

čia e_s – šaltinio EV; r_s – šaltinio vidaus varža; i_s – šaltinio srovė; L_d – kaupiantysis induktyvumas.

Kai S_1 išjungtas, energija iš induktyvumo L_d perduodama į kaupimo kondensatorių C_d . Tačiau čia galimi du atvejai – gali būti įjungtas arba išjungtas jungiklis S_2 .

Kai jungiklis S_2 įjungtas, tai kartu su kaupimo procesu vyksta invertavimas, jei $u_{ab} > e_i$. Šiuo atveju energijos konversijos procesas aprašomas tokia lygčių sistema:

$$\begin{cases} \frac{di_s}{dt} = \frac{1}{L_d} \cdot (e_s - u_{ab}) - \frac{r_s}{L_d} \cdot i_s; \\ \frac{di_i}{dt} = \frac{1}{L_i} \cdot (u_{ab} - e_i) - \frac{r_i}{L_i} \cdot i_i; \\ \frac{du_c}{dt} = \frac{1}{C_d} \cdot i_d; \\ u_{ab} = u_c + r_d \cdot i_d; \\ i_d = i_s - i_i. \end{cases} \quad (4)$$

Jei invertavimo metu bus įjungtas jungiklis S_1 , tai (4) lygčių sistemą reikės pakeisti į tokia lygčių sistemą:

$$\begin{cases} \frac{di_i}{dt} = \frac{1}{L_i} \cdot (u_{ab} - e_i) - \frac{r_i}{L_i} \cdot i_i; \\ \frac{du_c}{dt} = \frac{1}{C_d} \cdot i_d; \\ u_{ab} = u_c + r_d \cdot i_d; \\ i_d = -i_i. \end{cases} \quad (5)$$

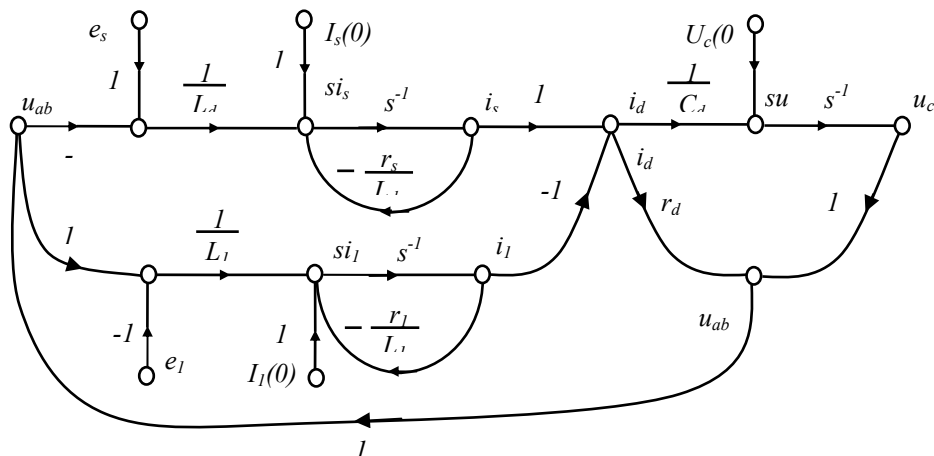
Invertavimo pauzės atveju (jungikliai S_1 ir S_2 išjungti) lygčių sistema bus tokia:

$$\begin{cases} \frac{di_s}{dt} = \frac{1}{L_d} \cdot (e_s - u_{ab}) - \frac{r_s}{L_d} \cdot i_s; \\ \frac{di_i}{dt} = -\frac{1}{L_i} \cdot e_i - \frac{r_i}{L_i} \cdot i_i; \\ \frac{du_c}{dt} = \frac{1}{C_d} \cdot i_d; \\ u_{ab} = u_c + r_d \cdot i_d; \\ i_d = i_s. \end{cases} \quad (6)$$

Jei bus įjungtas jungiklis S_1 , tai (6) lygčių sistemą reikės pasikeisti į tokia lygčių sistemą:

$$\begin{cases} \frac{di_i}{dt} = -\frac{1}{L_i} \cdot e_i - \frac{r_i}{L_i} \cdot i_i; \\ i_i = -i_v. \end{cases} \quad (7)$$

Čia e_i – tinklo atoveikio EV; $r_i = r_l + r_f$ – inverterio grandinės aktyvioji varža; r_l – tinklo aktyvioji varža; r_f – filtro aktyvioji varža; $L_i = L_l + L_f$ – inverterio grandinės induktyvumas; L_l – tinklo induktyvumas; L_f – filtro induktyvumas; i_i – invertuojama srovė; i_v – atbulinio ventilio srovė; V_{at} – atbulinis ventilis.



