

RIADIACE SYSTÉMY A INVERTORY VODNÝCH MIKROZDROJOV ELEKTRICKEJ ENERGIE

JOZEF ŠURIANSKY¹ – JOZEF PUSKAJLER²

¹ Katedra informatiky a automatizačnej techniky, Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky Technickej univerzity vo Zvolene, T. G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen Slovensko suriansky@tuzvo.sk

² Katedra environmentálneho inžinierstva, Fakulta ekológie a environmentalistiky Technickej univerzity vo Zvolene T. G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen Slovensko puskaajer@tuzvo.sk

ABSTRACT

Šuriansky, J., Puskajler J.: Control systems and inventory of water micro-sources of electricity

In the article the control systems of water micro-sources and each types of the invertors-electric voltage changers are described. The invertors are needed to improve the output voltage from the micro-source generator to required level. In next part the optimization of the artificial load by PWM and switching transistor MOSFET are described. Also the micro-source of the electric energy with power to 1 500 W and his technical parameters is described. The parameters of the micro-source were confirmed on concrete water flow with fall 2 meters.

Key words: renewable resources, water micro-sources, control systems, inverters

ÚVOD

Význam využitia energie z obnoviteľných zdrojov je pre ľudstvo pri súčasnom náraste ľudskej populácie a s tým aj súvisiacim nárastom spotreby energie prioritnou otázkou. Do popredia sa dostávajú aj tzv. mikrozdroje elektrickej energie, využívajúce vodnú, veternú aj slnečnú energiu. Vhodná kombinácia jednotlivých druhov mikrozdrojov a optimalizácia celej sústavy dokáže ušetriť značné množstvo elektrickej energie a v ideálnych prípadoch aj zabezpečiť energetickú sebačnosť malého objektu [6]. U vodných mikrozdrojov významnú úlohu zastáva riadiaca jednotka, úlohou ktorej je maximálne využitie potenciálu vodného zdroja. Nemenej dôležitou otázkou je optimalizácia sústavy vodný motor – generátor elektrickej energie.

Vzhľadom k tomu, že výstupné napätie generátora elektrickej energie u vodných mikrozdrojov vo väčšine prípadov nie je možné použiť priamo na napájanie bežných domácich spotrebičov, je nutné použiť ďalšie technické zariadenie, tzv. inverter, ktorého úlohou je zabezpečiť premenu výstupného napätia z generátora vodného

mikrozdroja na napätie potrebné pre bežné domáce spotrebiče v požadovanej kvalite [9].

V prípade, že energia mikrozdvoja má byť využívaná v tzv. „ostrovnom režime“, t.j. nemá slúžiť na dodávku elektrickej energie do rozvodnej sústavy, je potrebné riešiť aj akumuláciu elektrickej energie tak, aby bola využívaná v čase, keď je potrebná a v ostatnom čase bola akumulovaná vhodným spôsobom pre jej ďalšie využitie. V súčasnej dobe sú bežne dostupné rôzne typy akumulátorov primárne určené pre akumuláciu elektrickej energie vyrobenej v solárnych a veterných mikrozdrojoch. Tieto je však možné použiť aj v prípade vodných mikrozdrojov a tak v prípade potreby je k dispozícii aj väčšie množstvo elektrickej energie ako je okamžitá produkcia vodného mikrozdvoja.

MATERIÁL A METÓDY

Medzi hlavné časti elektrárne ktoré ovplyvňujú efektívnu prevádzku patrí riadiaci systém. Riadiaci systém elektrárne zabezpečuje dohľad nad prevádzkovými parametrami ako aj ochranu

technického systému v prípade havarijných stavov. Vlastnosti a štruktúra riadiaceho systému závisia na veľkosti a stupni vybavenia elektrárne. Pre vodné elektrárne, ktoré dodávajú elektrickú energiu do elektrizačnej sústavy sa riadiaci systém skladá z týchto častí:

- ovládacie a kontrolne prvky,
- systém regulácie vodnej turbíny,
- kontrolný systém jednotlivých častí elektrárne,
- systém pripojenia k sieti.

