

TECHNICKÁ UNIVERZITA V KOŠICIACH
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky



***Inteligentné riadenie výroby a spotreby elektriny
z obnoviteľných energetických zdrojov 2013***

***Sekcia pri konferencii: 7. Medzinárodné vedecké sympóziu, ELEKTROENERGETIKA 2013,
Stará Lesná, Vysoké Tatry***

19. septembra 2013, Stará Lesná, Slovenská republika

Editor:

Dr. h. c. prof. Ing. Michal Kolcun, PhD.



PODPORUJEME VÝSKUMNÉ AKTIVITY NA SLOVENSKU
PROJEKT JE SPOLUFINANCOVANÝ ZO ZDROJOV EÚ



© 2013, Technická univerzita v Košiciach
ISBN 978-80-553-1462-4

Inteligentné riadenie výroby a spotreby elektriny z obnoviteľných energetických zdrojov 2013

Copyright © Košice 2013, Technická univerzita v Košiciach, Slovenská Republika.

ISBN 978-80-553-1462-4.

Všetky práva vyhradené. Vyrobené na Slovensku.

Náklad: 100 ks

Táto publikácia môže byť ďalej reprodukována pre výučbové a nekomerčné účely. Za obsah jednotlivých príspevkov zodpovedajú autori.

Citácia na túto publikáciu:

Inteligentné riadenie výroby a spotreby elektriny z obnoviteľných energetických zdrojov 2013. September 19, 2013. Stará Lesná, Slovenská Republika. Technická univerzita v Košiciach, 2013, ISBN 978-80-553-1462-4.

Inteligentné riadenie výroby a spotreby elektriny z obnoviteľných energetických zdrojov 2013 – Základné informácie

Redakčná rada

Predseda:

- Dr. h. c. prof. Ing. Michal Kolcun, PhD., Technická univerzita v Košiciach

Členovia:

- prof. Ing. Karol Marton, DrSc., TU v Košiciach
- prof. Ing. Roman Cimbala, PhD., TU v Košiciach
- prof. Ing. Irida Kolcunová, PhD., TU v Košiciach
- doc. Ing. Ľubomír Beňa, PhD., TU v Košiciach
- doc. Ing. Alexander Mészáros, PhD., TU v Košiciach
- Ing. Jozef Balogh, PhD., TU v Košiciach
- Dr. Ing. Bystrík Dolník, TU v Košiciach
- Ing. Jaroslav Džmura, PhD., TU v Košiciach
- Ing. Martin Kanálik, PhD., TU v Košiciach
- Ing. Marek Hvizdoš, PhD., TU v Košiciach
- Ing. Stanislav Ilenin, PhD., TU v Košiciach
- Ing. Juraj Kurimský, PhD., TU v Košiciach
- Ing. Dušan Medved', PhD., TU v Košiciach
- Ing. Jaroslav Petráš, PhD., TU v Košiciach
- Ing. Ján Tkáč, CSc., TU v Košiciach

Technická podpora:

- Dagmar Kramolišová, TU v Košiciach
- Ing. Dušan Medved', PhD., TU v Košiciach

Obsah

Ľubomír Beňa, Martin Chovanec

Meranie napäťových závislostí svetelného toku umelých zdrojov svetla 1

Roman Cimbala

Možnosti pripájania meracích prístrojov s komunikačnými rozhraniami k virtuálnemu inžinierskemu prostrediu Agilent 4

Martin Kanálik

Meranie harmonického skreslenia napätia na výstupe striedača COTEC S1500-124 napájajúceho lineárnu záťaž 7

Stanislav Ilenin, Martin Chovanec

Komunikačné zbernice a protokoly pre fotovoltické systémy 10

Dušan Medved', Martin Chovanec

Analýza prechodných javov pripojenia obnoviteľných zdrojov využitím nástrojov EMTP ATP a Matlab/SimPowerSystem 14

Alexander Mészáros

Simulácia regulácie kruhových tokov v SimPowerSystems 18

Ján Tkáč, Marek Hvizdoš

Využitie Fresnelovho princípu pri koncentrácii slnečného žiarenia 22

Ján Tkáč, Marek Hvizdoš

OZE Vertikálne rotory veterných elektrární 25

Jaroslav Petráš

Overvoltage protection of photovoltaic panels and systems 29

Jaroslav Petráš

Considerations in overvoltage protection design for photovoltaic panels and systems 31

Dušan Medved', Michal Kolcun, Rastislav Stolárik, Štefan Vaško

Využitie platformy Arduino pre nastavenie MPPT vo fotovoltike 33

Dušan Medved', Michal Kolcun, Rastislav Stolárik, Štefan Vaško

Využitie štatistických metód pri spracovaní dát z fotovoltických panelov 37

Meranie napäťových závislostí svetelného toku umelých zdrojov svetla

Lubomír Beňa

Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky
a informatiky, Technická univerzita v Košiciach
Košice, Slovenská republika
lubomir.bena@tuke.sk

Martin Chovanec

Ústav výpočtovej techniky,
Technická univerzita v Košiciach,
Košice, Slovenská republika
martin.chovanec@tuke.sk

Abstrakt—Svetelný výkon umelých zdrojov svetla je možné hodnotiť na základe svetelného toku, ktorý zdroj vyžaruje do okolitého priestoru. Je to jeden zo štítkových údajov svetelných zdrojov, ktorý je spravidla daný pri menovitom napájanom napätí. V súčasnosti sa stalo stmievanie svetelných zdrojov jedným z prostriedkov na zníženie energetickej náročnosti osvetlenia. Jednotlivým stupňom stmievania zodpovedá príslušný svetelný tok, pričom napäťové závislosti nie sú v súčasnosti bežným katalógovým údajom. Spôsobom merania týchto charakteristík sa zaoberá tento článok.

Kľúčové slová—svetelný tok; umelý zdroj svetla; analyzátor siete

Abstract—Light performance of artificial sources can be evaluated on the basis of the luminous flux emitted by a source into the surrounding space. It is one of data label of light sources, which is normally given for rated voltage level. Dimming of the lamps is currently one of the ways to reduce the energy consumption of illumination. Depending on the degree of dimming, the light output is changed. However, the voltage dependence of luminous flux is not currently a common catalog data. This article deals with the way of measuring of these characteristics.

Keywords—luminous flux; artificial light source, the network analyzer

I. DEFINÍCIA SVETELNÉHO TOKU

Svetelný tok Φ , ktorého jednotkou je lumen [lm], predstavuje žiarivý tok Φ_e , ktorý je vyžiarený do viditeľnej oblasti elektromagnetického žiarenia. Vyjadruje množstvo svetla vyžiareného svetelným zdrojom do všetkých smerov. Zo svetelného toku ako základnej veličiny sa odvodzajú všetky ostatné fotometrické veličiny. Pre konkrétny typ svetelného zdroja je tento údaj uvedený v katalógu. Svetelný tok pri známom spektrálnom zložení žiarivého toku môžeme vyjadriť podľa vzťahu [1], [4]:

$$\Phi = K_m \int_{380}^{780} \Phi_e(\lambda) \cdot V(\lambda) \cdot d\lambda \quad (1)$$

kde:

Φ_e – žiarivý tok [W],

K_m – maximálna svetelná účinnosť [lm.W⁻¹],

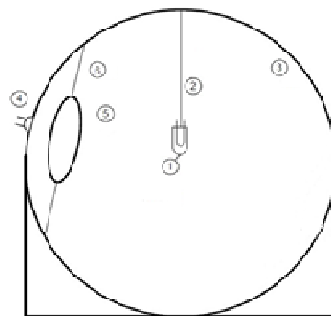
$V(\lambda)$ – účinnosť monochromatického žiarenia [-].

II. PRINCÍP MERANIA SVETELNÉHO TOKU POMOCOU GUĽOVÉHO INTEGRÁTORA

Svetelný výkon zdrojov a svietidiel je možné hodnotiť podľa svetelného toku, ktorý sa vyžaruje do okolitého priestoru. Svetelný tok tak predstavuje svetelný výkon, ktorý sa priamo uplatňuje pri vytváraní osvetlenia a tým aj jas osvetľovaných plôch. Hlavným cieľom meraní svetelného toku je skúmanie účinnosti premeny elektrickej energie na energiu svetelnú. Pri meraní svetelného toku nás nebude zaujímať jeho priestorové rozloženie, ale iba jeho množstvo. Ak chceme toto množstvo súhrne určiť, musíme prakticky merať svetelný výkon (svietivosť) vo všetkých smeroch vyžarovania, ktoré reprezentujú uhly γ a ϑ . Svietivosť v elementárnom priestorovom uhle $d\omega$ následne vytvára elementárny svetelný tok. Suma všetkých elementov svetelného toku vyžarovanych cez všetky smery (t.j. uhly γ a ϑ) nám udáva súhrny svetelný tok Φ . Matematicky ide o integrál z fotometrickej plochy svietivosti cez priestorový uhol celého priestoru, kde:

$$\Phi = \oint_{4\pi} I(\gamma, \vartheta) d\omega \quad (2)$$

Meranie fotometrickej plochy svietivosti je pomerne zdĺhavá záležitosť a integrácia fotometrickej plochy sa dá jednoducho obísť použitím špeciálnej meracej aparatury, tzv. guľového integrátora (Obr. 1), ktorého hlavné časti sú: svetelný zdroj – 1, záves svetelného zdroja – 2, vnútorná rozptylná stena – 3, fotočlánok – 4, clonka – 5, záves clonky – 6.



Obrázok 1. Guľový integrátor [2]

Principiálne nám toto zariadenie vykonáva integráciu svetelného toku za pomoci mnohonásobných rozptylových odrazov, ktorých výsledkom je vytvorenie rovnomerného rozloženia osvetlenia vnútri steny guľového integrátora bez ohľadu na priestorové rozloženia svetelného toku zdroja svetla. Tento predpoklad je však splniteľný iba vtedy, ak vnútorné steny guľového integrátora majú dostatočnú odraznosť.

S dostatočnou presnosťou je potom možné povedať, že intenzita osvetlenia v ktoromkoľvek bode na vnútornom povrchu guľového integrátora je rovnaká a je priamo úmerná celkovému svetelnému toku svetelného zariadenia [1].

Pri meraní napäťovej závislosti svetelného toku umelých zdrojov svetla boli použité nasledovné prístroje (obr. 2):

- regulovateľný napäťový zdroj EA-4000B
- analyzátor kvality elektriny ENA 330, vrátane počítača
- digitálny luxmeter PU 550,
- guľový integrátor.



Obrázok 2. Meranie svetelného toku v guľovom integrátore

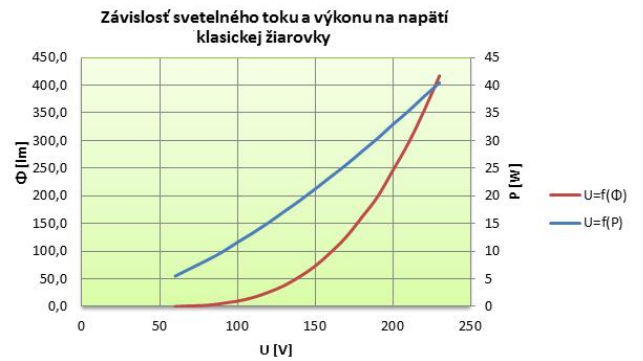
Regulovateľným zdrojom bola nastavovaná požadovaná hodnota napätia, elektrické veličiny (prúd, napätie, výkon) boli merané pomocou analyzátoru siete. Hodnota intenzity osvetlenia svetelného zdroja v guľovom integrátore bola meraná digitálnym luxmetrom.

III. VÝSLEDKY MERANIA

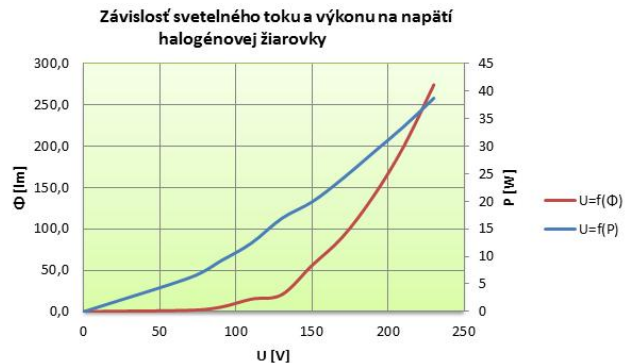
Meranie svetelného toku pri rôznych napätiach bolo realizované na svetelných zdrojoch, bežne používaných v osvetľovacích sústavách vonkajších aj vnútorných priestorov, t.j.:

- klasická žiarovka Osram, 40 W,
- halogénová žiarovka Osram, 40 W,
- kompaktná žiarivka Osram, 8 W,
- LED svetelný zdroj, COB 5 W,
- vysokotlaká sodíková výbojka Osram, 70 W.

Základné prevádzkové parametre týchto zdrojov pri ich menovitom napätí sú uvedené v tab. 1. Pri jednotlivých úrovniach napájacieho napätia bola okrem svetelného toku odčítaná tiež hodnota elektrického príkonu svetelného zdroja P [W]. Na základe sledovaných údajov bolo tiež možné vyčísliť merný výkon svetelných zdrojov η [lm/W]. Je to parameter charakterizujúci účinnosť premeny elektrickej energie na svetlo. Výsledky meraní, t.j. závislosti svetelného toku a výkonu (resp. príkonu) v závislosti od veľkosti napájacieho napätia pre jednotlivé svetelné zdroje sú uvedené na nasledovných grafických závislostiach.



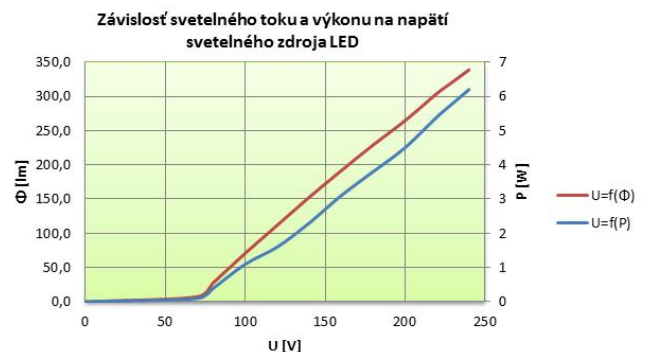
Obrázok 3. Závislosť svetelného toku a výkonu na napätí klaskej žiarovky



Obrázok 4. Závislosť svetelného toku a výkonu na napätí halogénovej žiarovky



Obrázok 5. Závislosť svetelného toku a výkonu na napätí kompaktné žiarivky



Obrázok 6. Závislosť svetelného toku a výkonu na napätí svetelného zdroja LED



Obrázok 7. Závislosť svetelného toku a výkonu na napätí vysokotlakovej sodíkovej výbojky

Uvedené závislosti nám poskytujú informáciu o základných parametroch osvetľovacej sústavy v prípade zmeny napätia, t.j. napríklad v priebehu regulácie intenzity osvetlenia. Pri stmievaní osvetlenia je potrebné vedieť jednak veľkosť príkonu osvetlenia pri danom stupni stmievania (z hľadiska vyčíslenia úspor pri nasadení regulačných prvkov) a tiež veľkosť intenzity osvetlenia (z hľadiska posúdenia dosiahnutia požadovaných svetelnotechnických parametrov) [3], [5].

Tabuľka 1 Zhrnutie parametrov meraných svetelných zdrojov

svetelný zdroj	štítkové údaje			parametre namerané pri $U_n=230V$		
	P [W]	Φ [lm]	η [lm/W]	P [W]	Φ [lm]	η [lm/W]
klasická žiarovka	40	415	10,4	40,5	417,2	10,3
halogénová žiarovka	40	300	7,5	38,7	274,2	7,1
kompaktná žiarivka	8	400	50,0	8,3	458,1	55,1
LED žiarovka	5	405	81	5,8	321,5	55,4
vysokotlaká sodíková výbojka	70	6 000	85,7	83,6	5784,9	69,2

V tabuľke 1 sú zhrnuté základné parametre uvažovaných svetelných zdrojov pri menovitom napätí dané výrobcom a tiež údaje získané meraním. Rozdiely nameraných oproti štítkovým údajom zodpovedajú hlavne miere presnosti meracích prístrojov (hlavne luxmetra) a tiež odchýlkou skutočných parametrov svetelných zdrojov oproti ich štítkovým údajom.

IV. ZÁVER

Článok pojednáva o meraní napäťových závislostí svetelného toku bežne používaných umelých svetelných zdrojov. Pri jednotlivých úrovniach napätia bol zároveň odčítaný príkon svetelných zdrojov. Z nameraných závislostí je možné sledovať správanie sa svetelného zdroja pri stmievaní z hľadiska odoberaného výkonu ako aj veľkosti vyžarovaného svetla. Výsledky meraní potvrdili fakt, že proces stmievania je charakterizovaný väčším poklesom svetelného toku ako príkonu. Na základe toho môžeme usúdiť, že vplyvom stmievania klesá účinnosť premeny elektrickej energie na svetelnú, ktorá je daná parametrom η [lm/W].

POĎAKOVANIE

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj pre projekt: Centrum výskumu účinnosti integrácie kombinovaných systémov obnoviteľných zdrojov energií, s kódom ITMS: 26220220064, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.



Európska únia
Európsky fond regionálneho rozvoja



Operačný program
VÝSKUM a VÝVOJ



Agentúra
Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu SR
pre štrukturálne fondy EÚ



**Centrum
VUKONZE**
TECHNICKÁ UNIVERZITA V KOŠICIACH

Podporujeme výskumné aktivity na Slovensku/Projekt je spolufinancovaný zo zdrojov EÚ.

LITERATÚRA

- [1] SOKANSKÝ, K. a kol.: Světelná technika. EUROPRINT, a.s.. Praha 2011. 256 s. ISBN 978-80-01-04941-9
- [2] Měření světelného toku neznámého zdroje, jeho napětové závislosti a světelné účinnosti svítidla [cit. 2013-4-20]. Dostupné na internete: <http://www.ueen.feec.vutbr.cz/light-laboratory/files/sylabus/05_Mereni_svetelneho_toku_neznameho_zdroje_jeho_napetove_zavislosti_a_svetelne_ucinnosti_svitidla.pdf>
- [3] ASNAĎ, J.: Meranie prevádzkových parametrov svetelných zdrojov. Diplomová práca. Košice: FEI TU v Košiciach, 2013
- [4] HABEL, J.: Světelná technika a osvětlování. FCC Public, Praha 1995, ISBN 800-901985-0-3
- [5] ÁRVAY, P.: Regulácia osvetlenia vnútorných priestorov. Diplomová práca. Košice: FEI TU v Košiciach, 2010

Možnosti pripájania meracích prístrojov s komunikačnými rozhraniami k virtuálnemu inžinierskemu prostrediu Agilent

Roman Cimbala
Katedra elektroenergetiky
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Technická univerzita v Košiciach, Slovensko
roman.cimbala@tuke.sk

Abstrakt — Článok sa zaoberá možnosťami pripájania meracích prístrojov prostredníctvom komunikačných rozhraní k virtuálnemu programovaciemu inžinierskemu prostrediu Agilent. V príspevku sú popísané základné postupy pri nastavovaní prístrojovej zbernice IEEE 488.2. Je popísaná aj metodika pripojenia prístroja, jeho oživenie a meranie so vzorkovaním v čase.

Kľúčové slová: virtuálne inžinierske prostredie; prístrojová zbernica IEEE 488.2; merací prístroj

I. ÚVOD

Medzi základné požiadavky na programovacie prostredia pre vývoj meracích systémov patrí možnosť pripojenia meracích prístrojov [1]. Je požadovaná funkcionálna použitie reálnych prístrojov alebo simulovať ich prítomnosť. Tieto požiadavky v plnej miere spĺňa programové prostredie Agilent, v ktorom sú popísané základné operácie pre inicializáciu a využívanie meracieho prístroja ovládaného počítačom.

II. INICIALIZÁCIA PRÍSTROJA

Nové zložitejšie prístroje disponujú funkciou, ktorá odpovedá na zavolanie pre ich identifikáciu.