2 pav. Būsenos diagrama energijos kaupimo ir invertavimo procesams

Matome, kad keitiklio ekvivalentinė schema keičiasi priklausomai nuo jungiklių S_1 ir S_2 būsenų derinio.

Energijos konversijos proceso matematinis modelis

Universaliai modeliui, tinkančiam bet kuriems procesams ir darbo režimams tirti, sudaryti reikėtų daug laiko, o jam įgyvendinti panaudoti greitai, didelę operatyviają atmintį turinčias skaičiavimo mašinas. Todėl paprastai atsisakoma universalumo ir kuriami modeliai tam tikriems uždaviniams spręsti [8]. Taip sudarant matematinį modelį keitiklio galios grandinių elektromagnetinių procesų analizei naudojama supaprastinta ekvivalentinė schema (1 pav.). Todėl modelis būna paprastesnis, o darbas su juo spartesnis.

Sudarant tokius skaitmeninius modelius, modeliavimui paprastai taikomi specializuoti programų paketai [8,9]. Taip galima sutaupyti tiek žmogaus, tiek mašininio darbo laiko. Modeliavimui pasirinktas programų paketas MATLAB/SIMULINK. Jame blokams modeliuoti naudojamos perdavimo funkcijos, gaunamos iš operatorinių matematinų išraiškų, kurios sudaromos iš diferencialinių lygčių panaudojus Laplaso transformaciją. Taigi, pritaikius Laplaso transformaciją, diferencialinė lygtis (3), kuri aprašo šaltinio trumpinimo intervalą, operatorine forma bus tokia:

$$s \cdot i_s(s) = \frac{1}{L_d} \cdot e_s(s) - \frac{r_s}{L_d} \cdot i_s(s) + I_s(0). \quad (8)$$

Diferencialinių lygčių sistema (4), aprašanti kaupimo ir invertavimo procesus, operatorine forma bus tokia:

$$\begin{cases} s \cdot i_s(s) = \frac{1}{L_d} \cdot (e_s(s) - u_{ab}(s)) - \frac{r_s}{L_d} \cdot i_s(s) + I_s(0); \\ s \cdot i_i(s) = \frac{1}{L_i} \cdot (u_{ab}(s) - e_i(s)) - \frac{r_i}{L_i} \cdot i_i(s) + I_i(0); \\ s \cdot u_c(s) = \frac{1}{C_d} \cdot i_d(s) + U_c(0); \\ u_{ab}(s) = u_c(s) + r_d \cdot i_d(s); \\ i_d(s) = i_s(s) - i_i(s). \end{cases} \quad (9)$$

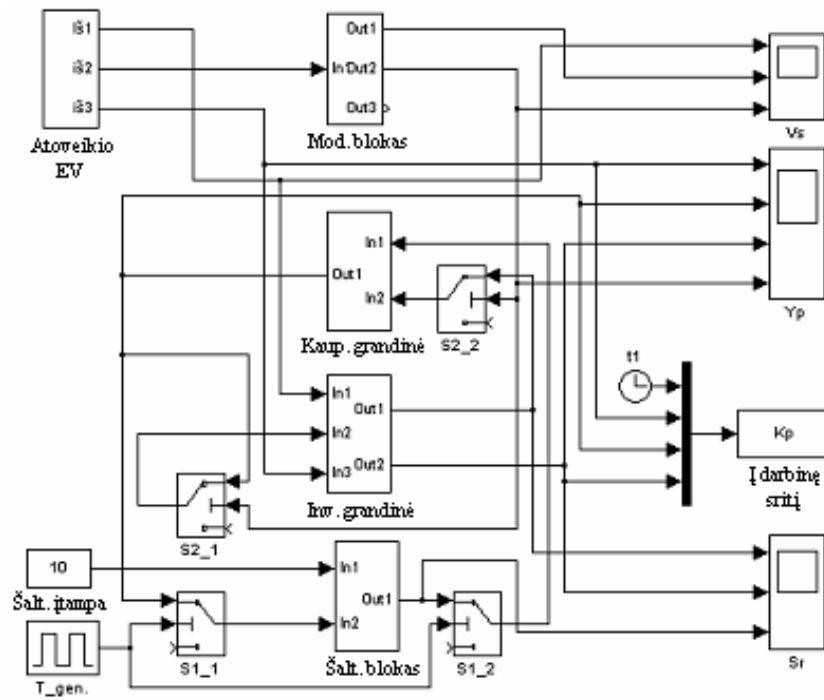
Diferencialinių lygčių sistemos (5,6 ir 7) faktiškai yra gautos iš (4) lygčių sistemos. Todėl atitinkamos operatorinės lygčių sistemos gaunamos iš (9) lygčių sistemos.