Pri mikrozdrojoch s výkonom do 1 kW sa táto funkcia redukuje na úpravu napätia generátora na výstupné pracovné napätie elektrárne. Výstupné napätie generátora s permanentným magnetom ktorý je často používaný v uvedených mikrozdrojoch je striedavý trojfázový, ktorého frekvencia zodpovedá otáčkam stroja a je potrebné ho upraviť meničom (invertorom) [11].

Inventory sú elektronické meniče napätia, ktoré je možné rozdeliť podľa výstupného napätia na:

Jednosmerné meniče napätia pre zmenu napätia DC/DC napr. z 24 V DC na 12 V DC

Striedavé meniče napätia pre zmenu napätia DC/AC napr. z 12 V (24 V, 48 V) DC na 230 V AC. (jednofázové alebo trojfázové)

Technická realizácia invertorov využíva nasledujúce možnosti:

- **Lineárne meniče napätia:** Vstupné napätie sa zníži na potrebné výstupné napätie pomocou stabilizačného obvodu. Pri premene z 24 V na 12 V zostáva v regulačnom stupni rozdielové napätie 12 V. So zvyšovaním odberu prúdu sa zvyšujú tiež straty tzv. stratový výkon (pri 5 A je to 60 W). Tento stratový výkon sa prejaví vývinom tepelnej energie, ktorá musí byť odvedená výkonnými chladičmi. Výhodou lineárnych meničov je ich nízka cena a vysoká spoľahlivosť na úkor nízkej účinnosti.
- **Spínané meniče napätia:** Princíp funkcie týchto invertorov je veľmi jednoduchý. Výstupné napätie je veľmi rýchlo zapínané a vypínané. Pri

zmene napätia na polovicu je frekvencia prepínania rovnaká. Takéto vytvorené obdĺžnikové napätie je ďalej privádzané do integračného stupňa, aby sa na výstupe získalo jednosmerné napätie polovičnej veľkosti. Tieto meniče však vyžarujú príliš vysoké rušenie. Z toho dôvodu je nutné pre dodržanie parametrov vykonávať rozsiahle odrušenie a tienenie. Výhodou je však vysoká účinnosť až 90 %.

– Striedače:

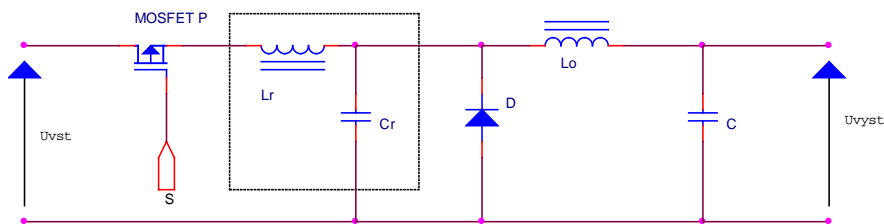
Princíp striedača je taký, že z jednosmerného napätia 12 V, 24 V, 48 V sa vytvorí striedavé napätie napr. 230 V/50 Hz. Existuje niekoľko druhov obvodov, ktoré v jednom kroku vytvorí tvarovú charakteristiku výstupného napätia.

Cenovo najvýhodnejšie sú striedače s obdĺžnikovou charakteristikou výstupného signálu, ktorá vystačí pre najširšie napájanie spotrebičov.

- **Kvazi-sínusové striedače:** Tieto striedače pracujú na princípe spínania napätia. Jednosmerné napätie sa transformuje na striedavé napätie s obdĺžnikovým priebehom s vysokým kmitočtom. Pritom sa prevádza ohraničenie jednotlivých impulzov v amplitúde. V rade za sebou vytvárajú tieto amplitúdy stupňovitý priebeh signálu, ktorý je podobný sínusovému priebehu.