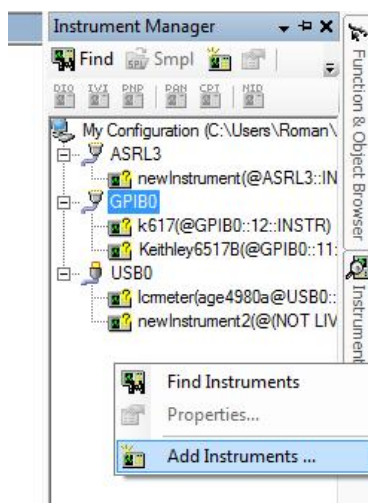


Figure 1. Pridanie meracieho prístroja do systému

V menu I/O voľbou Instrument manager sa vyvolá dialógové okno. Stlačením tlačítka Find dôjde ku kontrole všetkých inštalovaných stykových rozhraní a k hľadaniu prístrojov naň napojených. Ak prístroj disponuje odpoveďou na príkaz *IDN? (identifikuj sa), automaticky sa prihlási do systému. Ak nie, je ho potrebné pridať tak, ako je to zobrazené na obr. 1

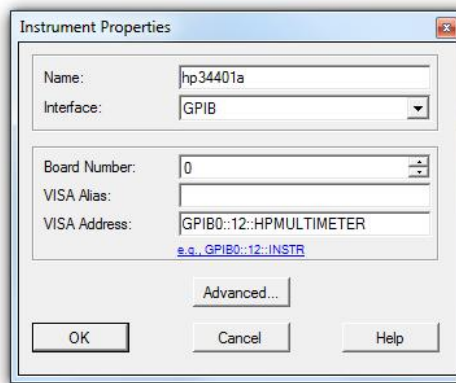


Figure 2. Nastavenie mena a adresy prístroja

Zmeňte názov prístroja v poli Name na požadovaný. Nastavte číslo príslušného stykového rozhrania a adresu tak, ako je to uvedené na obr. 2. Je potrebné si uvedomiť, že adresa musí byť v súlade s adresou prístroja, ktorá je definovaná v jeho nastaveniach. Pre jej zmenu v prístroji postupujte podľa návodu prístroja.

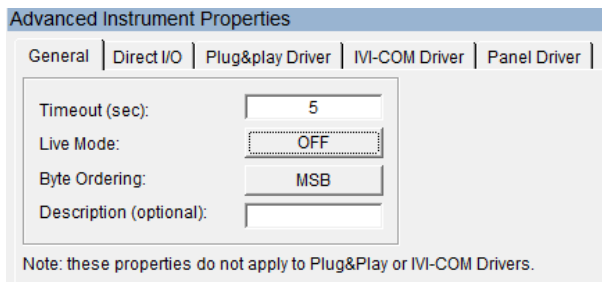


Figure 3. Pridanie meracieho prístroja do systému

Ako už bolo v predchádzajúcom texte spomínané, systém umožňuje pridanie reálnych meracích prístrojov ako aj ich

simuláciu. Ak systém neobsahuje reálny merací prístroj, ale program je vyvíjaný pre jeho následné použitie, je možné prístroj virtuálne do systému pridať. Je však potrebné v menu Advanced zmeniť pole Live Mode z preddefinovanej hodnoty ON na hodnotu OFF. Tým sa dosiahne, že nedôjde k chybe pri komunikácii.

Komunikácia s prístrojom je vykonávaná na základe vysielania a prijímania inštrukcií. Ich konkrétny syntax je potrebné zistiť v návode prístroja. Agilent však poskytuje podporu pre svoje zariadenia vo forme Panel Driver, čo nie je nič iné než virtuálne zjednodušené zobrazenie čelného panelu prístroja [2]. Pracou na tomto virtuálnom paneli dochádza ku komunikácii medzi systémom a prístrojom bez potrebnej znalosti inštrukcií. Je však potrebné pridať súbor, ktorý túto inštrukčnú sadu obsahuje. V záložke Panel Driver kliknite na položku ID Filename a vyberte súbor, ktorého názov zodpovedá typovému označeniu prístroja tak, ako je to na obr. 4.

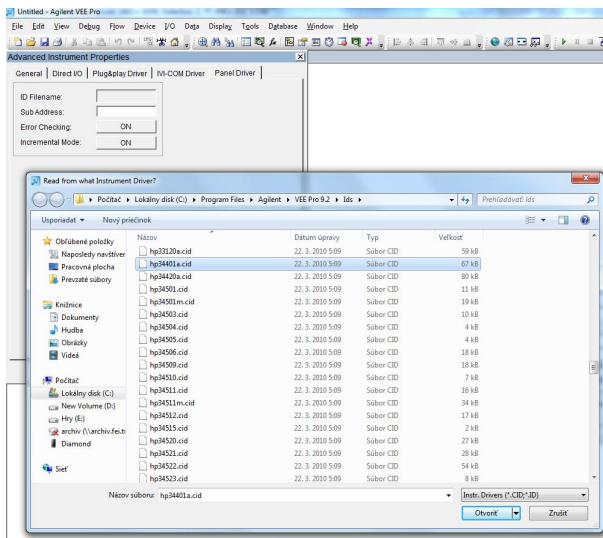


Figure 4. Pridanie panelu prístroja do systému

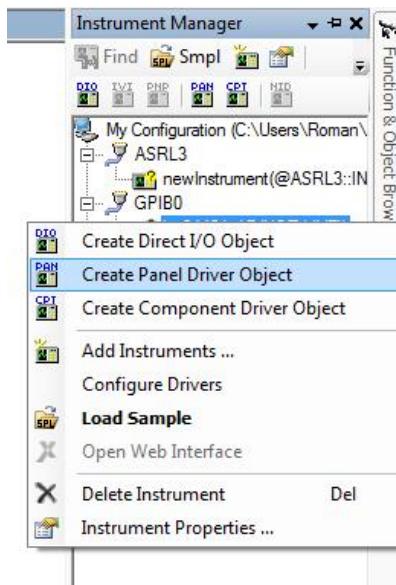


Figure 5. Pridanie panelu meracieho prístroja do programu

Týmto spôsobom je pridaný merací prístroj do systému. Na jeho pridanie do programu je potrebné z menu I/O – Instrument Manager kliknúť pravým tlačítkom myši na požadovaný prístroj a následne vybrať voľbu Create Panel Driver Object, ako je to zobrazené na obr. 5.

Panel prístroja neobsahuje žiaden dátový terminál. Je potrebné ho pridať nasledovným postupom:

1. Ľavým tlačítkom myši kliknite na ľavý horný roh a z menu vyberte voľbu Add terminal a následne Data output
2. Z rolovacieho menu vyberte voľbu READING(Real), čím sa na pravej strane objektu panelu prístroja objaví dátový výstup s príslušným názvom. Postupujte pozorne a nezmyľte si pri výbere položku READING(Real) s položkou READINGS(Real Array), čo je výstup čítania dát vo forme poľa. Uvedený postup je na obr. 6
3. Z menu Display vyberte možnosť XY Trace pre zobrazenie meraných dát
4. Stlačte tlačítko Run z nástrojovej lišty

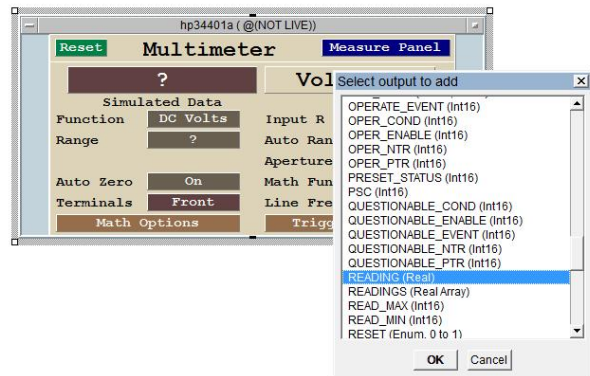


Figure 6. Pridanie výstupu meraných dát meracieho prístroja

Takto navrhnutý program je zobrazený v objekte len jeden nameraný údaj reprezentovaný jedným údajovým bodom v grafe XY Trace. Opätovné spúšťanie programu má za následok vygenerovanie stále len jednej meranej (virtuálnej) hodnoty z meracieho prístroja [3]. Aby bolo možné kontinuálne meranie, postupujte nasledovne:

1. Zvoľte z menu Flow možnosť Repeat a položku On Cycle
2. Zmeňte prednastavenú hodnotu vzorkovania z 1 sekundy na 100 ms, objekt On Cycle vyšle na dátový výstup impulz s periódou nastavenou v tele objektu
3. Spojte dátový výstup objektu On Cycle s riadiacim vstupom objektu Panel Driver meracieho prístroja
4. Stlačte tlačítko Run z nástrojovej lišty

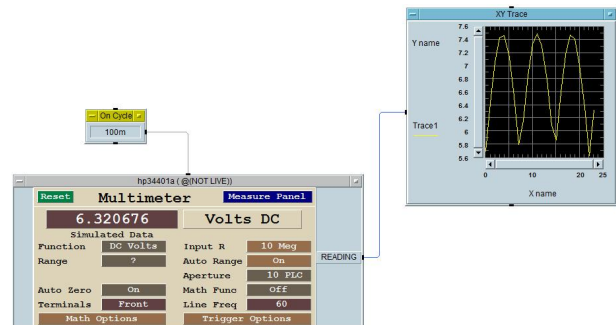


Figure 7. Pridanie objektu pre cyklovanie merania do programu

Takto navrhnutý program je na obr. 7. Ako už bolo uvedené, zobrazovač XY Trace zobrazí pri jednorozmernom vstupe bez časovej informácie na x-ovej osi len poradové číslo vzorky. Aby bolo možné doplniť do grafu časovú informáciu, je potrebné tento údaj získať. Pre splnenie tejto úlohy postupujte nasledovne.

1. Z menu Flow vyberte objekt Start, ktorým je možné spúšťať program rovnako ako tlačítkom Run z nástrojovej lišty
2. Spojte riadiaci výstup objektu Start so vstupom objektu On Cycle
3. Z menu Device vyberte objekt Timer. Objekt má dva dátové vstupy – Time1 a Time2 a jeden dátový výstup T2-T1, pri každom privedení signálu na dátový vstup Time2 objekt vypočíta rozdiel medzi časmi aktivácie vstupu Time2 a Time1 a zistenú hodnotu privedie na dátový výstup

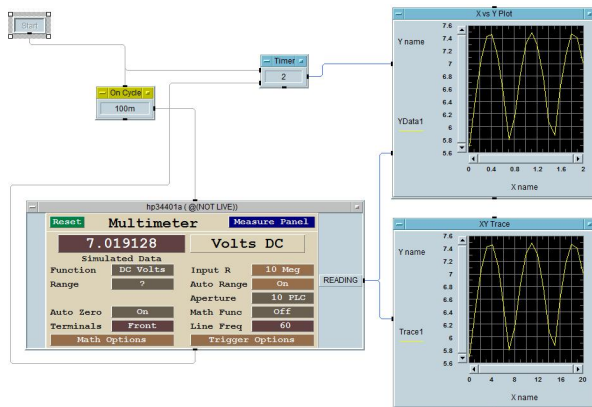


Figure 8. Pridanie objektu Timer do programu

4. Na dátový vstup Time1 privedte riadiaci výstup z objektu Start. Dosiahne sa tým to, že Timer začne odpočítavať čas od 0 synchronne so systémovými hodinami počítača.
5. Na dátový vstup Time2 privedte riadiaci výstup z objektu Panel Driver meracieho prístroja, tým sa dosiahne to, že okamžite po odoslaní nameranej hodnoty sa vyšle impulz na dátový vstup Time2 objektu Timer a vytvorí sa tak dvojica reprezentujúca meranú hodnotu s jej časovou značkou
6. Z menu display vyberte objekt X vs Y Plot, ktorý má preddefinované dva dátové vstupy XData a YData reprezentujúce vstupy pre časové hodnoty x-ovej a nameranej hodnoty y-ovej súradnice
7. Spojte dátový výstup T2-T1 objektu Timer s dátovým vstupom XData objektu X vs Y Trace
8. Spojte dátový výstup READING objektu Panel Driver meracieho prístroja s dátovým vstupom YData objektu X vs Y Trace

Takto navrhnutý program je zobrazený na obr. 8. Stlačte vnútorné pole objektu Start a spustite program. Všimnite si, že krivka zobrazená objektmi XY Trace a X vs Y Plot je rovnaká. Objekty však majú rozdielne popísanú x-ovú os. Kým objekt X vs Y Plot dostal cez dátový vstup informáciu o čase pre príslušnú vzorku tak objekt XY Trace takouto informáciou nedisponuje a preto je na x-ovej osi vynesené len poradové číslo vzorky.

ZÁVER

Príspevok sa zaoberá možnosťami pripojenia meracích prístrojov vybavených komunikačnými rozhraniami do virtuálneho programovacieho prostredia Agilent. Samotné pripájanie nevyžaduje v prípade dostupnosti prístrojových knižníc pre ovládacie panely hlboké znalosti v informačných technológiách a je si ho možné osvojiť za pomerne krátky čas. Hlavnou výhodou programového prostredia je jeho schématickosť a vizualizácia toku programu a komunikačných dát, čo ho značne približuje ku klasickej tvorbe vývojových diagramov. V dôsledku možnosti on-line pripojenia 15 prístrojov komunikujúcich cez jednu komunikačnú kartu (najviac 30 fyzicky pripojených prístrojov) je možné s týmto programovacím prostredím vytvárať aj zložitejšie meracie systémy [4].

POĎAKOVANIE

Tento príspevok vznikol vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj pre projekt: Centrum výskumu účinnosti integrácie kombinovaných systémov obnoviteľných zdrojov energií, s kódom ITMS: 26220220064, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.



Podporujeme výskumné aktivity na Slovensku/Projekt je spolufinancovaný zo zdrojov EÚ.

POUŽITÁ LITERATÚRA

- [1] Michaeli, L., Šaliga, J.: Systémy zberu dát, TU Košice 1997
- [2] Getting Started with HP VEE, Hewlett-Packard 1995 - 2011
- [3] Graphical Programming, A tutorial for HP VEE, Hewlett-Packard 1995 - 2011
- [4] http://findarticles.com/p/articles/mi_m0EIN/is_1997_Oct_13/ai_19857292/

Meranie harmonického skreslenia napätia na výstupe striedača COTEC S1500-124 napájajúceho lineárnu záťaž

Martin Kanálik

Katedra elektroenergetiky,
Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach
Mäsiarska 74, 040 01 Košice, Slovakia
martin.kanalik@tuke.sk

Abstrakt — Článok popisuje spôsob a výsledky merania harmonického skreslenia napätia na výstupe striedača COTEC S1500-124 napájajúceho lineárnu záťaž. Ako lineárna záťaž boli zvolené: žiarovka s menovitým výkonom 150 W a ohrievač s možnosťou regulácie výkonu. Meranie bolo realizované za účelom verifikácie dodržania výrobcom deklarovanej hodnoty koeficientu celkového harmonického skreslenia napätia na výstupe striedača COTEC S1500-124. Meranie kvality napätia bolo realizované pomocou analyzátora kvality elektriny triedy A – ENA 330.

Kľúčové slová: kvalita elektriny, meranie kvality elektriny, harmonické, DC/AC striedač

Abstract — This paper describes approach and results of voltage total harmonic distortion measurement at the terminals of DC/AC inverter COTEC S1500-124 supplying a linear load. There was a classic bulb with 150 W nominal power and a heater with adjustable power chosen as linear load example. The measurement was realized for purposes of verification of the voltage total harmonic distortion at the terminals of DC/AC inverter COTEC S1500-124 declared by its manufacturer. The power quality measurement was realized by the power quality analyzer of class A – ENA 330.

Keywords: power quality, power quality measurement, harmonics, DC/AC inverter

I. ÚVOD

V súčasnom období sa v našej spoločnosti kladie čoraz väčší dôraz na využívanie obnoviteľných zdrojov elektrickej energie. Medzi najrozšírenejšie spôsoby využívania energie pochádzajúcej so slnka patria fotovoltické panely. Elektrickú energiu získavanú z fotovoltických panelov vo forme jednosmerného napätia a prúdu je potrebné pre účely jej ďalšej distribúcie, či použitia previesť na striedavé veličiny pomocou DC/AC striedačov. Keďže napätie na výstupe striedača je vytvárané pomocou polovodičových prvkov, je potrebné zaoberať sa aj otázkou kvality napätia takéhoto zdroja. Na Katedre elektroenergetiky, FEI, TU v Košiciach bola pre účely výskumu možností využitia a vplyvu fotovoltických panelov a veterných elektrární na kvalitu dodávky elektrickej energie nainštalovaná elektrická sieť pozostávajúca zo zdrojov elektrickej energie (fotovoltických panelov a veternej turbíny),

regulátorov, batérií a striedačov. V rámci ostrovnej prevádzky tejto siete, bolo realizované meranie harmonického skreslenia napätia na výstupe striedača COTEC S1500-124 napájajúceho lineárnu záťaž, ktorého výsledky sú stručne popísané v tomto článku.

II. HARMONICKÉ SKRESLENIE

Harmonické skreslenie je vo všeobecnosti spôsobené najmä nelineárnymi zariadeniami (ktorých odoberaný prúd nie je priamoúmerný napájaciemu napätiu) pripojenými do elektrizačnej sústavy. Pomocou Fourierovej analýzy je možné rozloženie deformovanej periodickej vlny na súčet čisto sínusových vln, ktorých frekvencie sú celočíselnými násobkami základnej frekvencie deformovanej vlny. Tieto celočíselné násobky sa nazývajú harmonické základnej frekvencie. [3]

Najviac používaným parametrom určujúcim zastúpenie harmonických v elektrických sieťach je koeficient celkového harmonického skreslenia – THD (Total Harmonic Distortion). Koeficient THD je pre meranú veličinu (napätie, prúd) určený nasledovným spôsobom: [3]

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h_{\max}} M_h^2}}{M_1} \quad (1)$$

kde: M_h – efektívna hodnota h -tej harmonickej meranej veličiny, h – rád harmonickej.

III. POPIS MERANIA

Meranie kvality elektriny na výstupe striedača COTEC S1500-124 (obrázok 1) bolo realizované pomocou analyzátora kvality elektriny triedy A – ENA330 (obrázok 2). Zjednodušená schéma zapojenia batérie, striedača, záťaže a analyzátora kvality elektriny je zobrazená na obrázku 3. Analyzátor kvality elektriny bol nastavený na meranie údajov so vzorkovacou frekvenciou 9 600 vzoriek/s a zberom dát s intervalom 200 ms. Celková dĺžka merania bola cca 10 minút. Počas času tejto doby boli postupne merané štyri prevádzkové stavy:

- striedač COTEC S1500-124 bez zaťaženia,
- striedač COTEC S1500-124 zaťažený žiarovkou s menovitým výkonom 150 W (cca 4 minúty),

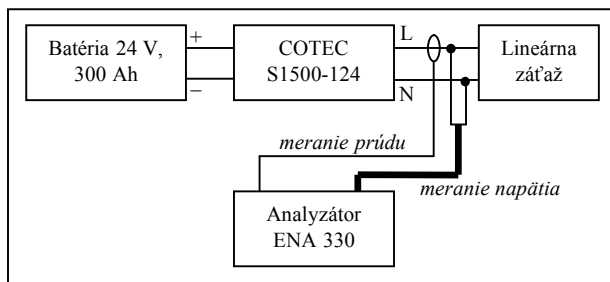
- striedač COTEC S1500-124 zaťažený ohrievačom s príkonom 1 160 W (cca 4 minúty),
- striedač COTEC S1500-124 preťažený ohrievačom s príkonom 1 850 W (cca 30 s).



Obrázok 1. Striedač COTEC S1500 – Pure Sine Wave Inverters



Obrázok 2. Analyzátor kvality elektriny – ENA330



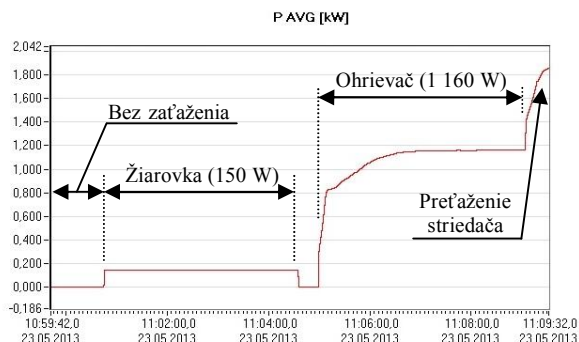
Obrázok 3. Zjednodušená schéma zapojenia batérie, striedača, záťaže a analyzátoru kvality elektriny

IV. VYHODNOTENIE NAMERANÝCH VELIČÍN

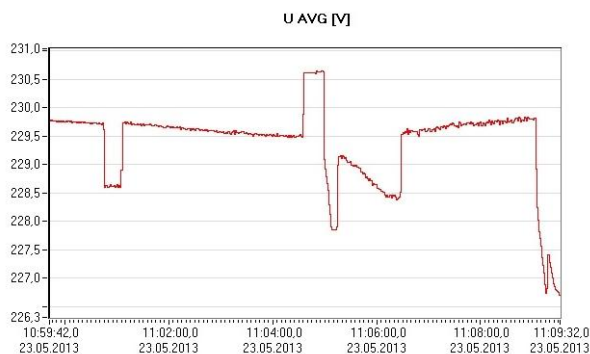
Ako bolo uvedené v predchádzajúcej kapitole, počas merania ukazovateľov kvality elektriny na výstupe striedača COTEC S1500-124 bola realizovaná postupná zmena zaťaženia. Na obrázku 4 je uvedený priebeh celkového činného výkonu odoberaného za striedača počas celej doby merania s vyznačením štyroch špecifických oblastí zaťaženia. V prípade štvrtej časti, v rámci ktorej bol striedač preťažený (menovitý výkon striedača bol 1 500 W), bola doba prevádzky ovplyvnená dobou ochrany proti preťaženiu striedača, ktorá vypla striedač do 30 s od vzniku preťaženia. Priebeh efektívnej hodnoty napätia počas celej doby merania je zobrazený na obrázku 5. Ako je vidieť efektívna hodnota napätia sa na výstupe striedača pohybovala na úrovni menovitej hodnoty a to aj v prípade náhlych zmien zaťaženia. Efektívna hodnota napätia počas celej doby merania (ani počas preťaženia) neklesla pod hodnotu 98,5 % menovitej hodnoty (230 V).