Remiantis (9) lygčių sistema sudaroma būsenos diagrama kaupimo ir invertavimo procesams (2 pav.).

Kaupimo ir invertavimo intervalas susidaro, kai jungiklis S_1 yra išjungtas, o S_2 – įjungtas (1 pav.). Iš diagramos matyti, kad modelio schema bus sudaryta iš signalų sumavimo, stiprinimo ir grynojo integravimo blokų. Be to, iš jos matyti ryšiai tarp kintamųjų ir modelio blokų parametrų skaitinės vertės.

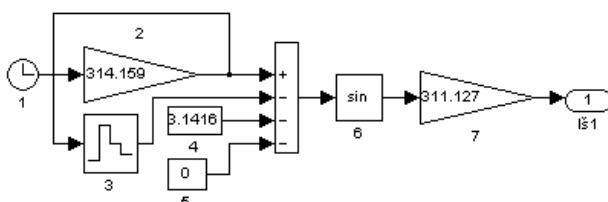
Išjungus jungikliui S_1 , šaltinio grandinė sujungiama trumpai – vyksta energijos kaupimas induktyvume L_d , tai yra šaltinis ir inverteris pradeda veikti autonomiškai. Šaltinio lygtis šiame intervale pasikeis tik tiek, kad neliks kintamojo $-U_{ab}$ ($U_{ab}=0$). Būsenos diagramoje išskirta šakos, sujungiančios šaltinio diagramą su visos sistemos

diagrama (3 pav.). Invertavimo/energijos kaupimo kondensatoriuje lygtys pasikeis tik tuo, kad neliks jose kintamojo i_s – energija iš kondensatoriaus bus perduodama į tinklą. Akivaizdu, kad invertavimo intervalo būsenos diagrama bus gaunama iš bendrosios būsenos diagramos, pašalinant šaką, prijungiančią kintamąjį i_s . Matome, kad keitiklio modelis, keičiantis darbo intervalams, iš esmės nesikeis. Reikės į modelį įjungti relinius blokus tam, kad griežtai fiksuotais laiko momentais būtų galima komutuoti kintamuosius u_{ab} , i_s ir i_l . Modelio schema pateikta 3 paveiksle.



3 pav. Skaitmeninio modelio schema

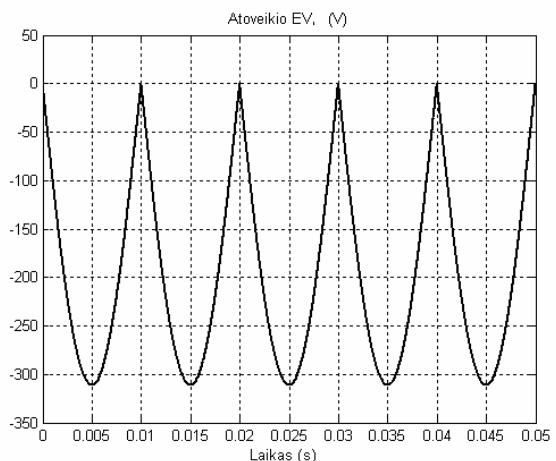
Pateiktoje modelio schemoje inverterio atoveikio EV, moduliavimo bloko, kaupimo grandies, invertavimo grandies bei šaltinio bloko modeliai gana paprasti ir sudaromi naudojantis anksčiau pateiktomis lygtimis. Kaip pavyzdys pateikiama inverterio atoveikio EV bloko modelio schema. Inverterio atoveikio EV modelio schema sudaroma remiantis (1) ir (2) lygtimis. Ji pateikta 4 pav.