- **Sínusové striedače:** Striedavé napätie nimi vytvorené sa veľmi podobá priebehu napätia siete. Špičkové striedače tejto kategórie dokonca vylepšujú pôvodnú čistotu sínusového priebehu a stabilitu kmitočtu. Tieto striedače sú však veľmi drahé. Používajú sa prevažne k napájaniu citlivých laboratórnych prístrojov.

V posledných rokoch je venovaná pozornosť meničom rezonančným, využívajúcim tzv. mäkké spínanie v nule prúdu alebo v nule napätia za účelom zvýšenia účinnosti. Jednosmerný medzi obvod je v tomto type tvorený rezonančným kmitavým obvodom. Nedostatkom spínaných meničov s PWM moduláciou je, že parazitné reaktancie vo výkonovom obvode sú zdrojom energie, ktorá spôsobuje stratové výkony, prepätia a rušenie. Stratové výkony vznikajú najmä na vysokých



Obr. 1 Rezonančný znižujúci menič

Fig. 1 Lowering resonant converter

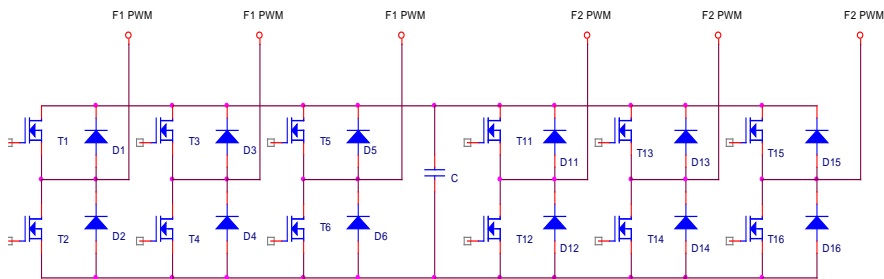
spínacích kmitočtoch. Tieto stratové výkony spôsobené parazitnou kapacitou a indukčnosťou sú významné a znižujú výslednú účinnosť meničov. Cesta ako sa vyhnúť vzrastajúcim stratám bola nájdená v topológii využívajúcej rezonanciu kapacity a indukčnosti. Pri použití rezonančných obvodov sa obmedzujú spínacie straty buď tým, že rezonančná indukčnosť sa pripne a odpojí od rezonančného obvodu v nule prúdu prechádzajúceho touto indukčnosťou alebo tým, že rezonančná kapacita sa pripína a odpojuje v nule napätia [1]. Príklad rezonančného znižujúceho meniča je na obr. 1 Lr a Cr je prídavná indukčnosť a kapacita.

Špecifickým príkladom meniča je rekuperačný menič používaný v elektrárnach, ktoré používajú synchronne alebo asynchronne generátory. Po roztočení obežného kola je možné prejsť do generátorického režimu a vyrábanú energiu dodávať do priemyselovej siete. Na obr. 2 je uvedené

možné zapojenie trojfázového viac kvadrantového meniča vo funkcii riadeného usmerňovača a ďalej striedača. Na rozdiel od štandardného meniča s jednosmerným medziobvodom je tu použitý riadený tranzistorový usmerňovač s PWM moduláciou. Takéto zapojenie umožňuje pracovať v režime motorickom tak aj v generátorickom režime a preto je možné rekuperovať energiu späť do siete.