Na obrázku 6 je zobrazený priebeh frekvencie počas celej doby merania. V tomto prípade je potrebné zdôrazniť, že meranie prebiehalo v rámci ostrovnej prevádzky batéria–striedač–lineárna záťaž s relatívne veľkým zmenami zaťaženia. Ako je vidieť z priebehov efektívnej hodnoty napätia a frekvencie ani náhla zmena zaťaženia z 0 % na 80 % menovitého výkonu nespôsobil výraznejší pokles napätia či

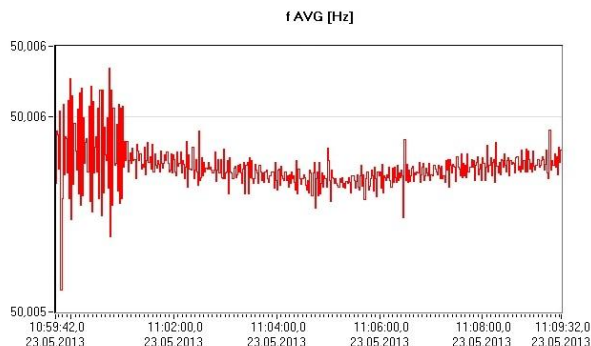
zmenu frekvencie. Z tohto pohľadu je možné striedač COTEC S1500-124 (napájaný 300 Ah batériou) považovať za pomerne tvrdý zdroj.



Obrázok 4. Priebeh celkového činného výkonu počas merania



Obrázok 5. Priebeh efektívnej hodnoty celkového napätia počas merania

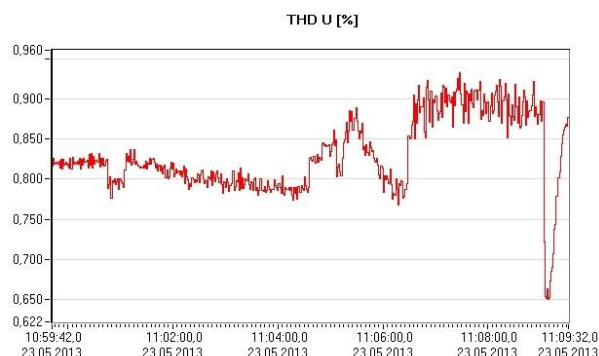


Obrázok 6. Priebeh frekvencie počas merania

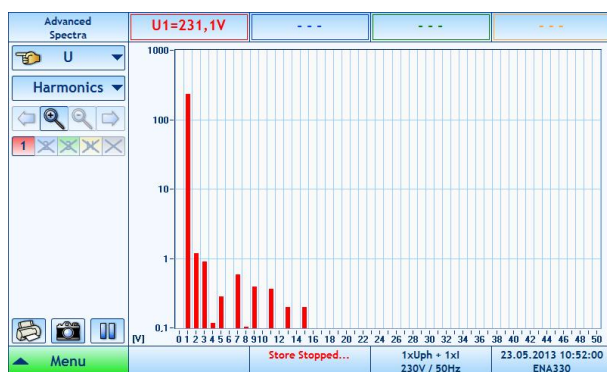
Na obrázku 7 je zobrazený priebeh celkového harmonického skreslenia napätia (THD_U) počas celej doby merania. Keďže zo striedača COTEC S1500-124 bola počas merania napájaná iba lineárna záťaž, je možné považovať namerané hodnoty koeficientu celkového harmonického skreslenia napätia za hodnoty charakterizujúce deformáciu napätia generovanú striedačom COTEC S1500-124. Výrobca deklaruje hodnotu koeficientu $THD_U < 3\%$. V prípade napájania lineárnej záťaže bola nameraná hodnota koeficientu THD_U menej ako 1 % bez ohľadu na veľkosť zaťaženia.

Harmonické spektrum napätia vo voltoch pre stav striedača bez zaťaženia, stav so zaťažením striedača žiarovkou s menovitým výkonom 150 W a pre stav so zaťažením striedača ohrievačom s príkonom 1 160 W je zobrazené na obrázkoch 8 až 10. Tieto harmonické spektrá predstavujú

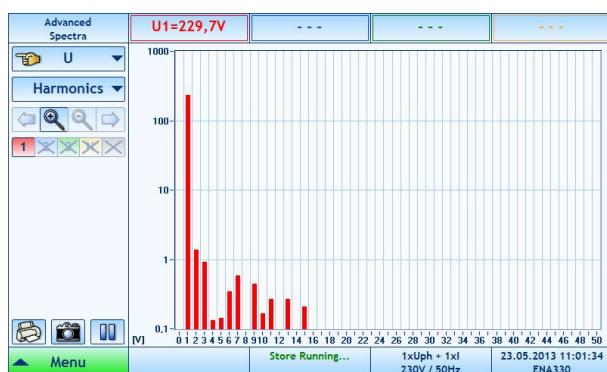
okamžité úrovne harmonických v napätí počas merania jednotlivých stavov. Z jednotlivých obrázkov je vidieť s rádom klesajúcu veľkosť efektívnych hodnôt jednotlivých harmonických, pričom v prípade stavu naprázdno a zaťaženia 150 W žiarovkou sa harmonické v napätí rádov vyšších ako 15 prakticky nevyskytujú. Harmonické spektrum v oboch týchto prípadoch je veľmi podobné (rovnako, ako aj veľkosť THD_U). Rozdiel je vidieť najmä v zastúpení harmonických rádu 6 a 10 v prípade napájania žiarovky, kým v prípade stavu naprázdno sa tieto harmonické v napätí nevyskytovali.



Obrázok 7. Priebeh celkového harmonického skreslenia napätia (THD_U) počas merania

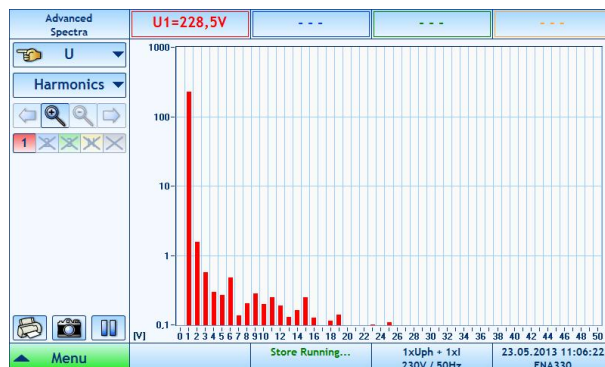


Obrázok 8. Harmonické spektrum napätia na výstupe striedača v stave naprázdno



Obrázok 9. Harmonické spektrum napätia na výstupe striedača napájajúceho žiarovku s menovitým výkonom 150 W

Na druhej strane, po pripojení 150 W žiarovky na výstup striedača došlo k zníženiu úrovne 5. harmonickkej v napätí. V prípade harmonického spektra napätia na výstupe striedača napájajúceho ohrievač s príkonom 1 160 W (obrázok 10) je vidieť zastúpenie každej harmonickkej do rádu 16, hoci ich efektívne hodnoty sú pomerne nízke.



Obrázok 10. Harmonické spektrum napätia na výstupe striedača napájajúceho ohrievač s príkonom 1 160 W

V. ZÁVER

Meranie harmonického skreslenia napätia na výstupe striedača COTEC S1500-124 v stave naprázdno, napájajúceho lineárnu záťaž o menovitom výkone 150 W, lineárnu záťaž s príkonom 1 160 W ako aj lineárnu záťaž s príkonom viac ako 1 500 W preukázalo dodržanie výrobcom deklarovanej úrovne koeficientu harmonického skreslenia napätia na výstupe striedača do 3 %. V žiadnom z meraných stavov hodnota THD_U nepresiahla 1 %. Aj napriek krátkemu meraniu so zápisom údajov každých 200 ms je na základe výsledkov merania možné konštatovať, že v prípade napájania lineárnej záťaže boli ukazovatele kvality elektriny: efektívna hodnota, THD_U , ako aj frekvencia na svorkách striedača COTEC S1500-124 v rámci limitov predpisovaných normami [1], resp. [2] s dostatočnou rezervou.

POĎAKOVANIE

Tento príspevok vznikol vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj pre projekt: Centrum výskumu účinnosti integrácie kombinovaných systémov obnoviteľných zdrojov energií, s kódom ITMS: 26220220064, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.



Podporujeme výskumné aktivity na Slovensku/Projekt je spolufinancovaný zo zdrojov EÚ.

REFERENCIE

- [1] STN EN 61000-2-2, „Elektromagnetická kompatibilita (EMC), Časť 2-2: Prostredie, Kompatibilitné úrovne nízkofrekvenčných rušení šírených vedením a signalizácie vo ferejných rozvodných sieťach nízkeho napätia“, Február 2004
- [2] STN EN 50160, „Charakteristiky napätia elektrickej energie dodávanej z verejnej distribučnej siete“, Február 2011
- [3] Dugan, R., C., McGranaghan, M., F., Santoso, S., Beaty, H., W., „Electrical Power Systems quality“, second edition, 2003, McGraw-Hill, ISBN 0-07-138622-X

Komunikačné zbernice a protokoly pre fotovoltické systémy

Ing. Stanislav Ilenin, PhD.
Katedra elektroenergetiky
FEI TUKE
Košice
stanislav.ilenin@tuke.sk

Ing. Martin Chovanec, PhD.
Ústav výpočtovej techniky
Rektorát TUKE
Košice
martin.chovanec@tuke.sk

Abstrakt — Predkladaný príspevok sa zaoberá priemyselnými zbernicami a komunikačnými protokolmi využiteľnými v oblasti fotovoltiky. Ovládanie a riadenie fotovoltických panelov a ich komponentov môže byť realizované prostredníctvom počítačov a PLC automatov. Vzájomná spolupráca a komunikácia medzi nimi môže byť vykonaná po zberniciach pomocou komunikačných protokolov.

Kľúčové slová: komunikačná zbernica, komunikačný protokol, fotovoltika, PLC

Abstract — The present paper deals with a fieldbuses and communication protocols used in photovoltaic systems. Control and management of photovoltaic panels and their components may be implemented by computer and PLC controllers. Mutual cooperation and communication between them can be made by the bus of communication protocols. (Fieldbuses and protocols of photovoltaic systems).

Keywords: fieldbus, communication protocol, photovoltaic technology, PLC

I. ÚVOD

Zvyšovanie technickej vybavenosti zariadení pre priemyselnú sféru a teda aj v oblasti fotovoltiky a nároky na prehľad situácie v reálnom čase prináša do procesu čoraz viac objektov. Je potrebné zbierať dáta od najnižšej úrovne ako sú rôzne senzory, následne ich viesť, vyhodnotiť a v prípade potreby ovplyvniť a zobrazit'. Bez príslušných zberníc a ich protokolov by spracovanie informácií nebolo jednoduché ani príjemné. Samotných zberníc vo svete používaných v priemysle je niekoľko desiatok a ich výskyt je často ovplyvnený sférou kde sú aplikované, a určitú rolu tu hrá aj geografická poloha.

II. ANALÝZA KOMUNIKAČNÝCH ZBERNÍC

Rôzne elektrické zariadenia sa podieľajú na funkcii fotovoltických systémov, ktoré slúžia na výrobu elektrickej energie dodávanej do elektrizačnej sústavy alebo pre lokálnu spotrebu. Aby tieto ciele mohli byť napĺňané, potrebujú tieto zariadenia medzi sebou komunikovať. Predmetom komunikácie môžu byť jednoduché informácie o stave vstupu, výstupu, ale tiež rôzne procesné dáta, posielané alebo prijímané v rámci topológie alebo hierarchie riadenia daného procesu.

V súčasnosti je často potrebné mať možnosť priameho prístupu na konkrétnu jednotku. Dôvodom môže byť ovplyvnenie procesu, alebo diagnostika systému či iný zásah.

Samotné zbernice v závislosti od komfortu a stupňa vyspelosti disponujú vrstvami, na ktorých fungovaní sa už podieľajú aj samotné protokoly.

Fyzická vrstva - samotná kabeláž zbernice, typ a druh pripojenia, počet členov, médiá.

Linková vrstva - riadi prístup na zbernicu, má na starosti komunikáciu medzi zariadeniami.

Aplikačná vrstva - realizuje prenos veličín a ich správu, prekladá požiadavky z vyššej užívateľskej vrstvy do linkovej, slúži na parametrizáciu a diagnostiku zariadenia.

Užívateľská vrstva - má na starosti zber údajov a riadiace funkcie zariadení pripojených na zbernicu, môže obsahovať opis zariadení a spôsoby komunikácie s rôznymi snímačmi, pohonmi a pod.

Systémový a sieťový management - poskytuje metódy pre konfiguráciu zbernice a zotavenie sa z porúch, má na starosti monitorovanie a riadenie jednotlivých častí zbernice.

Z tohto modelu je vidieť, že samotná zbernica ako fyzická vrstva je sama o sebe života schopná, a v závislosti na požiadavkách a nárokoch, aké sú na danú zbernicu kladené potrebuje disponovať príslušným protokolom - softwarovými pravidlami pre tento účel [1].

S nárastom automatizácie sa postupne uvádzali do praxe zariadenia s rôznymi komunikačnými protokolmi, jeden z najstarších systémov je prúdová linka TTY.

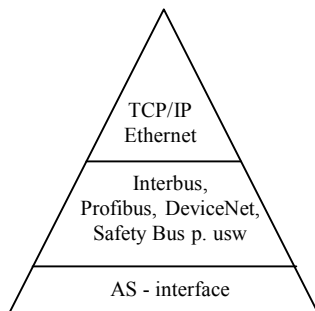
Ďalším v poradí je protokol RS 232C, (V.24) nazývaný sériová linka. Tu už došlo k dohode a zjednoteniu pravidiel a štandardov, aby bola plne zabezpečená kompatibilita prenosu dát a pripojení. Rozvoj elektroniky a požiadaviek priemyslu viedol k rozvoju smerom k protokolom RS 422 a RS 485, pričom väčšie uplatnenie dodnes nachádza rozhranie RS 485 s protokolmi MPI a Profibus.

Pre komunikáciu a zber údajov na najnižšej úrovni (senzory a akčné členy) postupne zaviedli výrobcovia zbernice spĺňajúce požiadavky pre tento účel, s vysokým stupňom iskrovej a požiarnej bezpečnosti, vysoko odolné chemickým a poveternostným vplyvom, určené pre nasadenie v priemysle. Sem patrí zbernica ASi, používaná ako najnižšia úroveň hierarchie zberníc (Obrázok 1).

Zbernice všeobecne zaviedli výrobcovia z dôvodu úspory kabeláže pre pripojenie jednotlivých snímačov alebo akčných členov.

Vývojovo ďalšími typmi sú zbernice CAN, ktoré vyvinula firma Bosch. Na ich báze funguje CANopen protokol. Na báze zbernice CAN vznikol vo firme Allen Bradley (v súčasnosti Rockwell Automation) ako americký ekvivalent pre oblasť automatizácie výroby protokol DeviceNet. Tieto protokoly sú navrhnuté pre využívanie zberníc CAN aj Ethernet/IP. V tom istom čase (80-90te roky) sa spojilo 21 spoločností v Nemecku k vývoju komunikačnej zbernice Profibus a k vytvoreniu štandardu pre rozhranie prevádzkových prístrojov a zariadení pre všetky oblasti automatizácie priemyslu. V súčasnosti je tento základom pre modernejší typ PROFINET.

Zbernica Profibus predstavuje silný nástroj pre automatizáciu v priemysle vďaka silnému zázemiu. Svojou vysokou kompatibilitou, podporou rôznych výrobcov, bezpečnosťou a spoľahlivosťou si získala značnú popularitu, a nasadenie v rôznych aplikáciách, pružne ju možno rozšíriť a obmieňať zostavu systému.



Obrázok 1. Hierarchia komunikačných zberníc

Na vrchole rebríčka je protokol Ethernet, presnejšie priemyselný Ethernet, ktorý je zas vyššou úrovňou DeviceNetu, využívajúci zbernicu klasického Ethernetu. Prenosové médiá už môžu byť aj optické káble a vysokofrekvenčný signál, čo nižšie úrovne ešte neumožňujú. Výnimkou je Profibus, pri ktorom je možnosť členy na zbernici prepojiť aj bezdrôtovo, prostredníctvom WiFi. Pokiaľ nie je rozšírenie na Profinet, aspoň jedno z CPU musí túto funkciu podporovať.

Združenie užívateľov, výrobcov a vývojárov Profibus vyvinulo pre bezpečné mechanizmy strojov sieť Profisafe, a pre vyššiu komunikačnú úroveň Profinet. Tento je realizovaný v dvoch úrovniach, Profinet IO, ktorý nahrádza zbernicu Profibus a Profinet CBA ktorý má prepájať technologické bloky. Profinet umožňuje integráciu zariadení so zbernicami Profibus, aj Interbus prostredníctvom proxy zariadení. Zbernica Interbus je sériová, vyvinutá firmou Phoenix contact, slúži na prenos a zber dát medzi riadiacim prvkom ako PC, PLC a ich perifériami, senzorovými rozvádzačmi pre maximálne 256 členov. Firma Eaton neponúka modul umožňujúci pripojenie relé easy a Interbus.

III. ZBERNICE, PROTOKOLY A TECHNICKÉ PODMIENKY

A. TTY prúdová linka

Pri tomto protokole si každý výrobca určoval pripojovacie podmienky individuálne to znamená že nebolo možné použiť jeden prepájací kábel pre PC a systém univerzálne, keďže zapojenie pinov nebolo unifikované. Tu sa jedná väčšinou o PLC systémy, spojenie je potrebné za účelom programovania, diagnostiky, zberu dát a pripojenie ovládacieho panelu.

Prúdová linka je ešte používaná aj v súčasnosti, jej obľúbenosť spočíva v bezpečnom rozpoznaní prerušeného spojenia pri správnom nastavení parametrov linky, a to

konkrétne na $-4\text{mA}; +20\text{mA}$. Tu však treba dávať pozor, aby nedošlo k omylu medzi dátovou linkou TTY s prúdovou linkou pre regulačné a meracie obvody. Modul, ktorý spracováva signál prúdovej linky pre meranie a reguláciu je analógový, príslušne označený, čím by nemalo dôjsť k zámene. Počet členov súčasne na zbernici: dvaja účastníci, pričom linka sa neparametrizuje

B. Sériová linka, protokol RS 232C

Stále používaná pri prenose dát na kratšie vzdialenosti. Táto linka spoľahlivo pracuje maximálne do vzdialenosti 15 m, avšak už s obmedzenými prenosovými rýchlosťami. Optimálne výsledky možno očakávať do hranice 5 m. V praxi sa tento protokol ešte dosť často využíva, najmä u skrutkovacích jednotiek od firmy Bosch, u skenerov čiarových a Gray kódov, pre pripojenie ovládacieho panelu, na prenos procesných informácií väčšinou do CPU PLC na ďalšie vyhodnotenie a spracovanie. Okrem získavania procesných dát z technologickej zostavy je používaný tiež ku programovaniu a diagnostike konštrukčných skupín, ako už spomenutých servo elektrických a ručných doťahovačiek momentu Bosch, pohonových jednotiek Simodrive, dávkovačov olejového filmu, relé Easy všetky modelové rady, ovládacie panely a podobne.

Pre správnu činnosť je potrebné mať nastavené prenosové a komunikačné parametre rovnako u oboch účastníkov prenosu. Jedná sa hlavne o počet dátových bitov (7, 8), počet stop bitov (1, 2), typ parity (párna, nepárna, žiadna) riadenie (HW, SW,) a rýchlosť. V prípade nesúladu komunikácia zlyháva, prenos dát nie je úspešný. Výnimkou je parameter rýchlosti prenosu, tá sa automaticky upravuje podľa možnosti najpomalšieho zariadenia. Ojedinele sa stáva, že program ako aplikácia DOS spustená na prostredí Windows XP nie je schopný akceptovať nastavenú prenosovú rýchlosť vyššiu ako 2400 Bd, je teda nutné zmeniť a prispôsobiť nastavenie [2].

V prípade požiadavky spojenia s ovládacími panelmi, je dôležité na konkrétnom ovládacom paneli správne nastaviť komunikačný port a protokol, a tiež prepnúť samotný panel v servisnom menu do režimu „Transfer“. Inak v lepšom prípade komunikácia neprebehne, v tom horšom dôjde k poškodeniu dát v ovládacom paneli. Počet členov na zbernici: dvaja, odporúča sa skontrolovať nastavenie.