4 pav. Atoveikio EV modelio schema

Modelio schemas blokai modeliuoja šias funkcijas: blokas 1 modeliuoja laiką (t), blokas 2 – tinklo įtampos ciklinę dažnį (ω), blokas 3 – keitiklio k -tojo darbo intervalo pradinis kampas (ωkT), blokas 4 – kampą ($2\pi/m$), blokas 5 – kampą (φ), blokas 6 – sinuso funkciją, blokas 7 – inverterio linijinės įtampos maksimalią reikšmę (E_{im}). Taigi inverterio atoveikio EV parametrus – k -tojo

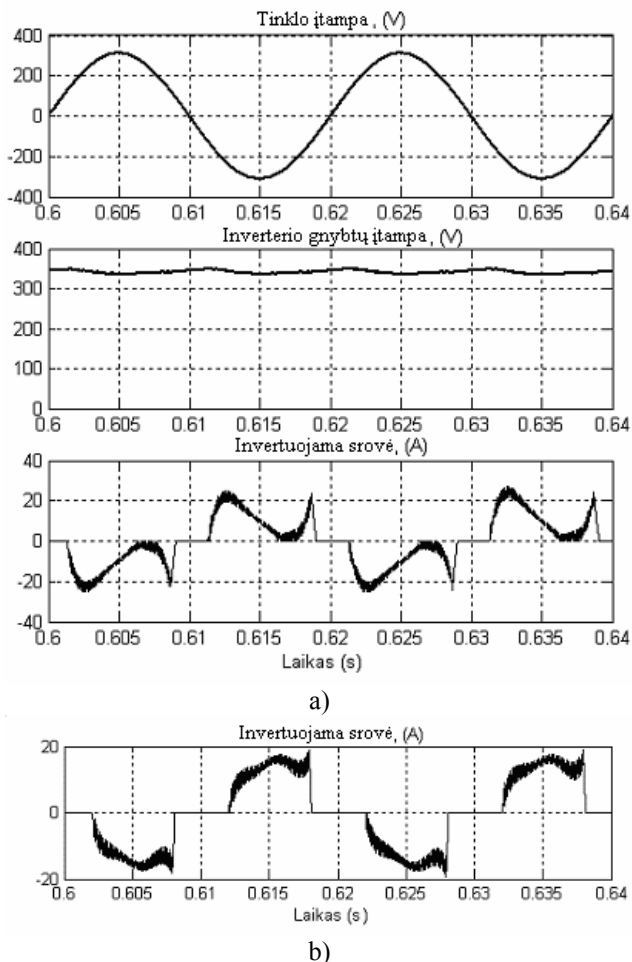
darbo intervalo pradinį kampą ωkT , atoveikio EV fazinį kampą φ ir linijinės įtampos maksimalią reikšmę E_{im} – galima keisti, keičiant 3 bloko ir 5 bei 7 blokų koeficientų vertes. Išėjime (iš1) gaunama atoveikio EV, kurios kreivė vienfaziam tilteliniam keitikliui pateikta 5 paveiksle.



5 pav. Vienfazio tiltelinio inverterio atoveikio EV

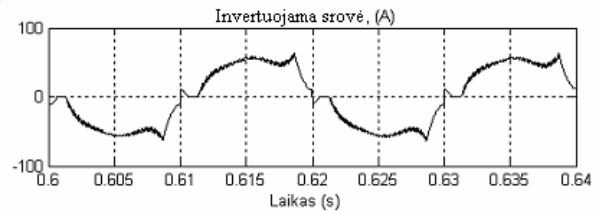
Energijos konversijos procesų modeliavimo rezultatai

Naudojant 4 paveiksle pateiktą modelio schemą buvo modeliuotas iš ASE po pirminio energijos keitiklio gautos elektros energijos konvertavimo ir tiekimo į standartinį 50 Hz energijos tinklą procesas, kai sistemos įėjime įjungta nedidelė nuolatinė šaltinio įtampa (10 ir 40 V). Modeliavimo rezultatai rodo, kad energijos perdavimas iš šių šaltinių į elektros tinklą labai priklauso nuo keitiklio schemos elementų parametrų. Keisti invertavimo grandinės parametrus daugeliu atvejų netikslinga, nes dėl to didėja nuostoliai. Kaip rodo ankstesnių tyrimų rezultatai, padidinus kaupimo grandies L_d ir C_d , galima pasiekti, kad į tinklą perduodama srovė būtų artima stačiakampei [8], tačiau šiuo atveju į tinklą perduodami aukštųjų harmonikų trikdžiai. Norint to išvengti, jungikliui S_2 valdyti galima naudoti impulso pločio moduliaciją, sinchronizuotą su tinklo įtampa. Kaip rodo atlikti tyrimai, nuo moduliacijos būdo labai priklauso invertuojamos srovės kreivės forma. Pavyzdžiui, keičiant invertavimo intervalo vietą, kurią apibūdina invertavimo pradžios kampas γ , tinklo įtampos atžvilgiu, galima pasiekti, kad invertuojamos srovės kreivės forma pagerėtų (6 pav., a, b).