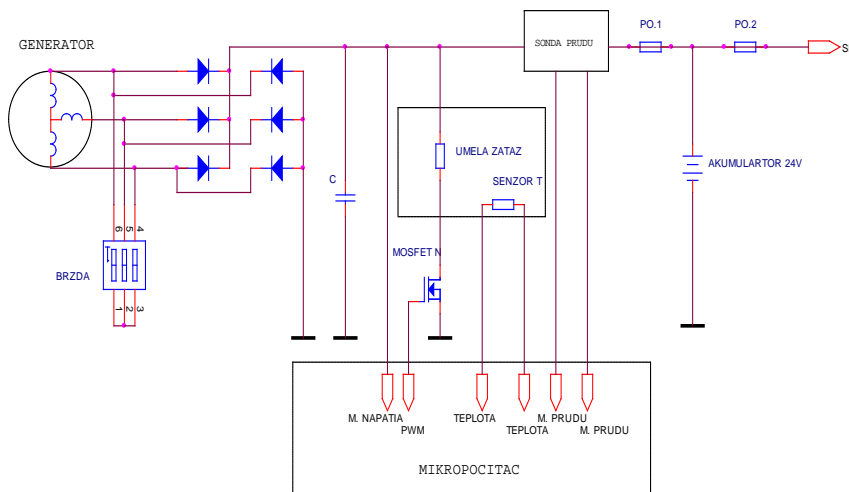
VÝSLEDKY A DISKUSIA

Vodné elektrárne malého výkonu obsahujú obvykle iba regulátor a základný bezpečnostný systém pre odstavenie. Veľmi často pracujú v oštrovej prevádzke. Regulátor býva riešený ako paralelný stabilizátor napätia, ktorý umožňuje nastavenia požadovanej úrovne napätia prostredníctvom umelej záťaže. Obvodové riešenie jednoduchého regulátora menšieho výkonu je na obr. 3.



Obr. 2 AC/DC/AC menič s PWM usmerňovačom s možnosťou rekuperácie energie

Obr. 2 AC / DC / AC converter with PWM rectifier with energy recuperation



Obr. 3 Obvodové riešenie regulátora vodného mikro zdroja menšieho výkonu

Fig. 3 Peripheral controller aqueous less power micro-source solution

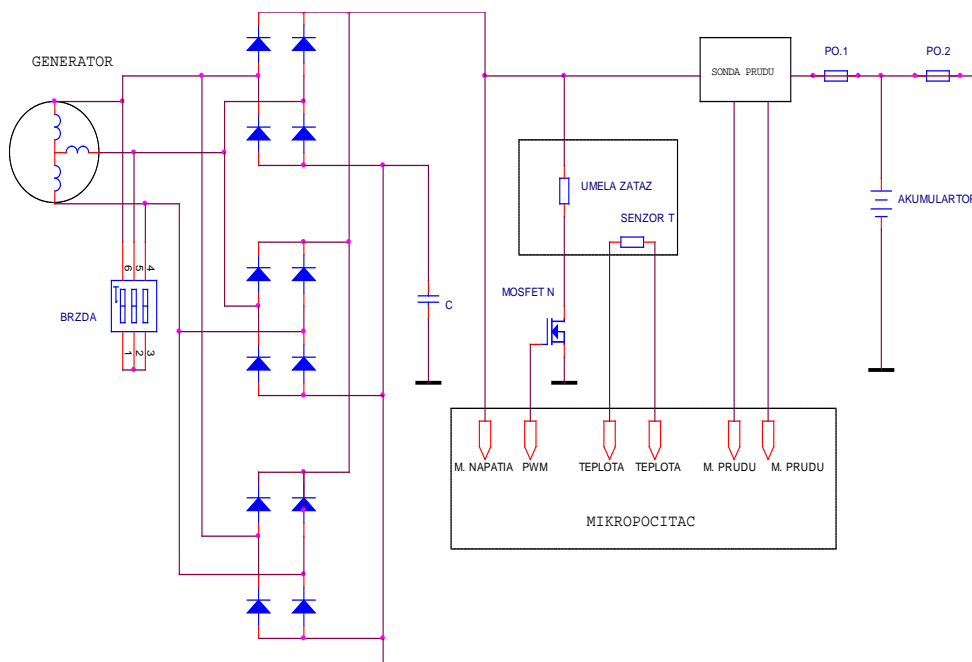
Zapojenie obsahuje trojfázový usmerňovač, filter, obvod riadenia umelej záťaže a meracie a istiace prvky. Zapojenie ďalej obsahuje spínač elektrickej brzdy pre odstavenie vodného mikrozdvoja.