C. ASi zbernica (actor - senzor - interface)

Tento typ zbernice je určený na prenos binárnych údajov z a do vysunutej jednotky.

Výhodou tejto zbernice je jej prepájací systém. Používa sa plochý dvojžilový kábel, charakteristický farbou (žltá) a tvarom profilu, ktorý je zámerne navrhnutý kvôli spájaniu samozarezávacími konektormi na senzorových rozvádzačoch.

Pri kratších vzdialenostiach, a nenáročnom zapojení (len vstupné obvody, senzory) postačuje signálový kábel aj pre napájanie spotreby týchto senzorov. V prípade použitia kombinovaného modulu vstupy/výstupy, kde záťažou môžu byť cievky elektromagnetických ventilov, brzdy, spojky, je potrebné použiť ďalší zdroj napätia 24 V DC. Veľkou výhodou týchto zberníc je možnosť pridávať nové jednotky za plnej prevádzky. Princíp výmeny dát je master slave, kde master vyzýva ostatné členy ku prenosu dát. Každý člen na zbernici má priradenú adresu. Túto adresu je možné meniť a zadávať špeciálnym programovacím zariadením, adresovacím prístrojom, ktorý sa pripája miniatúrnym jack konektorom.

Moduly sú vybavené samodiagnostikou, v prípade poruchy svieti LED fault na červeno. Zelené LED signalizujú stav zbernice a prídavného napájania.

Štandardne je dosah zbernice 100 m, pri väčších vzdialenostiach je potrebné použiť posilňovač zbernice, Repeater.

Pre diagnostiku v samotnom PLC prostredí je vhodné poznať rozsah adries od ASi, ako aj adresné miesto v programe PLC kde ich spracúva. Väčšinou sa jedná o načítanie alebo zápis po dvojslovách, teda 32 bitov, podľa konkrétnej aplikácie. Chybný modul alebo poruchu na zbernici je možné zistiť pomocou stavových LED, avšak v prípade čiastočnej poruchy modulu (chybné vstupy, výstupy v poriadku a naopak) sa bez tejto znalosti čítania v PLC nie je možné zaoberať.

Jedná sa o spoľahlivú zbernicu, odolnú štandardným podmienkam v ľahkom priemysle. ASi zbernica nie je vhodná do podmienok s vysokým rušením, ani do prostredia s nebezpečenstvom výbuchu. Tiež sa neodporúča pre aplikácie vyžadujúce krátke časy komunikačného cyklu (do 1ms). Dosahovaná prenosová rýchlosť je 167 kbps. Počet účastníkov na zbernici je maximálne 31. Zbernica sa neparametrizuje, okrem nastavenia adries.

Spektrum produktov EASY, EASY Titan od firmy EATON je možné pridať do existujúcej siete ASi zbernice pomocou modulu EASY 205-ASi. Modul sa pripája ku základni relé EASY pomocou prepojovacej zbernice easyLINK, ktorá je súčasťou dodávky samotného ASi modulu. Potrebne je určiť mu adresu, v rozsahu 0-31, pričom adresa 0 sa nezadáva, štandardne ju má pridelenú Master. Nastavením adresy, spojením so základňou, pripojením zbernice easyLINK je zostava pripravená. Na zariadení Master je potrebné spraviť náležité zmeny v programe, aby sa ním mohli načítavať vstupy a pristupovať na výstupy relé EASY po zbernici. Prenos dát je potom v plnej réži Master [3].

D. CANopen protokol

Hlavnou myšlienkou a požiadavkou pri vývoji zbernice CAN ako priemyselnej komunikačnej zbernice bol okamžitý prístup na zbernicu bez zbytočných prestojov, v závislosti na dôležitosti prenášaných údajov. Pri zvýšenej prevádzke na zbernici, t.j. rôzne objemy dát je u tejto zbernice možné zabezpečiť nízke čakacie doby [4].

Ako je už zvykom, že na zberniciach je väčšinou hierarchia ako Master Slave, aktívne a pasívne členy, tak aj u CAN zariadení sú aktívne a pasívne členy a nazývajú sa uzly.

Pôvodne malo byť použitie zbernic CAN v prostrediach s vysokým stupňom rušenia, kvôli tomu vývojári protokolu prepracovali systém ošetrovania chýb pri prenose. Podarilo sa im dosiahnuť toho, že pravdepodobnosť neodhalenia lokálnej chyby je 10^{-11} . Protokol dokáže eliminovať a opraviť chyby spôsobené elektromagnetickým rušením. Ako zbernicový vodič sa používa krútená dvojlinka, v súčasnosti možno použiť aj optické káble. Dátové vodiče môžu byť použité aj ako napájacie, tienenie linky je nepovinné. Prenosové schopnosti linky sú 1 Mbit.s⁻¹ pri dĺžke zbernice do 25 m, v závislosti na priereze vodičov, vplyv na spoľahlivosť prenosu informácií má aj počet účastníkov, uzlov na zbernici.

Princíp komunikácie je u tohto protokolu založený na prioritnom systéme správ, nie na adresovaní. Odborne sa to nazýva arbitrážny nedeštruktívny prístup na zbernicu CANopen. Každý uzol siete však musí mať pridelenú adresu, kvôli identifikácii.

Vysielač posiela správu všetkým uzlom zbernice. Obsahom správy je tzv. Identifikátor, ktorý rozhoduje o prioritě správy. Každý uzol sa rozhodne, či na základe identifikátora správu prijme a spracuje alebo nie.

E. Zbernica RS 485, protokoly MPI a DP

Zbernica RS 485 neobsahuje pomocné signály ako linka RS 232 pre riadenie komunikácie, preto je riadenie toku dát ošetrené použitím komunikačného protokolu [5].

Táto linka RS 485 je navrhnutá pre prenos na väčšie vzdialenosti (do 1600m), s galvanickým oddelením vstupov, je možné ju vetviť. Ako zbernica je použitá krútená dvojlinka, jednotlivé vodiče (A a B) sú buď v protifáze a prijímač vyhodnocuje ich napäťový rozdiel. Typický rozdiel medzi vodičmi je 2 V, aby prijímač mohol spoľahlivo diferenciálne pracovať, nesmie byť prekročený rozdiel napätí medzi zemou vysielača a zemou prijímača. Prípustný rozdiel napätí je do 7 V, inak dôjde k zahlteniu vstupov a komunikácia sa preruší.

Použitie krútenej tienenej dvojlinky umožňuje eliminovať problémy so zemnými slučkami, ktoré v priemysle spôsobujú problémy v komunikačných obvodoch.

Protokol MPI je vyvinutý na báze zbernice RS 485. Štandardne sa používa pre prenosové rýchlosti 187,5 kBd. Počet účastníkov na zbernici je max. 32, to znamená rozsah adries 0-31, kde opäť adresu 0 nezadáme, keďže je prioritne určená pre programovacie zariadenie PG. PG je výrobok firmy Siemens, ako bežný laptop, s integrovaným rozhraním RS 485 MPI/DP profibus, a kombinovaným sériovým portom s TTY linkou. Pokiaľ zariadenie PG nie je dostupné, existujú externé rozhrania ako PCMCIA karty, prípadne prevodníky RS 232/RS 485, USB/RS 485, Ethernet/RS 485.

Protokol Profibus DP pre štandardné aplikácie na rozhraní RS 485 dokáže prenášať dáta rýchlosťou až 12 Mbps. Pre obvody vyžadujúce iskrovú bezpečnosť je max. prenosová rýchlosť 1,5 Mbps. Pre obvody vyžadujúce nielen iskrovú bezpečnosť, ale aj napájanie cez signálne vodiče je rýchlosť do 31,25 kbps a kódovanie MBP. Najnovšie technológie dovoľujú spojenie optickými vláknami, pri zaručenej prenosovej rýchlosti 12 Mbps na vzdialenosti aj niekoľko km.

F. Priemyselný Ethernet

Lokálne počítačové siete (LAN) aplikované v priemyselných objektoch pre prepojenie užívateľských PC staníc so štandardom Ethernet neboli navrhnuté pre použitie v priemysle, nezohľadňujú potrebu prenášať údaje v reálnom čase. To znamená, že je veľká pravdepodobnosť vzniku kolíznych situácií na zbernici, a prenášané procesné dáta kvôli takýmto kolíziám a oneskoreniam môžu stratiť svoju aktuálnosť.

Priemyselný Ethernet musí spĺňať podmienky bez kolízneho a bezstratového prenosu aktuálnych procesných dát, v reálnom čase. Používa síce zbernicu LAN Ethernetu, má však implementované aj funkcie nadradených vrstiev, teda protokol ktorý sa vhodne postará o bezproblémový chod. Pripojenie zariadenia do siete v priemysle môže mať viac dôvodov, jedným z nich je diaľková diagnostika, monitorovanie, rôzne zmeny v konfigurácii, upgrade programov (SW, FW), alebo prenos technologických a procesných dát za účelom vyhodnotenia produkcie, stavu technológie (produkcia / výpadok), či vzájomná výmena dát pre riadenie technologických procesov. Jestvuje viac protokolov, ktoré fungujú na používaní siete Ethernet [4].

EtherNet/IP definovala firma Rockwell Automation. Zastrešuje zbernice ako Ethernet, ControlNet, DeviceNet. Umožňuje prenos vstupných, výstupných, diagnostických a konfiguračných údajov cez klasický Ethernet, s dĺžkou trvania prenosového cyklu 10 - 100 ms. Prenosové rýchlosti sú 10/100/1000 Mbps, s použitím tienených STP káblov, optických káblov, aj pri bezdrôtovom prenose. Prechod do inej

komunikačnej zbernice je možný cez brány ControlNet a DeviceNet.

PROFINet má za sebou silné zázemie a podporu združenia PNO Profibus. Tretia, najnovšia verzia V3 zabezpečuje prenos údajov v reálnom čase, pre svoju správnu činnosť však potrebuje špeciálne prepínače a komunikačné karty. Táto hardvérová podpora skracaie komunikačný cyklus na 1 ms, s možnosťou synchronizácie hodín komunikujúcich zariadení, prenosová rýchlosť je 10/100 Mbps.

IV. ZBER DÁT

Súčasnnosť je charakteristická vyžadovaním dátovej komunikácie v celom spektre výrobných a technologických procesov medzi sebou, zberom a spracovaním týchto dát v informačných systémoch vyššej úrovne, ich vizualizácia, zabezpečenie a archivácia.

Vzhľadom na rozmanitosť použitých priemyselných zberníc na technologickej vybavenosti sú využívané rôzne konvertory pre ich vzájomné prepojenie. Často používanou aplikáciou ku vizualizácii procesov je OPC server [6].

OPC server je komunikačný protokol, ktorého cieľom je vytvoriť jednotné komunikačné rozhranie medzi HW a SW produktmi priemyselnej automatizácie. V praxi to znamená, že môžeme zo zariadení od rôznych výrobcov ako Siemens, Mitsubishi, Rockwell, Eaton prenášať dáta do vizualizačných programov, a naopak, dáta aj zapisovať do prístrojov. Všetko to ošetruje komunikačný štandard, protokol OPC.

Prenos dát bez OPC - v centrálnom PC pre zber dát a komunikáciu so zariadením musí byť pre každé jedno zariadenie nainštalovaný príslušný ovládač za účelom možnosti komunikácie, čítania a zápisu dát. Tieto ovládače sú často závislé na verzii operačného systému v PC, čo prináša mnoho problémov s kompatibilitou, pružnosťou rozširovania a náhrady modelov. Taktiež pri väčšom počte zariadení od rôznych výrobcov dochádza ku rôznym konfliktom, čo zásadne ovplyvňuje komunikáciu.

Prenos dát prostredníctvom OPC - všetky tieto starosti a problémy odbúrava. Je to totiž jediné komunikačné rozhranie, využívajúce napríklad podnikovú sieť LAN. Do štruktúry OPC je možné neobmedzene a bezproblémovo pridávať ako zdroje dát, OPC servery, tak aj stanice pre spracovanie dát OPC klientov [7].

V. ZÁVER

Zbernice ASi sú na prvý pohľad rozpoznateľné svojím charakteristickým žltým plochým káblom. Začlenené relé easy do zbernice ASi nie je schopné plniť funkciu master, programové obmedzenia ho určujú ako slave zariadenie ktoré dokáže ďalej odovzdávať informáciu o stave vstupov resp. výstupov a odpovedať na požiadavky master zariadenia.

Náročnejšie zbernice ako profibus je vhodné mať zmapované priebežne, občas pri prehliadke zariadenia skontrolovať stav kabeľáže a konektorov. Problém môže nastať pri bezpečnom rozlíšení zbernice MPI a Profibus, keďže tieto používajú identický kábel. Zvyčajne na paneli prístroja býva označenie MPI, alebo DP.

Na účely profesionálneho merania parametrov priemyselných zberníc existuje viac typov meracích prístrojov. Podobne zariadenia s IP adresami je možné identifikovať pomocou príkazu ping, v príkazovom riadku PC.

Detekcia problému na zberniciach CANopen, alebo DeviceNet je dobre prepracovaná a zabezpečená protokolmi, ihneď oznamuje ktorý člen - uzol neodpovedá.

Pri programovateľnom relé Eaton rady MFD Titan je možné uvažovať s ich využitím ako u malých PLC, nakoľko disponujú 32 bit procesorom, a sú preto schopné zvládať úlohy a nároky kladené na PLC. Vďaka širokej škále modulov pre nasadenie do priemyselných zberníc a dostupnosti potrebných materiálov, dobrá zákaznícka podpora je možné tento produkt odporúčať pre ľubovoľné aplikácie [8].

Akokoľvek manipulácia s modulmi relé a inými zariadeniami počas pripájania a odpájania dátových káblov pre programovanie, alebo pripojenie do zberníc (okrem Ethernet) je odporúčaná vykonávať zásadne pri vypnutom stave aspoň jedného zo zariadení, kvôli riziku poškodenia elektrostatickou elektrinou. Zvlášť porty RS 232 a RS 485 sú citlivé na manipuláciu pod napätím.

POĎAKOVANIE

Tento príspevok vznikol vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj pre projekt: Centrum výskumu účinnosti integrácie kombinovaných systémov obnoviteľných zdrojov energií, s kódom ITMS: 26220220064, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.



Podporujeme výskumné aktivity na Slovensku/Projekt je spolufinancovaný zo zdrojov EÚ.

LITERATÚRA

- [1] Priemyselné komunikačné zbernice, [online], [citované 2013-06-28]. Dostupné na internete: <http://ap.urpi.fei.stuba.sk/pkom/html/download/kapitola_4.pdf>.
- [2] Siemens: Basics of fieldbus systems with SIMATIC S7-300. Training document for the company-wide automation solution Totally Integrated Automation (TIA), [online], [citované 2013-06-26]. Dostupné na internete: <<http://www.siemens.com>>.
- [3] Manuál [online], [citované 2012-05-14]. Dostupné na internete: <ftp://ftp.moeller.net/DOCUMENTATION/AWA_INSTRUCTIONS/Vyber_1858106d.pdf> pre ASi 205>.
- [4] Priemyselný ethernet, [online], [citované 2013-06-28]. Dostupné na internete: <http://ap.urpi.fei.stuba.sk/pkom/html/download/kapitola_6.pdf>.
- [5] Profibus-sk, [online], [citované 2013-06-28]. Dostupné na internete: <<http://profibus.urpi.fei.stuba.sk/>>.
- [6] FOXON, [online], [citované 2013-06-26]. Dostupné na internete: <<http://www.foxon.cz/opc-server-opc-klient-c-72.html?zenid=a7511c445d54b0520da9d8564475e452>>.
- [7] POLICIAN, Gabriel: Programovateľné relé (a ich komponenty) rôznych výrobcov, konfigurácia a návrh priemyselnej zbernice: Diplomová práca, Košice, 2010
- [8] Manuál, [online], [citované 2012-04-10]. Dostupné na internete: <ftp://ftp.moeller.net/DOCUMENTATION/AWB_MANUALS/h1490d.pdf>.

Analýza prechodných javov pripojenia obnoviteľných zdrojov využitím nástrojov EMTP ATP a Matlab/SimPowerSystem

Dušan Medved'

Katedra elektroenergetiky FEI TU v Košiciach
Mäsiarska 74
041 20 Košice, Slovenská republika
Dusan.Medved@tuke.sk

Martin Chovanec

Ústav výpočtovej techniky
Boženy Němcovej 3
042 00 Košice, Slovenská republika
Martin.Chovanec@tuke.sk

Abstrakt — Tento príspevok za venuje využitiu nástrojov EMTP ATP a Matlab/SimPowerSystem pri pripojení obnoviteľných zdrojov energie (OZE) do elektrizačnej sústavy. Pripojenie OZE do elektrizačnej sústavy prináša so sebou mnohé nepredikovateľné deje, ktoré môžu ovplyvniť okolité zariadenia na nn, ale aj vn úrovni. Správne zostavený model elektrickej siete napomáha stanoviť, ako sa bude správať nové zariadenie pri ustálenom, ako aj pri prechodnom stave. Pre porovnanie výsledkov prechodných dejov boli zvolené dve softvérové prostredia – EMTP ATP a Matlab/ SimPowerSystem.

Kľúčové slová: elektrizačná sústava; počítačové modelovanie; EMTP ATP; decentralizované zdroje; SimPowerSystem

Abstract — This paper deals with the tools ATP EMTP and Matlab SimPowerSystem for connecting renewable energy sources (RES) in the power system. Connecting renewable energy to the power system brings many unpredictable phenomena which may affect the surrounding equipments on low voltage, but also on high voltage level. Properly assembled model of power system can solve the transient and steady state of connection of the new RES. To compare the results of transients there were selected two software environments – ATP EMTP and Matlab/SimPowerSystem.

Keywords: power system, computer modelling, EMTP ATP, decentralized sources, SimPowerSystem

I. ÚVOD

A. Problémy opätovného pripojenia decentralizovaných energetických zdrojov energie do elektrizačnej sústavy

Problémy pripojenia veterných elektrární:

- konvenčné zdroje musia byť v stave pohotovosti a pripravené, v prípade náhlej zmeny vetra;
- závislosť od aktuálnej meteorologickej situácie;
- relatívne malý výkon na jednu veternú elektráreň;
- nie sú schopné prevádzky v prípade, ak rýchlosť vetra je nad $30 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ alebo pod $3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

Problémy pripojenia slnečných elektrární:

- konvenčné zdroje musia byť v stave pohotovosti a pripravené, v prípade výpadku slnečnej elektrárne;
- problémy s premenlivým denným svetlom v rôznych ročných obdobiach (v decembri je 7-krát menší ako v júli);
- značný rozdiel medzi dňom a nocou.

Problémy pripojenia vodných elektrární:

- generujú elektrinu len v prípade, že je dostatok vody pre daný typ vodnej elektrárne.

B. EMTP ATP (Electromagnetic Transient Program)

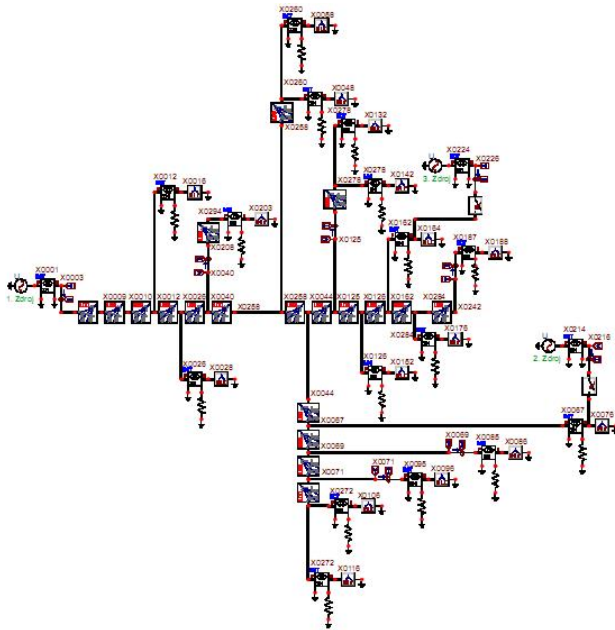
- všeobecne, je možné v tomto programe modelovať elektrickú sieť s 250 uzlami, 300 lineárnymi/nelineárnymi prvkami, 40 prepínačmi, 50 zdrojmi, ...
- obvody môžu byť zostavené z rôznych elektrických prvkov elektrizačnej sústavy, ako napr.:
 - prvky so sústredenými parametrami R, L, C ;
 - prvky so vzájomnými väzbami (transformátory, prenosové vedenia, ...);
 - viacfázové prenosové vedenia so sústredenými alebo rozloženými parametrami, ktoré môžu byť frekvenčne závislé;
 - nelineárne prvky R, L, C ;
 - prepínače s nastavením rôznych spínacích podmienok, ktorými je možné simulovať ochranné prvky, iskrištia, diódy, tyristory a iné zmeny v usporiadaní siete;
 - napäťové a prúdové zdroje o rôznych frekvenciách. Taktiež je možné definovať zdroje ako časovo závislé a dané rôznymi matematickými funkciami;
 - model trojfázového synchronného stroja s rotorom, budiacim vinutím, tlmiacim vinutím;
 - modely univerzálneho motora pre simulovanie trojfázového indukčného motora, jednofázového striedavého a jednosmerného motora;
 - radiace a snímacie prvky.