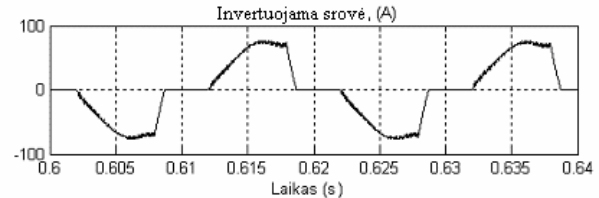


6 pav. Invertuojama srovė, kai $U_s=10$ V: a–kai $\gamma=0,4$; b–kai $\gamma=0,6$

Padidinus šaltinio įtampą, srovė dar labiau pagerėja ir pamažu artėja prie sinusinės (7 ir 8 pav.).



7 pav. Invertuojama srovė, kai $U_s=40$ V ir $\gamma=0,4$



8 pav. Invertuojama srovė, kai $U_s=40$ V ir $\gamma=0,6$

Išvados

1. Šių dienų pasaulyje sparčiai plintant paskirstytojo energijos generavimo sistemoms, naudojančioms atsinaujinančiųjų šaltinių energiją, labai didėja galios elektronikos keitiklių, reikalingų šiai energijai konvertuoti, paklausa ir reikalavimai jų kokybei.
2. Straipsnyje nagrinėjamas tiesioginis elektros energijos keitiklis NS/KS su energijos atidavimo į tinklą, kaupimo grandimi ir impulsų pločio moduliacija.
3. Sudarytas keitiklyje vykstančio energijos konversijos proceso matematinis modelis, energijos kaupimo ir invertavimo procesų būsenos diagrama ir keitiklio skaitmeninis modelis programų paketui MATLAB/SIMULINK.
4. Naudojant sudarytą skaitmeninį modelį galima tyrinėti įvairių energijos konvertavimo schemų su skirtingais parametrais darbą įvairiais režimais.
5. Parenkant IPM parametrus ir invertavimo intervalo vietą tinklo įtampos atžvilgiu, galima pasiekti, kad invertuojama srovė būtų artima sinusinei.
6. Atlikti preliminarūs tyrimai rodo, kad, parinkus optimalius ištirtos schemos elementų parametrus, galima gauti gerus energijos tiekimo į elektros tinklą proceso kokybės rodiklius.
7. Norint sukurti geros kokybės atsinaujinančiųjų šaltinių energijos konversijos schemas, reikia ieškoti ir kitų scheminių sprendimų bei atlikti išsamesnius tyrimus.

Literatūra

1. **Безруких П. П., Стебков Д. С.** Возобновляемая энергетика: стратегия, ресурсы, технологии. – Москва: ГНУ ВИЭСХ, 2005. – с. 263.
2. **Strebkov D.** Role of the solar energy in power of the future. The 4th research and development conference of Central and Eastern European Institutes of Agricultural Engineering (CEE Ag Eng). PROCEEDINGS. Moscow: VIESH, May 12-13, 2005. – P. 3-19.
3. <http://www.spacedaily.com> – September 13, 2005.
4. **Balčiūnas P., Adomavičius V.** The concept of electric energy conversion in micro-hydro electric power plant. International Conference on Small Hydropower.