Zvýšenie elektrického výkonu elektronického regulátora predstavuje úpravu v časti usmerňovača, kde je použité zapojenie dvojcestného trojfázového usmerňovača, úpravy sú ďalej v umelej záťaži, ktorá musí absorbovať v niektorých režimoch regulátora značnú činnú energiu ako aj zvýšenie prevádzkových prúdov pre meracie a istiace prvky. Zapojenie systému je na obr. 4.

Vodné elektrárne s výkonom cez 1 kW je vhodné vybaviť riadiacim systémom, ktorý bude umožňovať okrem úpravy výstupného napätia generátora na napätie vhodné pre štandardné spotrebiče spojené s akumuláciou elektrickej energie ako aj ochranu technického systému v prípade havarijných stavov. Zariadenie predpokladá použitie nízkonapäťového generátora [25].

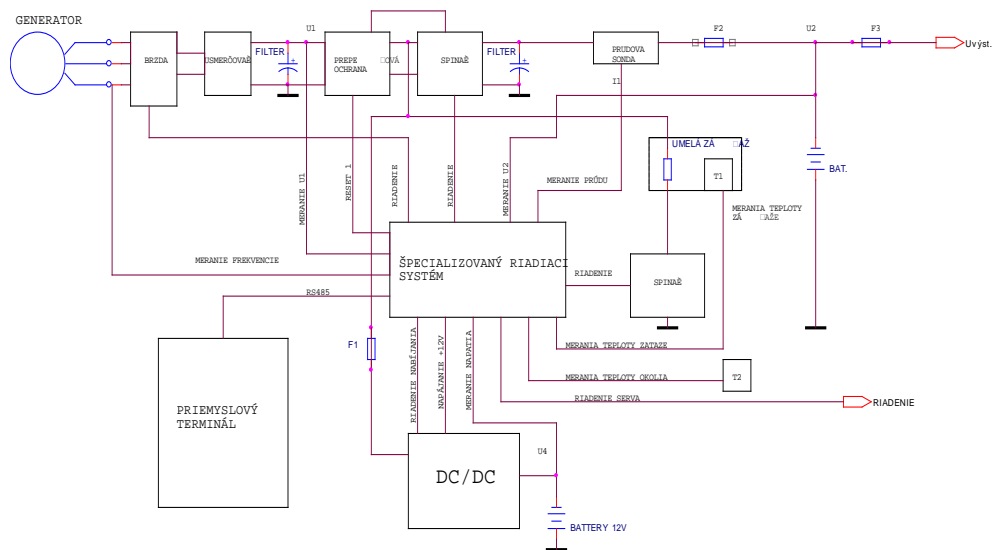
Systém je tvorený špecializovaným riadiacim blokom, ktorý komunikuje s priemyslovým terminálom cez priemyslovú zbernicu RS485. Úpravu výstupného napätia generátora zabezpečuje trojfázový usmerňovač, filter a výkonové spínače pre umelú záťaž a výstup regulátora. Zariadenie

obsahuje meraciu sústavu tvorenú prúdovou sondou a vstupmi pre meranie napätia a teploty. Autonómnu prevádzku zabezpečuje vlastný akumulátor s dobíjacím systémom cez DC/DC menič. Bezpečnosť prevádzky je riešená detektorom prepätia a tavnými poistkami. Ochrana rotorovej časti je riešená elektrickou brzdou a riadením elektromechanického servosystému. Uvedená koncepcia umožňuje riadiť optimálne otáčkové parametre vodnej elektrárne ako aj možnosti voľby režimu elektrárne ako zdroja konštantného napätia prípadne zdroja konštantného prúdu. Uvedené režimy vychádzajú z použitia elektrickej energie pre napájanie spotrebičov, ktoré prevažne pracujú s menovitými hodnotami napätí. Akumulácia elektrickej energie do elektrochemických akumulátorov predpokladá zdroj konštantného prúdu. Naznačené riešenie je využiteľné v širokom rozsahu pracovných napätí a prúdov. Nastavenie menovitých parametrov je riešené definovaním konštant regulátora a realizuje sa programovo. Namerané výsledky na regulátore vodného mikrozdvoja sú na obr. 5 z nich je zrejmé, že pracovná oblasť otáčok mikrozdvoja pre zabezpečenie výstupného napätia 48 V je v rozsahu 170 až 300 ot./min.