II. VÝBER VHODNEJ ČASTI ELEKTRIZAČNEJ SÚSTAVY PRE MODELOVANIE PRIPOJOVANIA DECENTRALIZOVANÝCH ZDROJOV ENERGIE

Pre určenie elektrických strát pri pripojovaní zdrojov energie bola vybraná časť lúčovej siete na východnom Slovensku. Sústava je na napäťovej úrovni 22 kV a je napájaná zo 110 kV uzla cez transformátor. V programe EMTP ATP bola namodelovaná časť tejto sústavy.

Parametre elektrizačnej sústavy

Vstupné parametre zariadení boli vložené podľa získaných údajov (dĺžka, priemer, materiál vedení, parametre transformátorov, atď.). Jednotlivé záťaže boli nastavené v závislosti od aktuálneho zapojenia zariadení záťaží.

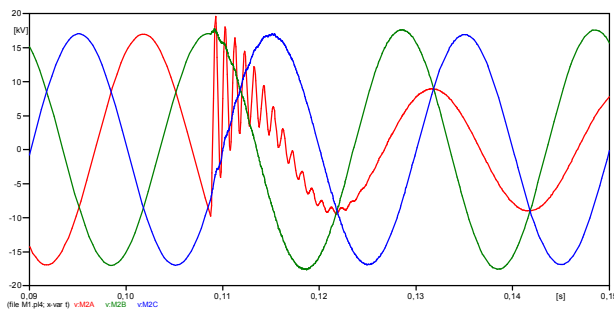


Tabuľka II. Dvojfázový skrat – namerané údaje

Miesto merania	Miesto M1	Ustálený stav	Prepätie pri vypnutí skratu	Prúd pri vzniku skratu
	Vzájomná vzdialenosť [km]	U [V]	U [V]	i_p [A]
M1	0	17309	86268	3122,3
M2	4,110	16969	71133	197,08
M3	8,121	16701	69032	36,822

Miesto merania	Miesto M1	Ustálený stav	Prepätie pri vypnutí skratu	Prúd pri vzniku skratu
	Vzájomná vzdialenosť [km]	U [V]	U [V]	i_p [A]
M1	- 4,110	17309	167630	2536,6
M2	0	16969	178690	2697,5
M3	4,011	16701	163660	36,975

Miesto merania	Miesto M1	Ustálený stav	Prepätie pri vypnutí skratu	Prúd pri vzniku skratu
	Vzájomná vzdialenosť [km]	U [V]	U [V]	i_p [A]
M1	7,466	17309	69409	1881,2
M2	4,011	16969	67746	1854
M3	0	16701	98249	1938



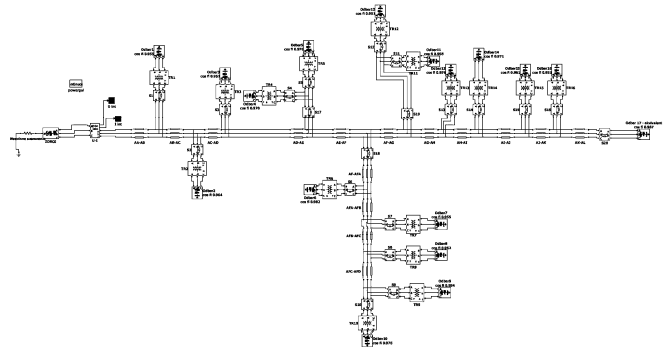
Obr. 5. Priebeh napätia počas prerušenia fázy v mieste M1, merané v mieste M2 (pozri Obr. 3)

IV. POROVNANIE ALGORITMU SIMULÁCIE V PROSTREDÍ MATLAB/SIMPOWERSYSTEM

Podľa schémy v EMTP ATP na Obr. 3. bol vytvorený model siete v prostredí Matlab/SimPowerSystem (Obr. 6).

Na Obr. 6 je znázornený model ES, jedná sa o neúčinne uzemnenú sieť. V schéme sú umiestnené jednotlivé odbočky, resp. odbery. Daný úsek (sekcia) má dĺžku v hlavnej línii AA-AL 8121 m. Sekcie majú svoje hlavné spínače, ktoré sú

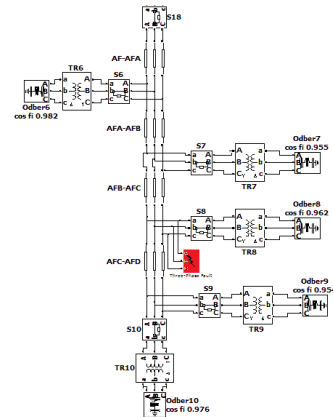
označené S17-S20. Tieto spínače, v prípade potreby opravy alebo revízie na odbočke, odpoja celú sekciu od prívodu napätia. Transformátory transformujú napätie z 22000 V na 420 V. Hodnoty potrebných veličín, zadané v nastaveniach príslušných modelov prvkov, boli zadané na základe dostupných technických parametrov.



Obr. 6. Schéma vybraného úseku ES v prostredí Matlab/SimPowerSystems

V. TROJFÁZOVÝ SKRAT NA VEDENÍ

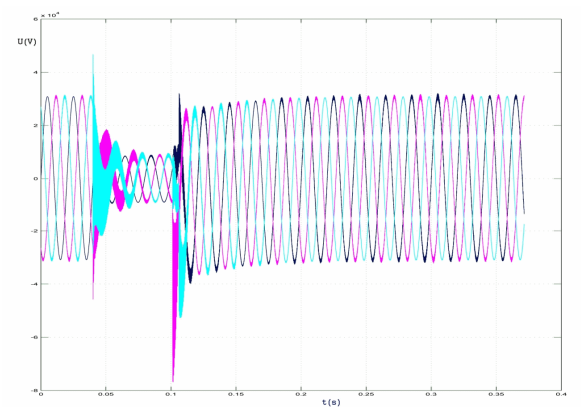
Pri tomto type poruchy dochádza ku kovovému spojeniu všetkých troch fáz. Na Obr. 7 je znázornená časť siete, v ktorej došlo k 3-f skratu. V tomto prípade odber č. 17 je odpojený. Trojfázový skrat nastal pred spínačom odberu č. 8 v čase $t_1 = 0,04$ s a porucha bola odstránená v čase $t_2 = 0,1$ s.



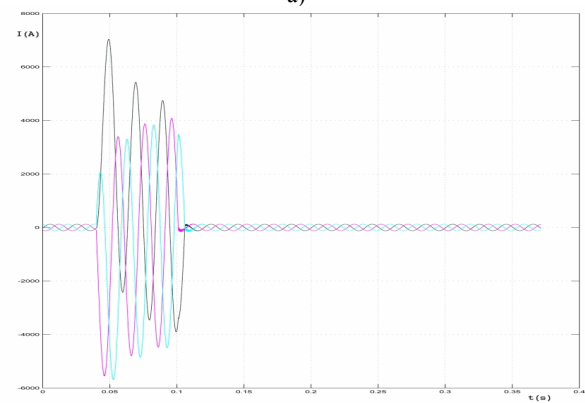
Obr. 7. Časť ES so zvýraznením miesta poruchy (3-f skrat)

Ako je vidieť z výsledného priebehu na Obr. 8a, k prepätiu dochádza vo všetkých troch fázach. Pri vzniku skratu, vo fáze L3, je možné odčítať v čase $t_{k1} = 0,0401$ s veľkosť prepätia na úrovni $U_{3k,max} = 32996$ V. Pri odstránení poruchy (v čase 0,1 s) dôjde následne k opätovnému vzniku prepätia s najvyššou hodnotou vo fáze L2 na úrovni $U_{2k,max} = 54327$ V (v čase $t_{k2} = 0,1017$ s), v zápornej polperióde. Pre eliminovanie prepätí a rázových (impulzných) prúdov sa preto odporúča, tak ako v tomto prípade, využiť zvodiče prepätí.

Počas skratu dochádza k vysokému nárastu prúdu z hodnoty $I = 89,02$ A na hodnotu špičkového skratového prúdu vo fáze L3 $i_{p3} = 4977$ A (v čase $t_1 = 0,049$ s) (Obr. 8b). Takéto nárazové hodnoty prúdu môžu byť veľmi nebezpečné pre zariadenia v sieti. Pri dimenzovaní zariadení a nastavení nadprúdových ochrán je preto potrebné dbať na správne nastavenie danej ochrany. Pri nesprávnom nastavení ochrán dôjde k dynamickým a tepelným účinkom skratového prúdu, ktoré môžu poškodiť zariadenia v sieti.



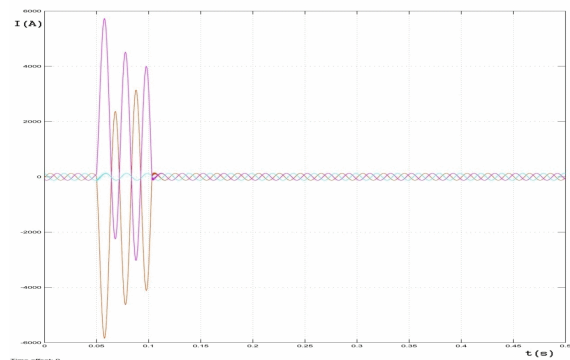
a)



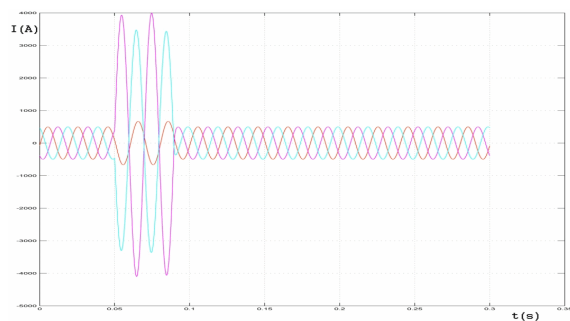
b)

Obr. 8. Pribeh napätia (a) a prúdu (b) pri trojfázovom skrate

Podobným postupom je možné zistiť veľkosti skratových prúdov pri iných typoch porúch, ako je uvedené na Obr. 9.



a)



b)

Obr. 9. Pribeh prúdu pri 2-fázovom kovovom (a) a 2-fázovom zemnom skrate (b)

VI. ZÁVER

- využitím nástroja EMTP-ATP a SimPowerSystem je možné relatívne rýchlo zistiť veličiny potrebné pri pripojení nového zdroja energie (zmenu napätia, skratové pomery, prepätia, ...) a určiť veľkosť elektrických strát na jednotlivých zariadeniach;
- boli potvrdené teoretické predpoklady, že najdôležitejšie miesta s najvyššou zmenou danej veličiny sú najbližšie vetvy k danému uzlu pripojeného zdroja, ako napr.:
 - najvyšší nárast napätia bol zaznamenaný v uzle, do ktorého bol pripojený zdroj;
 - najvyšší skratový prúd bol zaznamenaný rovnako v uzle, do ktorého bol pripojený nový zdroj;
- aby bolo možné do daných uzlov pripojiť nové zdroje, vypočítal a odsimuloval sa maximálny výkon s príslušným napätím v danom uzle, ktorý je možné pripojiť tak, aby sa dodržala napäťová odchýlka daná distribučnou spoločnosťou;
- analogický algoritmus výpočtu je možné použiť aj pre podobné malé siete pre otestovanie vplyvu nových zdrojov na napájaciu sieť.

POĎAKOVANIE

Tento príspevok vznikol vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj pre projekt: Centrum výskumu účinnosti integrácie kombinovaných systémov obnoviteľných zdrojov energií, s kódom ITMS: 26220220064, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.



Podporujeme výskumné aktivity na Slovensku/Projekt je spolufinancovaný zo zdrojov EÚ.

LITERATÚRA

- [1] Medveď, D.: *Utilising of EMTP ATP for Modelling of Decentralized Power Sources Connection*. In: Transactions on electrical engineering. Vol. 2, no. 1 (2013), p. 26-29. - ISSN 1805-3386.
- [2] Medveď, D.: *Electric losses modeling of decentralized power sources connection using EMTP ATP*. In: ELEN 2010, ČVUT Praha, 2010, p. 1-9. ISBN 978-80-254-8089-2.
- [3] Medveď, D., Nemergut, L.: *Modelovanie prechodných javov využitím nástroja MatlabSimPowerSystem*. In: Electrical Engineering and Informatics 3: proceeding of the Faculty of Electrical Engineering and Informatics of the Technical University of Košice. Košice: FEI TU, 2012 s. 745-748. ISBN 978-80-553-0890-6.
- [4] Východoslovenská distribučná a.s.: *Pripojenie energetického zariadenia na výrobu elektriny do distribučnej sústavy*. [online]. Dostupné na internete: < <http://www.vsds.sk/wps/portal/vsd/domov/vyrobcovia/pripojenie-zdroja> >.
- [5] Medveď, D., Hvizdoš, M.: *Modelovanie v prostredí EMTP – ATP*. 1. vyd. Košice: TU 2011. 74 s. ISBN 978-80-553-0776-3.
- [6] Medveď, D.: *Modelovanie prechodných dejov pri pripojovaní rozptýlených zdrojov energie v prostredí EMTP ATP*. In: Elektroenergetika, Vol. 3, No. 7, 2010, p. 15-18. ISSN 1337-6756.

Simulácia regulácie kruhových tokov v SimPowerSystems

Alexander Mészáros

Katedra elektroenergetiky

Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach

Košice, Slovenská republika

Alexander.Meszaros@tuke.sk

Abstrakt — Liberalizácia trhu s elektrinou výrazne ovplyvňuje samotnú prevádzku elektrizačnej sústavy. Spotrebiteľ, na základe ponúkanej ceny, si môže zakúpiť elektrinu v princípe od ľubovoľného dodávateľa v EÚ, čo môže zapríčiniť zvýšený cezhraničný prenos výkonu s hrozbou preťaženia určitých vedení až nad hranicu ich fyzikálnych možností a následnej havárie ich prevádzky. Nepredikovateľnosť dodávok elektriny zo solárnych či veterných elektrární ďalej komplikuje túto situáciu, čo prevádzkovateľ sústavy musí neodkladne riešiť.

Kľúčové slová: elektrizačná sústava; obnoviteľné zdroje energie; simulácia; kruhové toky; transformátor s priečnou reguláciou

I. ÚVOD

Elektroenergetické systémy sú kombináciou elektrických obvodov a elektromechanických zariadení akými sú napr. elektrické motory a generátory. Neustále sa zvyšujúce požiadavky na efektívnosť prevádzky týchto zariadení nútia ich projektantov používať prídavné zariadenia na báze výkonovej elektroniky a taktiež prepracované riadiace systémy, ktoré sa často snažia riešiť tradičnými analytickými nástrojmi a technikami. Ďalším možným problémom analyzovaných úloh pri riešení predmetných sústav môže byť ich nelineárnosť a preto jediným vhodným spôsobom na preskúmanie a pochopenie ich činnosti sú simulácie.

SimPowerSystems je moderný dizajnerský nástroj, ktorý umožňuje rýchlo a ľahko vytvárať modely simulujúce správanie elektrizačnej sústavy. SimPowerSystems využíva prostredie Simulink, ktoré umožňuje vytvárať modely jednoduchým postupom. Nakreslenie topológie obvodu je nielen rýchle, ale analýza obvodu môže obsahovať interakcie s mechanickými, tepelnými, riadiacimi a inými odbormi. Je to možné dosiahnuť pomocou rozsiahlych knižníc. Tieto knižnice obsahujú modely typických elektroenergetických zariadení ako sú transformátory, vedenia, motory a zariadenia výkonovej elektroniky a ďalšie [1].

II. VZNIK KRUHOVÝCH TOKOV V ELEKTRIZAČNEJ SÚSTAVE

Príchod liberalizácie na trh s elektrickou energiou znamená veľkú zmenu v obchodovaní s touto komoditou ako aj v samotnej prevádzke elektrizačných sústav. Otvorenie trhu znamená väčšiu voľnosť pre výrobcov, dodávateľov, i pre samotných spotrebiteľov.

Pred liberalizáciou sa cezhraničný prenos uskutočňoval iba v prípade poruchy alebo potreby pokrytia denného diagramu zaťaženia pri nedostatku vlastných výrobných kapacít.

Po liberalizácii je výber dodávateľa na samotnom spotrebiteľovi, ktorý si môže nakúpiť elektrinu v ktorejkoľvek európskej krajine. Takto sa očakáva vytvorenie konkurencie na trhu, čím sa cena elektriny spravidla tlačí nadol. Otvorenie trhu na druhej strane však znamená zvýšený cezhraničný prenos výkonu, čo následne preťažuje vedenia až na hranicu ich fyzikálnych možností.

Ďalšou, stále významnejšou príčinou, ktorá zvyšuje cezhraničný prenos je zvýšenie inštalovaných výkonov nepredikovateľných obnoviteľných zdrojov energie, ako aj ich nerovnomerné rozmiestnenie v jednotlivých krajinách Európy.

Je veľmi dôležité odlišovať elektroenergetiku od ostatných sieťových odvetví. Pochopenie špecifik tohto odvetvia je zásadné pre pochopenie regulácie a hospodárskej súťaže v tomto odvetví a problémov pri procese liberalizácie.

Vertikálna štruktúra elektroenergetiky a špecifické vlastnosti elektriny ako komodity sa líšia od iných odvetví. Aj z týchto dôvodov sa v minulosti elektroenergetika organizovala ako štátny monopol vo väčšine európskych krajín. Navyše liberalizácia sa neudiala kompletne v celom odvetví elektroenergetiky, ale len v jej časti ako je výroba a samotná dodávka elektriny. Keďže prenosové a distribučné siete predstavujú prirodzený monopol, aj po liberalizácii výroby a predaja zostali monopolmi, čo si vyžaduje istý druh regulácie.

Je potrebné zvážiť aj ďalšie vlastnosti tohto odvetvia ako aj samotnej elektriny [2]:

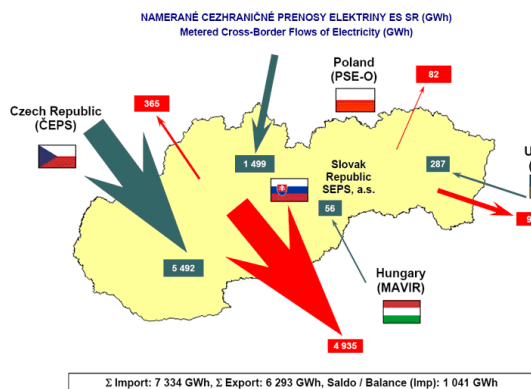
1. Elektrina je pre spotrebiteľov homogénny produkt. Nemá žiadnu zvláštnu vlastnosť alebo kvalitu, ktorá by ju odlišila, v závislosti od toho, že kde bola vyrobená,
2. Výrobné náklady sú rôznorodé v závislosti od použitej technológie a použitých zdrojov energie,
3. Dopyt je veľmi nestabilný bez možnosti náhrady, takže zmena v cenách nemá takmer žiadny vplyv na spotrebu,
4. Na rozdiel od plynu, či vody je elektrina neskladovateľnou komoditou, preto je potrebné pokrytie dopytu v každom čase,
5. Prenos a distribúcia elektrickej energie je závislá od vzdialenosti a od odporu prenosovej cesty.

Z týchto dôvodov existuje možnosť, že v prípade preťažených sietí budú neefektívne výrobné zariadenia umiestnené v určitých lokalitách, dodávať elektrinu lacnejšie ako efektívne výrobné zariadenia v iných miestach.

Vzhľadom na všetky tieto vlastnosti, prechod od regulovaných štátnych monopolov k voľnej hospodárskej súťaži predstavuje rôzne problémy. Je potrebné veľké množstvo finančných prostriedkov pre vytvorenie prepojení medzi krajinami k zvýšeniu prenosových kapacít. Tento nedostatok cezhraničných kapacít je jednou z hlavných prekážok pre dosiahnutie vnútorného trhu v rámci EÚ.

Zástanovia voľnej hospodárskej súťaže argumentujú tým, že trh zabezpečuje tú správnu úroveň investícií do prepojení. Avšak pri stavbe nového cezhraničného vedenia existuje množstvo problémov ako je napr. koordinácia a ťažkosti pri získavaní povolenia z dôvodu ochrany životného prostredia. Samotná stavba cezhraničného vedenia nestačí, ak nie je dostatočujúca kapacita vnútornej siete na dopravu elektrickej energie. To je prípad mnohých európskych krajín, kde ich vnútorné prenosové siete sú orientované na vnútorné potreby krajiny.