- Proceedings. –Kaunas: Akademija, Lithuania, 23-25 May, 2001.– P.2-24 – 2-31.
5. **Balčiūnas P., Adomavičius V.** The Concept of Small-Scale Wind Turbine's Electric Energy Conversion. Perspective Sustainable Technological Processes in Agricultural Engineering. Proceedings of the International Conference.– Raudondvaris: Lithuanian Institute of Agricultural Engineering, ISBN 9986-732-13-1, 2001.– P. 161-168.
 6. **Smidt J.** Photovoltaik Strom aus der sone Auflage Hinderbery Müller. 1994 (ISBN3-7880 – 7453). – 143 p.
 7. **Adomavičius V., Balčiūnas P.** Fotoelektrinio keitiklio atstojamosios ir struktūrinės schemų tyrimas // Elektronika ir elektrotechnika.– Kaunas: Technologija, 2001. – Nr. 1 (30).
 8. **Ramonas Č., Kepalas V., Adomavičius V.** Saulės elektrinės energijos konversijos matematinis modelis // Elektros energetika ir technologijos. Konferencijos pranešimų medžiaga. - Kaunas: Technologija, 2005. – 174-178 p.
 9. **Kepalas V., Ramonas Č.** Matematinis modelis PAVK buferinės grandies optimizavimui // Elektrotechnika Nr.23 (32). – Kaunas: Technologija, 1999.

Pateikta spaudai 2005 12 08

Č. Ramonas, V. Kepalas, V. Adomavičius. Research of Conversion Processes of Renewable Origin Electric Power // Electronics and Electrical Engineering. – Kaunas: Technologija, 2006. – No 2(66) .– P. 78–83.

Supply of electric power, which is converted from renewable energy sources (solar, wind, hydro) into the electric grid of standard parameters through the grid-synchronized inverter is being analysed in this paper. The researched scheme has an intermediate chain of LC type for short duration energy accumulation. The equivalent scheme of the system was worked out and presented in this paper as well as its mathematical description. The mathematical model of the power conversion system was elaborated for the package of programs MATLAB/SIMULINK on basis of equations of power conversion processes. Results of simulation show that power conversion system with the intermediate chain for energy accumulation and pulse-width modulation allows achieving of electric current shape, which can meet the requirements for supplying into electric grid. Il. 8, bibl. 9 (in Lithuanian, summaries in English, Russian and Lithuanian).

Ч.С. Рамонас, В.П. Кепалас, В.Б. Адомавичюс. Исследование процессов конверсии энергии, полученной из обновляющихся источников энергии. //Электроника и электротехника.– Каунас: Технологія, 2006 – № 2(66). – 78–83 С.

В статье анализируются проблемы передачи энергии из обновляющихся источников (солнце, ветер, вода) в стандартную сеть переменного тока. В данном случае основное внимание уделено передаче энергии, полученной из первичного преобразователя энергии возобновляемого источника с применением инвертора синхронизированного с сетью. Для конверсии энергии предлагается преобразователь с промежуточным звеном накопления энергии, выполненным на базе реактивных (LC) элементов. В статье дана эквивалентная схема такого преобразователя и математическое описание. На основе математического описания создана цифровая модель для программного пакета MATLAB/SIMULINK. Результаты моделирования показывают, что используя описанный преобразователь и широтно-импульсную модуляцию можно достичь, чтобы инвертируемый ток соответствовал требованиям сети. Ил.8, библи.9 (на литовском языке; рефераты на английском, русском и литовском языках).

Č. Ramonas, V. Kepalas, V. Adomavičius. Iš atsinaujinančiųjų šaltinių gautos elektros konversijos procesų tyrimas // Elektronika ir elektrotechnika.– Kaunas: Technologija, 2006.– Nr. 2(66) .– 78–83 P.

Straipsnyje bendroju atveju nagrinėjamos iš atsinaujinančiųjų šaltinių (saulės, vėjo, vandens) gaunamos energijos perdavimo į standartinių parametrų kintamosios srovės tinklą problemos ir atskiru atveju – iš pirminio energijos keitiklio gautos elektros energijos tiekimas į elektros tinklą per su juo sinchronizuotą inverterį. Siūloma iš atsinaujinančiųjų šaltinių gaunamos elektros energijos konversijai naudoti keitiklius su tarpine energijos kaupimo grandimi, sudaryta iš reaktyvinių elementų (LC). Pateikta keitiklio su tarpine energijos kaupimo grandimi ekvivalentinė schema ir jos matematinis aprašymas. Naudojantis energijos konversiją aprašančiomis lygtimis sudarytas matematinis modelis MATLAB/SIMULINK programų paketui. Modeliavimo rezultatai rodo, kad keitikliai su tarpine energijos kaupimo grandimi bei impulso pločio moduliacija leidžia pasiekti, kad į tinklą perduodamos srovės forma atitiktų keliamus reikalavimus. Il. 8, bibl. 9 (lietuvių kalba, santraukos anglų, rusų ir lietuvių k.).

DOI: 10.5755/j02.eie.10618