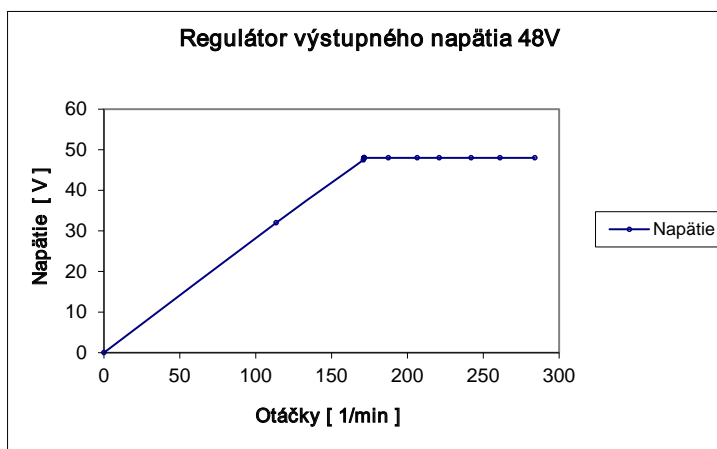


Obr. 4 Obvodové riešenie regulátora vodného mikrozdvoja väčšieho výkonu

Obr. 4: Peripheral controller aqueous more power micro-source solution



Obr. 5 Bloková štruktúra riadiaceho systému vodného mikrozdvoja
 Fig. 5: The block structure of the control system of an aqueous micro-source

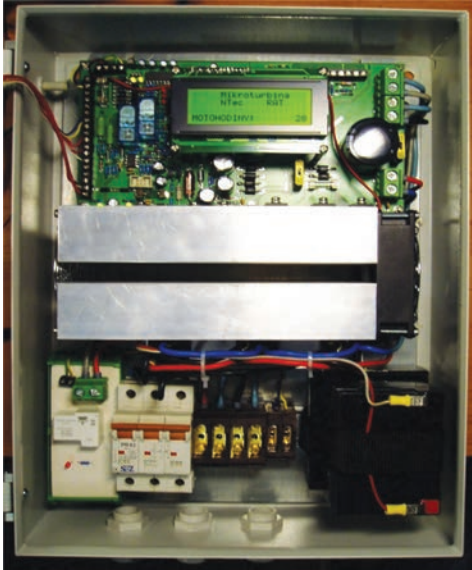


Obr. 6 Závislosť regulácie napätia 48 V od otáčok turbíny Cross flow 200
 Fig. 6: 48 V control voltage dependence of the speed turbines Crossflow 200

Model mikrozdvoja elektrickej energie

Na základe analýzy bol realizovaný mikrozdvoj elektrickej energie využívajúci pôvodný riadiaci systém. Tvorený je rovnotlakovou turbínou pomalobežným bezkontaktným synchronným generátorom a riadiacim systémom. Použitá turbína predstavuje uzavretú skriňu, v ktorej sa otáča valcový rotor obežného kola s lopatkami, ktorý je uchytený v ložiskách. Tesnenie hriadeľa je reali-

zované na stranách skrine. V prírodnej časti turbíny sa nachádza klapka ovládaná pákou a skrutkovým vretenom alebo lineárnym akčným členom podľa zvoleného systému regulácie. Pri výrobe boli použité ušľachtilé ocele, ktoré rešpektujú požiadavku možnosti využitia mikroturbíny aj v náročných ekologických aplikáciách. Priame mechanické spojenie vodnej turbíny s generátorom umožňuje konštrukcia moderných pomalobežných točivých strojov s permanentným magnetom. V systéme



Obr. 7 Funkčný model riadiaceho systému s výkonom do 1500 W

Fig. 7: Functional model of control system with power to 1500 W

mikrozdroja bol použitý bezkontaktný generátor GL-PGM. Uvedený typ generátora je vyrábaný ako trojfázový v alternatívnom prevedení pre výstupné napätie 3×60 V, prípadne s výstupným napätím 3×350 V s výkonom od 500 W do 5 kW [11].