Obchodovanie s elektrickou energiou v Európe podporilo zvýšený záujem aj o cezhraničné obchodovanie. Zákazník, ktorý si vyberá dodávateľa, nie je limitovaný hranicami svojho štátu, ale má možnosť výberu z obrovského množstva dodávateľov po celej Európe. Tento spôsob obchodovania však naráža na obrovský problém. Cezhraničné prenosové vedenia boli postavené so zámerom udržiavať stabilitu sústav jednotlivých krajín a zároveň mali zvýšiť spoľahlivosť dodávok elektrickej energie. Problémom je, že so zvýšeným záujmom o cezhraničný obchod sa zvyšuje aj prenášaný výkon, s akým sa pri výstavbe vedenia neuvažovalo. Na obr. 1 je znázornený cezhraničný prenos elektriny slovenskej elektrizačnej sústavy s okolitými krajinami za rok 2010. Takto sú niektoré vedenia až na hranici svojich fyzikálnych možností, čo pri náraste spotreby môže viesť k nestabilite sústavy a zníženiu spoľahlivosti dodávok elektrickej energie. V súčasnosti je na cezhraničné vedenia kladený obrovský nárok a požiadavky na prenos energie, čo do významnej miery obmedzuje ďalší rozvoj celoeurópskeho jednotného trhu s elektrickou energiou.



Obr. 1. Cezhraničné prenosy elektriny za rok 2010 [3]

Akkoľvek zmena jednej premennej vo výrobnom systéme, zmena zaťaženia, odpojenie vedenia alebo poruchový stav, dostáva sústavu do nerovnovážneho stavu. V takom prípade vznikajú v sústave oscilácie, ktoré budú pozorovateľné na všetkých systémových premenných, ale neprejavujú sa v rovnakej miere. Medzi oscilácie s najnižším tlmením patria elektromechanické kmity. Tieto režimy nastávajú pri zmene

fázového uhla napätia a rýchlosti otáčania sa rozdielnych strojov v sústave.

Nerovnováha toku výkonu v sústave vedie k osciláciám medzi synchronnými strojmi v sústave. Tieto stavy môžu byť lokálne, spojené so strojmi v jednej energetickej oblasti v rozsahu frekvencií 0,8 – 2,5 Hz alebo môžu nastať medzi oblasťami vo frekvenčnom rozsahu 0,1 – 0,7 Hz. Miestne kmity sú prítomné v elektrizačnej sústave takmer vždy, zatiaľ čo oscilácie medzi oblasťami sú predovšetkým pozorovateľné, ak sú sústavy prepojené dlhým prenosovým vedením [4].

Rozdelenie toku výkonov v jednotlivých častiach zložitej prepojenej sústavy závisí od ich impedancie ako aj od rozmiestnenia a veľkosti napájacích zdrojov a spotrebičov [5], [6]. V určitých prípadoch sa môže rozloženie toku výkonov, vyplývajúce z týchto podmienok byť nežiaduce, napr. preťažením niektorých vedení príslušnej sústavy, nevyhovujúcim pomerom reaktančného a činného výkonu a pod. Aby sa zabránilo týmto nebezpečným stavom a zabezpečilo požadované rozdelenie toku výkonov pre dané prevádzkové podmienky, treba zmeniť niektoré parametre uzavretého obvodu.

FACTS regulátory sú zariadenia na báze výkonovej elektroniky, ktoré zabezpečujú kontrolu jedného alebo viacerých parametrov prenosovej sústavy [4], [7].

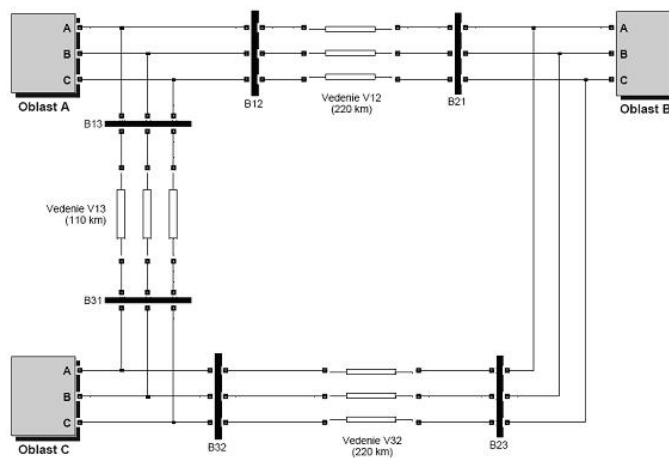
Hlavnou úlohou paralelných FACTS zariadení je zabezpečiť napätovú podporu v elektrickej sieti. Môžu sa tiež použiť na zlepšenie statickej a dynamickej stability sústavy a na tlmenie oscilácií.

Sériové FACTS sú bežne používané pre riadenie toku výkonu, tlmenie oscilácií a zlepšenie stability sústavy. Môžu sa tiež použiť aj na zlepšenie stability napätia, aj keď na tento účel je efektívnejšie použiť paralelné FACTS.

PST je zariadenie slúžiace k riadeniu toku výkonu, zmierneniu účinkov preťaženia a minimalizácii strát energie v elektrizačnej sústave. Existuje mnoho rôznych typov PST, ich princípom a činnosťou sa podrobnejšie zaoberá [8], [9].

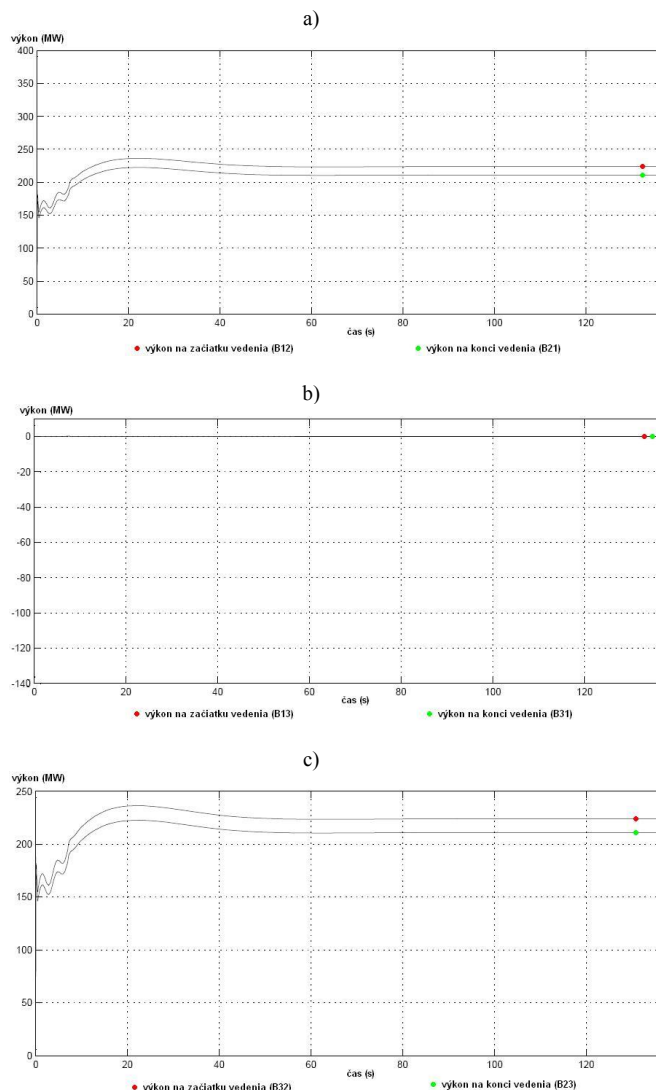
III. VYUŽITIE PST NA REGULÁCIU TOKU VÝKONU

Na vysvetlenie účinkov PST transformátora na reguláciu toku činného výkonu je potrebné najprv analyzovať vybranú modelovú sústavu bez jeho použitia. Na analýzu boli použité tri sústavy prepojené prenosovými vedeniami podľa obr. 2.



Obr. 2 Sústavy prepojené bez použitia PST

Oblasti A a C pracujú s prebytkom výkonu, zatiaľ čo oblasť B má deficit výkonu. Oblasť A a B dodávajú rovnaký výkon a pri zadaných parametroch vedením V13 nepotečie žiadny výkon. Na obr. 3 a), b), c) sú znázornené výkony prenášané medzi jednotlivými oblasťami. Grafy obsahujú dve krivky, z ktorých jedna udáva hodnotu výkonu na začiatku vedenia a druhá na konci vedenia. Takto je možné určiť straty na vedení bez nasadenia PST transformátora.

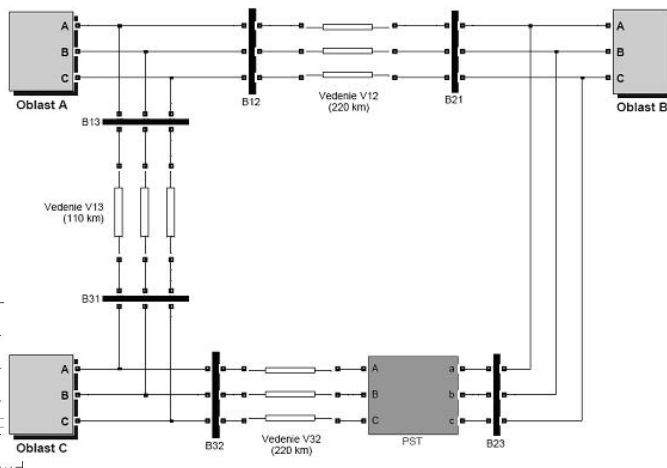


Obr. 3 Tok výkonu vedením V12 (a), V13 (b) a V32 (c)

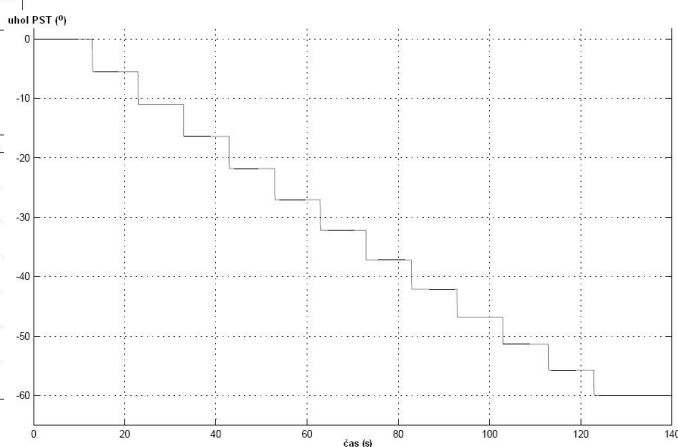
Bez použitia PST transformátora sa z oblasti A do oblasti B prenášal výkon 230MW so stratami 20MW na vedení V12. Z oblasti C do oblasti B sa prenášal rovnaký výkon 230MW so stratami 20MW na vedení V32.

Na účely ďalšej analýzy bol do vývodu vedenia V32 z oblasti B do oblasti C nasadený PST transformátor (obr. 4). Vzhľadom na predpokladané zaťaženie profilu bol vybraný PST transformátor o výkone 700MVA s 25 odbočkami, z ktorých jedna je v základnej nulovej polohe, 12 odbočiek je v kladnom smere a 12 v zápornom.

V modelovom príklade je využitie prepínania dvanástich odbočiek v kladnom smere v 10 sekundových intervaloch. Jeden posun odbočky znamená zmenu fázového uhla transformátora približne o $5,5^\circ$ (obr. 5).



Obr. 4 Sústava prepojená s použitím PST



Obr. 5 Priebeh zmeny fázového uhla PST v závislosti od nastavenia odbočiek

Obr. 6.a), b), c) znázorňujú prenášané výkony s využitím PST a taktiež zmenu prenášaného výkonu v závislosti od zmeny fázového uhla transformátora. Na jednotlivých obrázkoch sú znázornené dve krivky, pričom jedna udáva činný výkon na začiatku a druhá na konci vedenia. Takto je možné z grafických priebehov odčítať straty spôsobené prevádzkou PST transformátora, podobne ako v predchádzajúcom prípade.

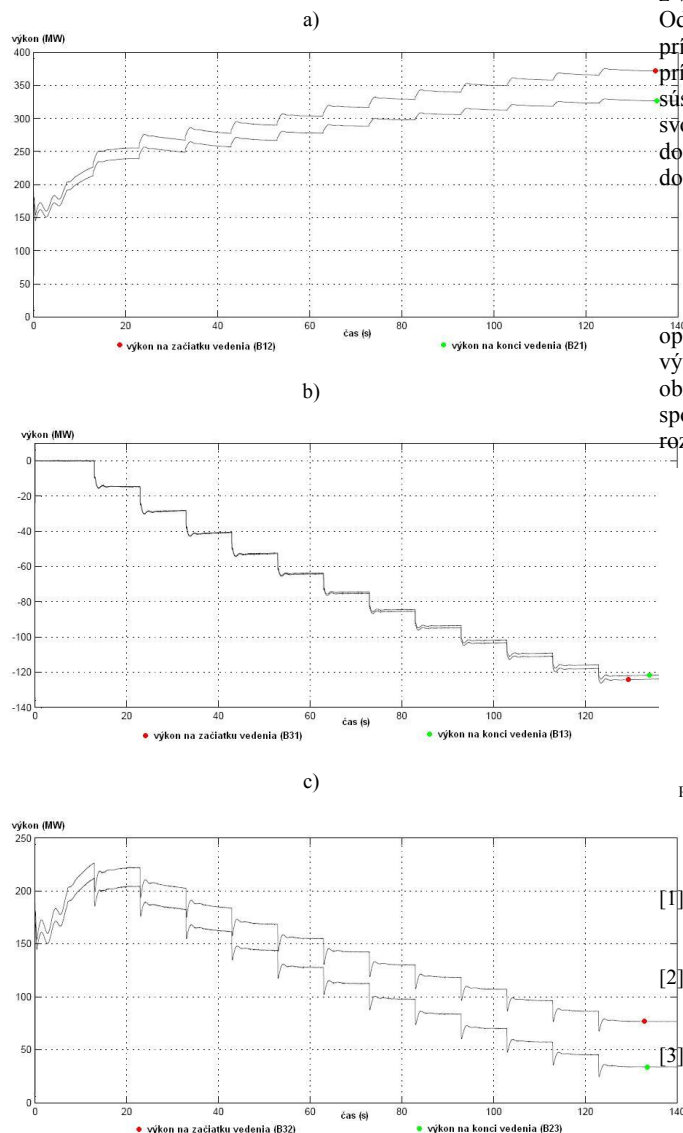
Po nasadení PST transformátora sa prerozdelení činné výkony na vedeniach takým spôsobom, že vedením V32 v bode B23 sa prenášal výkon 35MW. Straty na tomto vedení s využitím PST vzrástli na hodnotu 35MW. Zvýšenie strát v prevádzke s PST v porovnaní s prevádzkou bez PST činí 15MW na príslušnom vedení. Zaťaženie vedenia V12 sa samozrejme zvýšilo adekvátne, aby bol pokrytý odber v oblasti B, tok výkonu z oblasti C do oblasti B bol vlastne presmerovaný z vedenia V32 na V12 cez V31.

V prípade regulácie fázy s PST do záporného smeru by sa odľahčilo vedenie V12, a tok výkonu by sa presmeroval z oblasti A cez V13 na V32 do oblasti B.

IV. ZÁVER

Výkonovú bilanciáciu elektrizačnej sústavy je potrebné regulovať tak, aby bola v každom okamžiku zachovaná rovnováha medzi výrobou a spotrebou elektrickej energie. Za vyrovnanú výkonovú bilanciáciu elektrickej energie v každej krajine je zodpovedný prevádzkovateľ prenosovej sústavy,

v prípade SR je to spoločnosť SEPS. Vyrovnaná výkonová bilancia znamená, že v každom okamžiku je výroba elektrickej energie na elektrárenských blokoch regulovaná tak, aby odpovedala okamžitej spotrebe, iba tak možno udržať chod sústavy v bezpečných a spoľahlivých limitoch.



Obr. 6 Tok výkonu vedením V12 (a), V13 (b) a V32 (c)

Na reguláciu výkonu sa používajú hlavne konvenčné zdroje elektrickej energie - bloky uhľových, vodných a plynových elektrární. SEPS nakupuje záložné výkony, tzv. podporné služby, od výrobcov - poskytovateľov na trhu, pretože zo zákona nesmie vlastniť žiadne zdroje elektrickej energie. Liberalizácia trhu s elektrinou oddelila výrobu a dodávku od prenosu a distribúcie do samostatných spoločností s jednoznačne vymedzenými právami a povinnosťami danými licenciami.

Výroba elektrickej energie vo veterných a fotovoltaických elektrárňach je v dôsledku ich silnej závislosti na klimatických podmienkach na rozdiel od ostatných zdrojov len ťažko predvídateľná, napriek tomu, že kvalita predikčných modelov sa stále zlepšuje. Nekontrolovateľný tok výkonov z veterných či slnečných elektrární na Slovensku, alebo dokonca zo

zahraničia, môže ohroziť prevádzkovú bezpečnosť a spoľahlivosť elektrizačnej prenosovej sústavy SR.

Cieľom predkladaného príspevku bolo poukázať na možnosť presmerovania neočakávaných tokov výkonov hlavne z veterných a slnečných elektrární prostredníctvom PST. Odľahčením príslušného vedenia tak možno zabrániť jeho prípadnému preťaženiu a následnému vypínaniu, čo v krajnom prípade by mohlo viesť až k dominovému efektu a rozpadu sústavy s následkom veľkých hospodárskych škôd. Vďaka svojim vhodným regulačným schopnostiam a cenovej dostupnosti sa ako perspektívne riešenie javí umiestnenie PST do najviac ohrozených vedení.

POĎAKOVANIE

Tento príspevok vznikol vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj pre projekt: Centrum výskumu účinnosti integrácie kombinovaných systémov obnoviteľných zdrojov energií, s kódom ITMS: 26220220064, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.



Podporujeme výskumné aktivity na Slovensku/Projekt je spolufinancovaný zo zdrojov EÚ.

ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

- [1] SimPowerSystems: for Use with Simulink. User's Guide, Version 3. The MathWorks., Hydro-Québec: TransÉnergie Technologies, 2003. 620 s.
- [2] Domanico, F.: Liberalization of the European Electricity Industry: Internal market or National Champions? Dostupné na internete: <http://89.206.150.89/documents/p001227.pdf>
- [3] Slovenský elektroenergetický dispečing. Ročenka 2010. Dostupné na internete: http://www.sepsas.sk/seps/dokumenty/RocenkySed/Rocenka_SED_2010.pdf
- [4] Johansson, N.: Control of Dynamically Assisted Phase-shifting Transformers. Stockholm: Royal Institute of Technology, 2008. 184 s. ISBN 978-91-7178-879-5.
- [5] Chmišinec, I. et al.: Obchod s elektrinou. 1. vyd. Praha: CONTE spol. s r.o., 2010. ISBN 978-80-254-6695-7. 201 s.
- [6] Kubín, M.: Energetika, Perspektivy-strategie-inovace, JME, 2002, 544 s.
- [7] Hingorani, N. G., Gyugyi, L.: Understanding FACTS. New York: IEEE Press, 2000, 432 s.
- [8] Momoh, J.A.: Electric Power System Applications of Optimization. 1. vyd. New York: Marcel Dekker, 2001. ISBN 0-8247-9105-3. 478 s.
- [9] Mészáros, A.: Modelovanie riadenia toku výkonu s využitím PST transformátora. In: Elektroenergetika. Roč. 6, č. 1 (2013), s. 5-10. ISSN 1337-6756.

Využitie Fresnelovho princípu pri koncentrácii slnečného žiarenia

Ján Tkáč, Marek Hvizdoš
Katedra elektroenergetiky
Technická univerzita v Košiciach, FEI
Košice, Slovensko
jan.tkac@tuke.sk, marek.hvizdos@tuke.sk

Abstrakt — Príspevok sa zaoberá využívaním slnečnej energie na energetické účely prostredníctvom koncentrácie slnečného žiarenia. Na tento účel sa využívajú v značnej miere compoundné parabolické koncentrátoory, ktoré sa vyznačujú vysokými konštrukčnými nárokmi. V tomto príspevku je realizovaná analýza možnosti využitia Fresnelovho princípu koncentrácie na skonštruovanom modeli. Výsledky poukazujú na pozitívne prínosy tohto princípu.

Príučové slová: slnečná energia; parabolický koncentrátor; Fresnelov koncentrátor; slnečné elektrárne

Abstract — The paper deals with the use of solar energy for energy purposes using the concentration of solar radiation. Compound parabolic concentrators are often used for this purpose. They are characterized by high design demands. In this contribution, the possibilities of using of the Fresnel concentration principle are analyzed using the constructed model. The results show the positive benefits of this principle. (Utilization of the Fresnel principle for the concentration of solar radiation)

Keywords: solar energy; parabolic concentrator; Fresnel concentrator; solar power plants

I. ÚVOD

Slnečná energia ako jeden z obnoviteľných zdrojov energie má pre život na Zemi nenahraditeľný význam. Využívanie slnečnej energie na energetické účely má svojich priaznivcov, ale na druhej strane má aj svojich odporcov. Bolo by však neracionálne, ak by sa tomuto obnoviteľnému zdroju energie neposkytoval dostatočný priestor, nakoľko zásoby doposiaľ používaných palív sú už značne vyčerpané. Solárne elektrárne majú vysokú perspektívu stať sa silným konkurentom výroby elektrickej energie v klasických výrobnách, no najmä v miestach s veľkým počtom slnečných dní za rok. Svoje opodstatnenie nachádzajú aj v lokalitách, kde je dodávka klasických zdrojov energie (uhlie, ropa, zemný plyn, vykurovacie oleje) finančne nákladná a je výhodnejšie zvoliť využitie obnoviteľných zdrojov energie. Sú ideálne pri znižovaní emisií skleníkových plynov a iných znečisťujúcich látok. Vytvárajú podmienky výroby elektrickej energie na princípe trvalej udržateľnosti bez environmentálnych rizík a kontaminácie okolia [1], [2], [3].

II. DRUHY OPTICKÝCH KONCENTRÁTOROV

Koncentrácia slnečného žiarenia sa využíva v prípadoch, keď potrebujeme dosiahnuť vyššie teploty, ktoré bez

koncentrácie nie je možné vyvinúť. Takýto prípad nastáva v prípade využívania slnečného žiarenia na energetické účely. Zvýšenie tepelného účinku slnečného žiarenia sa v slnečných tepelných elektrárnach dosahuje koncentraciou slnečného žiarenia. Bez koncentrácie slnečného žiarenia by dopad slnečného žiarenia na plochu rozmerovo malých absorbérov nevytvoril požadovanú teplotu pre optimálny ohrev teplotosnej látky prechádzajúcej vnútrom absorbéra. Na účely zvyšovania hustoty toku slnečnej energie sa využívajú optické koncentrátoory, ktoré zberajú slnečné žiarenie z väčšej plochy a sústreďujú ho do ohniska, ktoré je rozmerovo menšie. Charakterizujeme ich prostredníctvom činiteľa koncentrácie c , ktorý sa vypočíta podľa vzťahu (1):

$$c = S_V / S_P \quad (1)$$

kde S_V - geometrický priemet odrazovej vnútornej plochy koncentrátoora,
 S_P - plocha prijímača.

Ak je napr. činiteľ koncentrácie 15, tak na absorpčnú plochu dopadne 15-krát viac slnečnej energie, než dopadlo na vstupnú plochu koncentrátoora. Touto cestou sa zvyšuje hustota slnečného toku a rastie teplota. Pri tom istom výkone slnečného žiarenia tak môže byť absorpčná plocha rozmerovo menšia než v prípade využitia slnečného žiarenia bez možnosti koncentrácie. Jednotlivé koncentrátoory sa od seba odlišujú konštrukčným vyhotovením, tvarom, spôsobom polohovania a pod. Medzi najčastejšie používané typy koncentrátoorov v tepelných slnečných elektrárnach patria:

- lineárne Fresnelove koncentrátoory,
- rotačne nesymetrické koncentrátoory,
- rotačne symetrické koncentrátoory,
- compoundné parabolické koncentrátoory (CPC – compound parabolic concentrators).

Fresnelov koncentrátor sa používa vo viacerých modifikáciách ako rovinný rotačne symetrický s bodovým ohniskom – Fresnelova šošovka, alebo ako lineárny s čiarovým ohniskom. Fresnelova šošovka je tenká priehľadná doska zo skla alebo plastu, často aj vo forme fólie, na ktorej je vytvorený Fresnelov optický systém správajúci sa ako spojná šošovka.

Lineárna Fresnelova šošovka je konštruovaná podobne ako tabuľové sklo s príslušne tvarovanými drážkami, zabezpečujúcimi lom dopadajúceho žiarenia do čiarového ohniska. V priereze tak šošovka nadobúda symetrický pílový tvar. Na realizáciu Fresnelovej šošovky sa tak spotrebuje menej materiálu, pretože je omnoho tenšia než bežná spojná šošovka. Preto vyniká svojou nízkou hmotnosťou a ľahko sa s ňou manipuluje. Veľkorozmerné Fresnelove koncentrátoory

používané u slnečných elektrární sú konštruované s rovinými, prípadne mierne zakrivenými reflexnými plochami, ktoré sú pohyblivo uložené na horizontálnej osi, čo im umožňuje optimalizovať optické vlastnosti a ohniskovú vzdialenosť podľa okamžitej polohy Slnka. Koncentračný pomer c je v rozsahu 8 až 80 a dosahované teploty sú 260 – 400 °C.

V slnečných tepelných elektrárnach sa rotačne symetrické koncentrátoory slnečného žiarenia využívajú najmä v kombinácii so Stirlingovou jednotkou a najčastejšie s tvarom parabolického taniera [4],[5]. Okrem parabolicky rotačne symetrickej konštrukcie existuje vyhotovenie sférické alebo v tvare kužeľa. V priereze sa dá ich tvar popísať krivkou druhého rádu. Disponujú najvyšším koeficientom koncentrácie, viac ako 200. V bodovom ohnisku je možné koncentráciou slnečných lúčov dosiahnuť najvyššie teploty až do 4000 °C.

K rotačne nesymetrickým koncentrátorm slnečného žiarenia patria parabolovalcové alebo žľabové koncentrátoory. Tieto koncentrátoory sa využívajú v tepelných slnečných elektrárnach s rozloženým absorbérom. Činiteľ koncentrácie sa obvykle pohybuje okolo 80 až 100. V ich lineárnom ohnisku je možné koncentráciou lúčov vyvinúť teploty v rozmedzí 260 – 400 °C, ktoré sú optimálne pre tepelné procesy v slnečných tepelných elektrárnach. V porovnaní s rotačne symetrickými koncentrátormi slnečného žiarenia majú jednoduchšiu konštrukciu a pre účely polohovania sú vybavené jednoosovým trackerom.

Koncentrátor CPC je špecifickým typom rotačne nesymetrických koncentrátoorov. Pričný rez týmito koncentrátormi sa dá popísať dvoma parabolickými krivkami druhého rádu, pričom platí, že krivky sú osovo symetrické. Najpoužívanejším typom tohto koncentrátoora je Winstonov koncentrátor. Do osi CPC sa zvyčajne napravo inštaluje centrálny prijímač, v ktorom koluje teplotnosné pracovné médium. Prednosťou CPC koncentrátoora je to, že nevyžaduje presné polohovanie. Tieto koncentrátoory sa využívajú prevažne v aplikáciách s rúrkovými kolektormi. Je ho možné nájsť aj v lineárnom Fresnelovom koncentrátore, kde plní funkciu sekundárneho reflektora.

III. SLNEČNÉ ELEKTRÁRNE S ROZLOŽENÝM ABSORBÉROM

Podľa absorbéra môžeme slnečné elektrárne rozdeliť na:

- slnečné elektrárne s centrálnym absorbérom (CRS – central receiver system),
- slnečné elektrárne s rozloženým absorbérom (DCRS – decentral receiver system).

Slnečné elektrárne DCRS sa označujú aj pojmom kolektorové pole, nakoľko sa na výrobu tepla používa veľký počet koncentračných zberačov umiestnených v blízkej oblasti slnečnej elektrárne. Oproti systému CRS sa slnečné lúče nezbiehajú do centrálného bodu umiestneného na veži, ale do viacerých systematicky rozmiestnených ohnisk použitých koncentračných zberačov. Na koncentráciu slnečných lúčov sa najčastejšie využívajú zberače tvaru paraboly, tzv. parabolické korytá alebo lineárne Fresnelove koncentrátoory. Koncentračný pomer sa pohybuje okolo hodnoty 80.

Odrážová plocha žľabových koncentrátoorov sa vyhotovuje z parabolických zrkadiel alebo zakrivených zrkadliacich plechov. Plocha koncentrátoora sa nevyrába ako jeden kus, ale je zložená z viacerých parciálnych častí (tzv. lamelovanie). Hoci sa zníži činiteľ koncentrácie c , na druhej strane sa docielu ľahšia výroba, a tým poklesnú výrobné náklady. V prípade koncentrovania pomocou lineárneho Fresnelovho koncentrátoora sa používajú celistvo vyhotovené rovinné alebo mierne zakrivené reflexné plochy. V ohniskovej línii sa pre

obidva typy koncentračných systémov umiestňuje trubkový absorbér vo vákuovanej sklenenej trubici kvôli zníženiu tepelných strát. Na rozdiel od Fresnelovho koncentrátoora sa v žľabovom koncentrátore realizuje aj polohovanie absorbéra. Polohovanie koncentrátoorov je realizované jednoosovými sledovačmi Slnka.

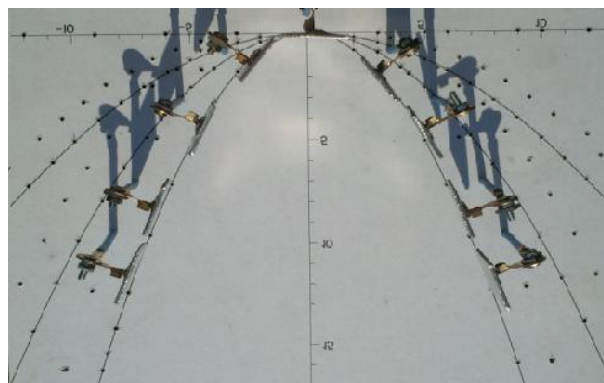
V trubkovom prijímači cirkuluje pracovná kvapalina uskutočňujúca transfer tepla (najčastejšie olej, voda), ktorá sa zahrieva na približne 400 °C. Získané teplo sa využíva na výrobu prehriatej pary. Para v 2-stupňovej parnej turbíne sa rozpína a následne vytváraná mechanická energia je v generátore pretransformovaná na elektrickú energiu. Priemerná elektrická účinnosť dosahuje 11 – 16 %. U tohto typu slnečných tepelných elektrární je možné pomocou soľného média uskutočniť skladovací proces tepelnej energie.

IV. KONŠTRUKCIA MODELU FRESNELOVHO KONCENTRÁTOORA

Konštrukcia modelu bola navrhnutá tak, aby umožňovala demonštráciu Fresnelovho princípu koncentrácie. Model pozostáva zo základovej dosky a malých heliostatov. Základová doska s rozmerom 26,5 x 40 cm umožňuje vytvoriť rôzne variácie rozmiestnenia heliostatov, od ľubovoľného umiestnenia po priamku, alebo aj na troch predkreslených parabolických krivkách určených rovnicami:

$$y = 0,05 \cdot x^2, y = 0,1 \cdot x^2, y = 0,2 \cdot x^2$$

Heliostaty boli konštruované s možnosťou dvojsového polohovania zrkadiel, ako v horizontálnej 0 – 360°, tak aj vertikálnej polohe 0 – 270°. Všetky heliostaty majú identický rozmer reflexnej plochy 3 x 2 cm (Obr. 1, Obr. 2).

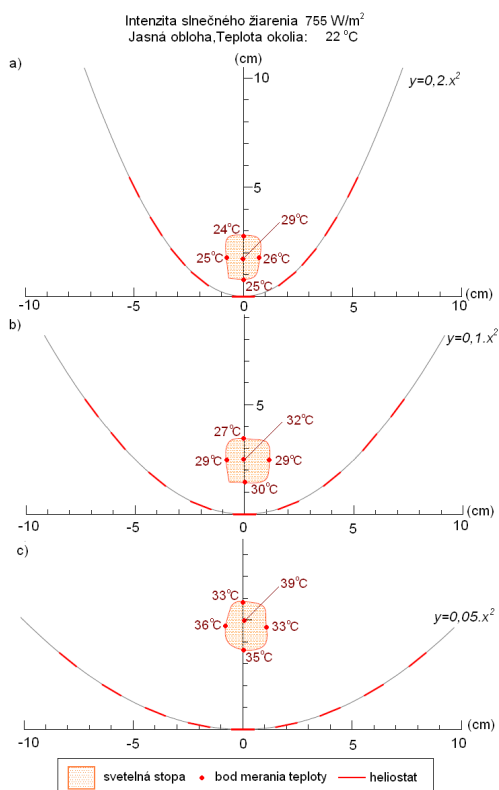


Obr. 1. Modely heliostatov rozmiestnené na parabole

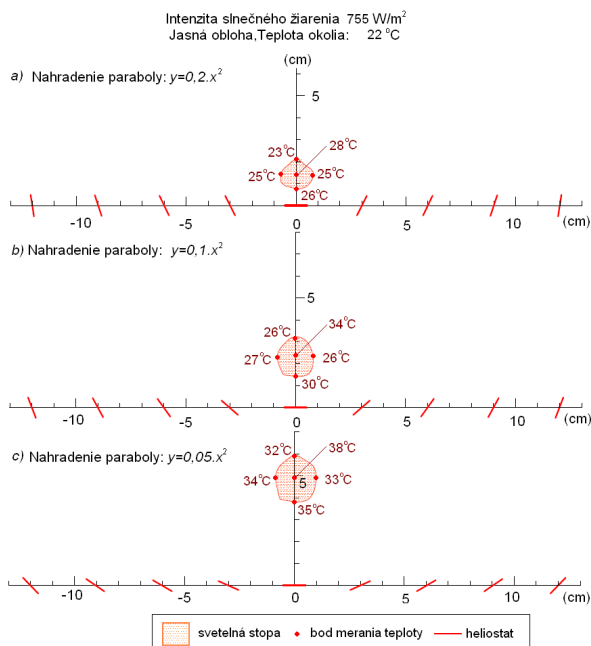


Obr. 2. Modely heliostatov rozmiestnené na priamke

Výsledky meraní pri umiestnení heliostatov na parabolách (Obr. 3) ako aj na priamke (Obr. 4) pri rôznych ohniskových vzdialenostiach potvrdzujú správnu činnosť modelu a vhodnosť jeho použitia na demonštráciu koncentrácie slnečného žiarenia aj s využitím Fresnelovho princípu.



Obr. 3. Rozloženie teploty v ohnisku pri rozmiestnení heliostatov po parabolickej krivke



Obr. 4. Rozloženie teploty v ohnisku pri rozmiestnení heliostatov do priamky kolmej na os koncentračného systému

V. ZÁVER

Z nameraných výsledkov vyplýva, že použitie Fresnelovho princípu v solárnej energetike má veľký prínos, nakoľko umožňuje nahradiť optické koncentrátores na báze kriviek vyšších rádov lineárnymi plošnými segmentmi. Usporiadanie reflexných plôch je možné optimálne prispôsobiť okolitému terénu. Poloha jednotlivých reflexných plôch sa určuje na základe optickej analýzy, vychádzajúcej z hraničných polôh Slnka voči Zemi, ako aj vzájomných polôh jednotlivých segmentov tak, aby nedochádzalo k ich vzájomnému tieneniu. Najvyššie nároky pri používaní takýchto koncentrátorov sú na optimálne nastavenie azimutu a elevácie, ktoré je potrebné v stanovených okamihoch optimalizovať pre každý reflexný segment osobitne [6], [7]. Aj keď koncentrácia slnečného žiarenia je veľmi atraktívna, z hľadiska využitia slnečnej energie je oproti ostatným solárnym systémom menej efektívna, nakoľko neumožňuje koncentráciu difúzneho žiarenia. Avšak v prípade, že potrebujeme dosahovať vysoké teploty, iná možnosť neexistuje.

POĎAKOVANIE

Tento príspevok vznikol vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj pre projekt: Centrum výskumu účinnosti integrácie kombinovaných systémov obnoviteľných zdrojov energií, s kódom ITMS: 26220220064, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.



Podporujeme výskumné aktivity na Slovensku/Projekt je spolufinancovaný zo zdrojov EÚ.

LITERATÚRA

- [1] Z. Dostál, "Prístupy k implementácii systémov obnoviteľných zdrojov energie do praxe," Alternatívne zdroje energie ALER 2011, Liptovský Ján, 2011, pp. 188-203, ISBN 978-80-554-0427-1.
- [2] P. Horbaj, P. Čekanová, J. Selín, N. Jasminská, "Spaľovanie fosílnych palív – jeden zo zdrojov nebezpečných emisií (1)," in Energetika, vol. 61, no. 10, 2011, pp. 568-571, ISSN 0375-8842.
- [3] J. Koščo, R. Rybár, P. Tauš, D. Kudelas, J. Horodníkova, "Niekoľko poznámok k vývoju centra OZE a jeho funkcie vo vzťahu k realizovanej výskumno vývojovej činnosti," Alternatívne zdroje energie ALER 2011, Liptovský Ján, 2011, pp. 39-45, ISBN 978-80-554-0427-1.
- [4] P. Bača, "Přehled možností akumulace elektrické energie z OZE," Alternatívne zdroje energie ALER 2011, Liptovský Ján, 2011, pp. 135-141, ISBN 978-80-554-0427-1.
- [5] J. Vaněk: "Termofotovoltaika," 30. Nekonvenční zdroje elektrické energie NZEE, ČES, VUT Brno, 2009, pp. 27-33, ISBN 978-80-02-02164-3.
- [6] Z. Dostál, "Návrh sledovacieho sekvenčného automatu s 9-bitovým snímačom," Alternatívne zdroje energie ALER 2010, Liptovský Ján, 2010, pp. 188-198, ISBN 978-80-554-0242-0.
- [7] J. Kyncl, P. Mareček, L. Musil, "Cooling Options Analysing of Photovoltaic Panels," ELEN 2010, CTU Prague, 2010, pp. 1-8, ISBN 978-80-254-8089-2.

Vertikálne rotory veterných elektrární

Ján Tkáč, Marek Hvizdoš
Katedra elektroenergetiky
Technická univerzita v Košiciach, FEI
Košice, Slovensko
jan.tkac@tuke.sk, marek.hvizdos@tuke.sk

Abstrakt — Tento príspevok sa zaoberá využívaním obnoviteľných zdrojov energie so zameraním na výrobu elektrickej energie pomocou veterných elektrární s vertikálnou osou. Inštalované výkony veterných elektrární narastajú s postupným ubúdaním fosílnych palív. V súčasnosti sú najviac používané veterné elektrárne, ktorých turbíny majú horizontálnu os otáčania. V príspevku je popísaná konštrukcia funkčných modelov veterných turbín s vertikálnou osou otáčania. Vlastnosti jednotlivých modelov veterných turbín boli overované laboratórnymi meraniami. Výsledky poukazujú, že konštrukcia rotorov má výrazný vplyv na ich vlastnosti. Najviac sa osvedčili viacstupňové rotory.

Kľúčové slová: obnoviteľné zdroje energie, veterná energia, modely veterných turbín, meracie zariadenie

Abstract — This paper deals with the use of renewable energy sources with a focus on electricity generation using vertical axis wind turbines. The installed capacity of wind power plants increases with the gradual decreasing of fossil fuels reserves. Nowadays, the horizontal axis turbines are the most widely used. This paper describes the design of function models of wind turbines with a vertical axis. Characteristics of wind turbine models were verified by laboratory measurements. The results show that the rotor design has a significant impact on its parameters. The best results were achieved by the multi-stage rotors. (Vertical axis turbines of wind power plants)

Keywords: renewable energy sources; wind energy; wind turbine models; measuring equipment

I. ÚVOD

V súčasnosti sa ľudstvo zameriava na využívanie obnoviteľných zdrojov energie, ktoré neznečisťujú životné prostredie. Takýmito zdrojmi energie sú slnko, vietor, voda, ktoré sa nachádzajú všade okolo nás. Obnoviteľné zdroje energie a výroba elektrickej energie pomocou nich je výhodná najmä kvôli tomu, že nenarušujú termodynamickú stabilitu planéty a znižujú produkciu emisií [1]. Ich výhodou je možnosť výroby elektriny distribuovaným spôsobom na ktoromkoľvek mieste na planéte bez spolupráce s elektrickou sieťou, alebo pracujúce do autonómnej siete [2].

Využitelnosť vetra siaha do dávnej minulosti, kedy ho ľudia začali využívať na mletie obilia za pomoci veterných mlynov, využíval sa aj v námorníctve na pohon lodí a pod. V dnešnej dobe je vietor využívaný najmä na výrobu elektrickej energie a veterné elektrárne majú inštalované výkony až na úrovni MW. Ich výhodou je, že vyrábajú elektrickú energiu získanú zo zdroja, ktorý je zdarma [3]. Veľmi dobre sa dopĺňajú s fotovoltickými zdrojmi, čím sa

v spolupráci s akumuláciou vyrobenej elektriny dosahuje viacvalentnosť systému [4], [5], [6].

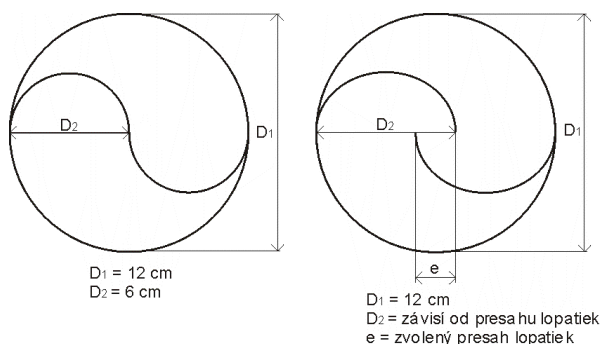
Cieľom príspevku popísať návrh a konštrukciu malých veterných turbín rôznej konštrukcie a laboratórnymi meraniami zistiť ich vlastnosti a porovnať ich. Modely veterných turbín rôznych tvarov budú v konečnom dôsledku tvoriť laboratórnu veternú farmu, ktorá bude slúžiť aj ako ukážka prevádzky veterných elektrární.