Riadiaci systém bol skonštruovaný na báze univerzálneho mikropočítača AVR. Prepojenie jednotlivých prvkov systému je riešené na základe blokovej štruktúry podľa obr. 6.

Technické parametre mikrozdroja:

Priemer obežného kolesa: 0,2 m

Hltnosť turbíny: 5–120 l/s

Spád: 0,9 m–30 m

Elektrický výkon: podľa použitého generátora 500 W–5 kW

Výstupné napätie: nastaviteľné, 12 V, 24 V, 48 V

DC prípadne 230 V AC

Účinnosť turbíny: 0,7–0,9

Účinnosť generátora: 0,9

Hmotnosť turbíny: 78 kg

Rozmery š \times v \times l: 500 \times 500 \times 700 mm



Obr. 8. Funkčný model mikrozdroja elektrickej energie s výkonom do 1500 W

Fig. 8: Functional model of electricity micro-source with power up to 1500 W

ZÁVER

V príspevku sú opísané radiacie systémy vodných mikrozdrojov, a tiež technická realizácia jednotlivých typov invertorov pre úpravu napätia z elektrického generátora vodného mikrozdvoja na napätie vhodné pre spotrebiteľa. Opísané sú aj obvody schémy moderných typov invertorov a tiež spôsob riadenia malej vodnej elektrárne. Znázornený je aj funkčný model vodného mikrozdvoja s výkonom do 1500 W. Optimalizáciou regulačného obvodu s umelou záťažou je možné dosiahnuť maximálne využitie energie vodného zdroja a jej následnú premenu na elektrickú energiu. Uvedený vodný mikrozdvoj elektrickej energie spĺňa náročné technické, ekologické aj environmentálne podmienky a je ho možné použiť v lokalitách, kde by inak nebolo možné využiť hydroenergetický potenciál vodného toku. Vzhľadom na konštrukciu turbíny je ho možné použiť aj v privádzачoch pitnej vody bez nebezpečenstva znečistenia alebo zhoršenia kvality vody.

LITERATÚRA

- [1] EASYTHERM – Tyristorové spínací jednotky – firemní literatura 2007.
- [2] HODÁK, T, DUŠIČKA, P.: Malé vodné elektrárne, Jaga group BRATISLAVA 1998.
- [3] HRABOVCOVÁ, V., RAFAJDUS, P., FRANKO, M., HUDÁK, P.: Meranie a modelovanie elektrických strojov, ŽILINA: EDIS – ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE, 2004.
- [4] HROZIENČÍK S.: Asynchrónny generátor ako zdroj elektrickej energie – diplomová práca 1999.
- [5] IEEE WORKING GROUP ON PRIME MOVER AND ENERGY SUPPLY MODELS FOR SYSTEM DYNAMIC PERFORMANCE STUDIES, “Hydraulic Turbine and Turbine Control Models for Dynamic Studies“, IEEE Transactions on Power Systems, vol. 7, no. 1, february 1992, PP. 167–179.
- [6] HTTP:// WWW.ROKOVANIA.SK/APPL/MATERIAL.NSF/ Posúdenie možnosti výstavby alternatívnych zdrojov na báze obnoviteľných a druhotných energetických zdrojov s možnosťou nasadenia po roku 2000. 1. etapa. Výskumná správa. BRATISLAVA, EGÚ 1997, 24. 4. 2009.
- [7] <http://www.microhydropower.net/directory/manufacturers.php>, 24. 4. 2009.
- [8] <http://www.tts-martin.sk/sk/rozv/rozv.html>, 25. 4. 2009.
- [9] <http://www.vonsch.sk/produkty/quatrofrem.php?lang=sk>, 25. 4. 2009.
- [10] <http://www.magsy.cz/page/100.magnety/>, 2. 5. 2009.
- [11] <http://www.ginlong.com/wind-turbine-pmg-pma-permanent-magnet-generator-alternator.htm>, 2. 5. 2009.
- [12] <http://www.paragonalliance.co.uk/index.php/fuse-action/shop.category/categoryid/106>, 27. 4. 2009.
- [13] KRAUSE, P. C., O. WASYNCZUK, AND S. D. SUDHOFF, Analysis of Electric Machinery, IEEE PRESS, 2002.
- [14] MATOUŠEK D.: Práce s mikrokontroléry Atmel AVR AT Mega16 BEN-TECHNICKÁ LITERATURA 2006.
- [15] „RECOMMENDED PRACTICE FOR EXCITATION SYSTEM MODELS FOR POWER SYSTEM STABILITY STUDIES, “IEEE STANDARD 421.5-1992, AUGUST, 1992.
- [16] VAS, P.; STRONACH, A. F.; RASHED, M.; NEUROTH, M. Electrical Machines and Drives, 1999. NINTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON (CONF. PUBL. NO. 468) VOLUME, ISSUE, 1999 PAGE(S):329–333.
- [17] VOŽENÍLEK, L. Kurz elektrotechniky. SNTL PRAHA 1988 BRATISLAVA: SPN, 1987.
- [18] GRENIER, D., L.-A. DESSAINT, O. AKHRIF, Y. BONNASSIEUX, AND B. LEPIOUFLE.: „Experimental Nonlinear Torque Control of a Permanent Magnet Synchronous Motor Using Saliency,“ IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS, VOL. 44, NO. 5, OCTOBER 1997, PP. 680–687.
- [19] ŽALMAN, M.: Akčné členy, SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE, 2003.
- [20] KOŽÁK, Š.: Robustné metódy nastavovania PID regulátorov pre kaskádové regulačné obvody, SBORNÍK XXIII. SEMINÁRE ASR 1999 OSTRAVA.
- [21] KOL. AUTORŮ: Obnovitelné zdroje energie, PRAHA 2001.
- [22] HARALANOVA E., PETKANICHIN L., PULEVA T.: Modelling and Investigating the Processes of Speed control of a Water Turbine. ENERGY FORUM '98 WHIT INTERNATIONAL PARTICIPATION, PROCEEDINGS.
- [23] PUSKAJLER J.: Automatizácia činnosti malých vodných elektrární, MAF 1-4/2003
- [24] KMINIK P.: Vodné mikroelektrárne, BRATISLAVA, ALFA 1990.
- [25] PULEVA T., HARLANOVA E.: A turbine needle's position control m in water power station. ANNI-VERSALY SCIENTIFIC CONF. “25 YEARS FA“ TU – SOFIA, JUNE 1999. PROCEEDINGS PP. 160–167.
- [26] PAŽOUT F.: Malé vodní elektrárny, SNTL PRAHA 1987.
- [27] KREJČÍ V., STUPKA J.: Elektrická měření, SNTL PRAHA 1973.
- [28] IVANOV N., PETKANICHIN ET AL.: Digital turbine governor for water power station, AUTOMATIKA & INFORMATICS, 4/2000 PP. 44–46.
- [29] GABRIEL P., ČIHÁK F., KALANDRA P.: Malé vodní elektrárny. PRAHA ČVUT 1998.
- [30] ASTROM, K., HÄGGLUND T.: PID Controllers, SECOND ED. 1995.

- [31] RIVERA, D. E., MORARI, M. & SKOGESTAD S. Internal Model Control, 4. PID CONTROLLER DESIGN, AND. ENG. PROC. DES. DEV., 25, 1986.
- [32] VÍTEČKOVÁ, M. Seřízení regulátoru PI a PID na mezní nekaitavý pochod, IN NEW TRENDS IN AUTOMATION OF ENERGETIC PROCESSES 98, ZLIN 19–20 MÁJA 1998, STR 485–490.