II. KONŠTRUKCIA MALÝCH VETERNÝCH TURBÍN

Návrh modelov veterných turbín vychádzal z rotorov s vertikálnou osou otáčania, ktoré sa vyznačujú tým, že majú dobrý záberový moment a nie je potrebné natáčať ich do smeru vetra. Rozbiehajú sa pri nízkych rýchlostiach vetra a dobre spracúvajú aj turbulentný a nárazový vietor. Konštrukčne bolo potrebné zhotoviť modely vertikálnych veterných turbín rôznych druhov, ktoré budú tvoriť laboratórnu veternú farmu. Pri konštrukcii modelov veterných turbín sa vychádzalo zo Savoniusovho rotora.

A. Savoniusov rotor

Tento druh rotora bol základným druhom, z ktorého sa vychádzalo pri konštrukcii ďalších vertikálnych rotorov. Ide o pomalobežný rotor, ktorého výhoda je, že sa rozbieha pri nízkych rýchlostiach vetra, pretože zachytáva energiu z vetra z ktorejkoľvek strany celou plochou lopatiek. Lopatky sú konštruované v tvare písmena S, ako to je u rotorov používaných v praxi (Obr. 1 vľavo). Tento rotor bol vylepšený realizáciou presahu lopatiek ich posunutím (Obr. 1 vpravo), čím došlo k vytvoreniu priepustného kanála, ktorý prispieva k zníženiu aerodynamického odporu a vzniku reaktívnej sily.



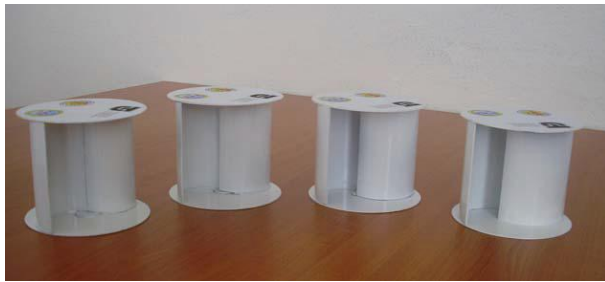
Obr. 1. Savoniusov rotor v reze bez presahu lopatiek (vľavo) a s presahom lopatiek (vpravo)

Na návrh modelov bolo potrebné nájsť čo najvhodnejší materiál, aby bolo možné pri konštrukcii dosiahnuť požadovaný tvar a mechanické vlastnosti. Jednotlivé rotory boli rozmerovo identické. Na konštrukciu modelov veterných turbín

bol použitý plast, ktorý má malú hmotnosť a dobrú pevnosť. Celkovo bolo skonštruovaných 16 veterných turbín rôznych tvarov. Všetky vychádzali z konštrukcie Savoniusovho rotora a jeho modifikácií týkajúcich sa presahov lopatiek a počtu stupňov. Priemery všetkých rotorov boli 12 cm a ich výška bola 10 cm. Rozmery rotorov museli byť dodržané pre každý model, aby sa pri meraniach dali vzájomne porovnať ich vlastnosti.

Pre porovnanie vlastností boli skonštruované rotory bez presahu lopatiek, s jedno, dvoj a trojcentimetrovým presahom lopatiek. Výška lopatiek bola 10 cm a ich priemer bol závislý od konkrétneho presahu lopatiek. Rotor bez presahu lopatiek má priemer lopatky 6 cm, rotor s jednocentimetrovým presahom lopatiek má priemer lopatky 6,5 cm, rotor s dvojcentimetrovým presahom lopatiek má priemer lopatky 7 cm a rotor s trojcentimetrovým presahom lopatiek má priemer lopatky 7,5 cm. Presahom lopatiek sa získava väčšia efektívnosť využitia rotora, pretože rotor s presahom lopatiek sa skôr dokáže rozbehnúť a dosiahnuť vyššie otáčky ako klasický rotor bez presahu lopatiek. Spočíva to vo využití zákona akcie a reakcie.

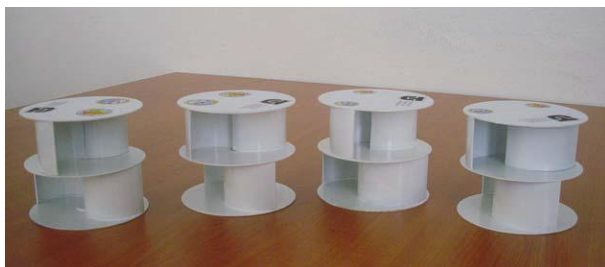
Pri konštrukcii všetkých rotorov sa vychádzalo z Obr. 1. Praktická realizácia je zrejماً z Obr. 2. Vzájomné odlišnosti sa týkali iba presahu lopatiek a počtu stupňov rotorov. Pri konštrukcii viacstupňových Savoniusových rotorov sa taktiež vychádzalo z Obr. 1, rozdiel bol len vo vzájomnom pootočení jednotlivých stupňov.



Obr. 2. Savoniusove rotory s presahom lopatiek 0, 1, 2 a 3 cm

B. Viacstupňové rotory

Vzhľadom na to, že základný Savoniusov rotor dodáva počas otáčky iba dva pulzy výkonu a časť otáčky absolvuje iba zotrvačnosťou, boli skonštruované dvoj a trojstupňové rotory, ktoré sú vzájomne symetricky a súsovo pootočené. Tieto rotory lepšie spracovávajú turbulentné prúdenie vzduchu. Sú to rotory zložené akoby z dvoch, alebo troch základných Savoniusových rotorov. Pri dvojstupňových Savoniusových rotoroch (Obr. 3) boli lopatky pootočené o 90°.



Obr. 3. Dvojstupňové Savoniusove rotory s presahom lopatiek 0, 1, 2 a 3 cm

Trojstupňové rotory (Obr. 4) majú jednotlivé stupne pootočené o 120°. Výhoda pootočenia jednotlivých stupňov je,

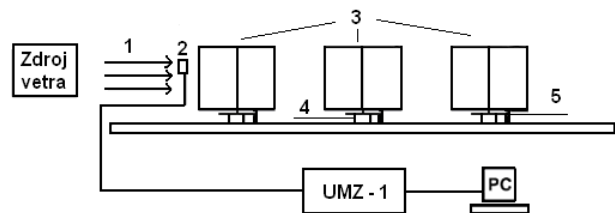
že rotor dodáva viac pulzov výkonu na otáčku a má lepší záberový moment. Konštrukčne boli zhotovené rotory s rovnakými presahmi lopatiek ako v predchádzajúcom prípade. Vonkajšie rozmery rotora sú totožné avšak výška jednotlivých stupňov bola rozdelená podľa počtu stupňov. Keďže bolo potrebné zhotoviť rotory s výškou 10 cm, tak tá sa pri viacstupňových rotoroch musela predeliť počtom stupňov. Výška lopatiek pre dvojstupňové rotory bola 5 cm a pre trojstupňové rotory 3,33 cm.



Obr. 4. Trojstupňové Savoniusove rotory s presahom lopatiek 0, 1, 2 a 3 cm

III. KONŠTRUKCIA MERACEJ ZÁKLADNE

Meracia základňa bola skonštruovaná podľa blokovej schémy na Obr. 5 a tvorí ju drevený podstavec, na ktorom sú umiestnené tri malé generátory, na hriadeli ktorých je nasunutá kulisa s perforáciou na meranie otáčok rotorov, ktorá tvorí aj podstavec na umiestnenie rotorov pomocou magnetov. Tento spôsob predstavuje jednoduché a zároveň pevné držanie rotorov, ktoré sa dajú kedykoľvek ľahko odobrať z podstavca a vymeniť za iný rotor. Na meracej základni sú ďalej umiestnené snímače na meranie otáčok rotorov a elektronický anemometer na meranie rýchlosti prúdenia vzduchu. V spodnej časti meracej základne je umiestnená kabeláž od jednotlivých generátorčekov a snímačov otáčok, ktorá je vedená k plošnému spoju. Meracia základňa plní podmienku pre umiestnenie troch rotorov, ktoré je možné uviesť súčasne do prevádzky (Obr. 6).



1 - prúdenie vzduchu, 2 - elektronický anemometer, 3 - vertikálne rotory, 4 - generátorček, 5 - snímač na meranie otáčok

Obr. 5. Schéma modelu veterného parku



Obr. 6. Konštrukčné riešenie meracej základne

Meranie prevádzkových parametrov bolo uskutočňované pomocou univerzálneho meracieho zariadenia UMZ-1. Toto zariadenie obsahuje meracie obvody a sériové porty RS232, ktoré slúžia na komunikáciu zariadenia s počítačom. Počet portov v zariadení je dva a z toho jeden slúži pre meranie otáčok rotorov a druhý na meranie napätia z generátorov. Meracie zariadenie obsahuje aj USB port, ktorým sa zabezpečuje napájanie zariadenia. Namerané hodnoty sú zobrazované pomocou PC.

A. Meranie generovaného napätia

Modul pre meranie napätia poskytuje možnosť merať na troch generátorčekoch naraz. Ďalšou možnosťou, ktorú tento modul poskytuje je meranie prúdenia vzduchu. Spolu je ním možné odmerať súčasne štyri hodnoty. Napájanie je riešené pomocou USB portu s hodnotou 5 V. Impulzy od generátora vedú cez port LPT do UMZ-1, odkiaľ sú ďalej cez sériový port RS232 vysielané do počítača, ktorý dané impulzy spracuje a zobrazí odmerané hodnoty pomocou programu PC Voltmeter.

B. Meranie otáčok modelu

Na snímanie počtu otáčok bol použitý snímač otáčok, ktorý pracuje na princípe prerušenia svetla. Snímač otáčok vyšle impulz do UMZ-1 vtedy, keď sa preruší dopad svetla k fototranzistoru, ktorý vysiela fotodióda smerom k nemu. Prerušovanie svetla je realizované pomocou otáčavej kulisy, ktorá je navrhnutá tak, že ak turbína urobí jednu otáčku, tak bude vyslaných 16 impulzov do UMZ-1. Týchto 16 impulzov je rovných jednej otáčke rotora. Snímače otáčok sú umiestnené na meracej základni a prostredníctvom portu LPT a kábla sú pripojené k meraciemu zariadeniu UMZ-1. Z meracieho zariadenia je impulz vyslaný cez port RS232 do počítača, ktorý dané impulzy vyhodnotí pomocou špeciálne vytvoreného programu PC Otáčkomer [7].

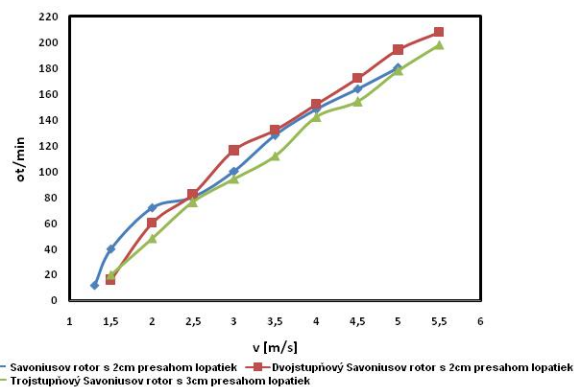
C. Meranie rýchlosti prúdenia vzduchu

Pri meraní parametrov rotorov je potrebné vedieť aj rýchlosť prúdenia vzduchu. Keďže ide o modely veterných turbín, ktorých rozmery sú malé, meranie rýchlosti vetra anemometrami by nebolo možné, pretože ich rozmery sú veľké a výrazne by ovplyvnili prúdenie vzduchu smerom k turbíne. Kvôli tomuto problému bol skonštruovaný elektronický anemometer pracujúci na princípe zmeny odporu vlákna vplyvom teploty. Bol výhodný z hľadiska jeho malých rozmerov. Hodnoty rýchlosti prúdenia vzduchu sú zobrazované pomocou špeciálne na tento účel vytvoreného programu PC voltmeter [7].

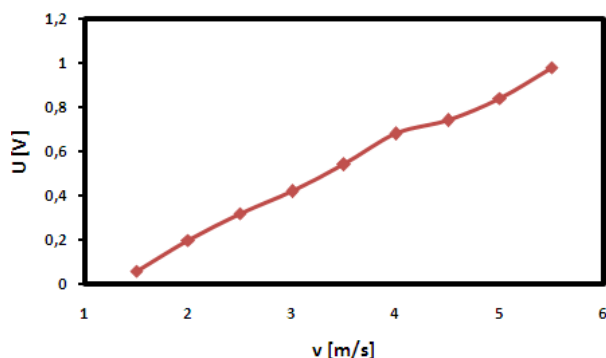
IV. EXPERIMENTÁLNE MERANIA NA MODELOCH VETERNÝCH TURBÍN

Merania vlastností rotorov boli realizované pri rôznych rýchlostiach prúdenia vzduchu a z nameraných hodnôt boli vypracované grafické závislosti otáčok, napätia a prúdu v závislosti od rýchlosti prúdenia vzduchu. Namerané závislosti otáčok pre vybrané rotory sú na Obr. 7. Z grafickej závislosti je vidieť, že rozbeh rotorov sa začal už pri rýchlosti prúdenia vzduchu 1,3 m/s, čím sa potvrdilo, že tieto druhy rotorov sa rozbiehajú pri nízkych rýchlostiach.

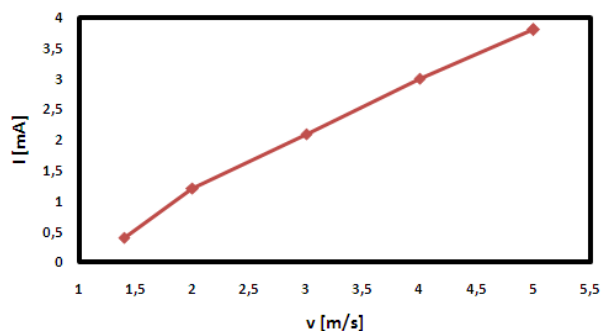
Z Obr. 7 je zrejмый aj vplyv počtu stupňov na linearizáciu charakteristiky v dôsledku väčšieho počtu pulzov výkonu počas jednej otáčky. Najlepšie výsledky mal z tohto pohľadu trojstupňový rotor s presahom 3 cm. Namerané závislosti výstupného napätia a prúdu pre trojstupňový rotor sú na Obr. 8. a Obr. 9.



Obr. 7. Závislosť otáčok vybraných rotorov od rýchlosti vetra



Obr. 8. Závislosť výstupného napätia od rýchlosti vetra



Obr. 9. Závislosť výstupného prúdu od rýchlosti vetra

Z množstva meraní bol vytvorený katalóg rotorov s popisom konštrukcie, nameranými hodnotami a závislosťami jednotlivých rotorov.

V. ZÁVER

V posledných rokoch inštalované výkony veterných elektrární rapídne stúpajú, čo predstavuje vyššiu produkciu elektrickej energie. Princíp využívania energie z vetra spočíva v premene kinetickej energie na mechanickú, ktorá dá do pohybu generátor a ten produkuje elektrickú energiu. V súčasnosti nachádzajú najväčšie uplatnenie rotory s horizontálnou osou otáčania, ktoré tvoria dve, alebo tri lopatky, ktoré z hľadiska aerodynamiky sú čo najlepšie natočené do smeru vetra. Konštrukcia takýchto rotorov nie je ani zďaleka tak jednoduchá ako sa na prvý pohľad môže zdať, pretože tieto rotory musia byť navrhované tak, aby ich využitie bolo čo najlepšie. Podstatne ľahšiu konštrukciu majú rotory s vertikálnou osou otáčania. Najznámejšie rotory z tejto koncepcie sú Savoniusov a Darrieusov rotor [5]. Výhodou

u týchto rotorov je, že nepotrebujú byť nатаčané do smeru vetra a do pohybu sa dostávajú už pri nízkych rýchlostiach vetra. Nachádzajú dobré uplatnenie v oblastiach, kde nie je stabilná rýchlosť a smer vetra.

Konštrukcia modelov veterných turbín spočívala v zostrojení modelu veterného parku. Konštrukčne boli zhotovené turbíny s vertikálnou osou otáčania, ktoré majú ľahšiu konštrukciu a nepotrebujú nатаčanie do smeru vetra. Z nameraných hodnôt sa zistilo, že skonštruované rotory vyhovujú laboratórnym podmienkam a tvoria model veternej farmy. Rotory sa dostali do pohybu pri rýchlostiach vzdušného prúdu o hodnote od 1,2 do 2 m/s, čím sa potvrdilo, že sa rozbiehajú pri nízkych rýchlostiach vetra. Pri zvyšovaní rýchlosti vzdušného prúdu sa okrem otáčok zvyšovalo aj napätie z generátora. Pre zistenie prúdov bola ku generátorčeku pripojená záťaž s hodnotou 200 Ω , podľa ktorej bol generovaný prúd vypočítaný.

Najlepšie výsledky vykazovali dvojstupňové a trojstupňové Savoniusove rotory, ktoré dobre spracovali vzniknuté turbulencie a dokázali by pracovať ešte s vyššími rýchlosťami vetra, ako boli namerané v laboratórnym podmienkach. Klasické Savoniusove rotory majú pomerne vysoký aerodynamický odpor, čo sa prejavovalo hlavne pri vyšších rýchlostiach prúdenia vzduchu. Jednotlivé konštrukčné typy turbín vykazovali dobrú stabilitu v celom rozsahu rýchlosti prúdenia vzduchu, takže ich nebolo potrebné vyvažovať. V konečnom dôsledku tieto turbíny tvoria spolu s podstavcom model veternej farmy, ktorá môže slúžiť v ďalšom období na rôzne merania, alebo ako ukážka prevádzky veterných elektrární s vertikálnou osou otáčania.

Vertikálne rotory sa v súčasnosti často používajú na zabezpečenie elektriny v autonómnych systémoch v spolupráci s fotovoltickými panelmi čím sa dosahuje lepšia stabilita a spoľahlivosť dodávaného výkonu.

POĎAKOVANIE

Tento príspevok vznikol vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj pre projekt: Centrum výskumu účinnosti integrácie kombinovaných systémov

obnoviteľných zdrojov energií, s kódom ITMS: 26220220064, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.



Európska únia
Európsky fond regionálneho rozvoja



Podporujeme výskumné aktivity na Slovensku/Projekt je spolufinancovaný zo zdrojov EÚ.

LITERATÚRA

- [1] R. Rybár, D. Kudelas, G. Fischer, "Alternatívne zdroje energie 3: veterná energia," ES/AMS Košice, 2004. 99 p., ISBN 80-8073-144-6.
- [2] I. Viťaz, M. Ďulík, Z. Dostál, "Prenos dát meraných meteorologických veličín do počítača," Alternatívne zdroje energie ALER 2008, Liptovský Ján, 2008, pp. 79-86, ISBN 978-80-8070-912-9.
- [3] D. Kudelas, R. Rybár, M. Cehlár, "Energia vetra: prírodné, technické a ekonomické podmienky jej využitia," FBERG TU Košice, 2009, 215 p., ISBN 978-80-553-0169-3.
- [4] M. Taušová, P. Tauš, J. Koščo, "Ekonomika ostrovnej FV elektrárne v podmienkach Slovenska," Alternatívne zdroje energie ALER 2009, Liptovský Ján, 2009, pp. 1-8, ISBN 978-80-554-0099-0.
- [5] Z. Dostál, M. Bobek, J. Župa, "Meranie globálneho slnečného žiarenia," in Acta Montanistica Slovaca, vol. 13, no. 3, 2008, pp. 355-360, ISSN 1335-1788.
- [6] P. Bača, "Ostrovni systémy: Problematika akumulace elektrické energie z FV do olověného akumulátoru," 30. Nekonvenční zdroje elektrické energie NZEE, ČES, VUT Brno, 2009, pp. 70-73, ISBN 978-80-02-02164-3.
- [7] Š. Hudák, S. Šimoňák, "Programovacie techniky," FEI TU Košice, 2010, 220 p., ISBN 978-80-553-0531-8.

Overvoltage protection of photovoltaic panels and systems

Ing. Jaroslav Petráš, PhD
Katedra elektroenergetiky
FEI TU Košice
Košice, Slovensko
jaroslav.petras@tuke.sk

Abstract — This paper deals with overvoltage protection strategy and methods for photovoltaic systems as renewable energy source. It describes some sample circuit connection with overvoltage protection devices and some overvoltage protection device types.

Keywords: Overvoltage; photovoltaic panel

I. INTRODUCTION

World consumption of energy gets higher and higher every year. With this energy demand increase most of the energy sources used so far appears to be insufficient and exploitable in relatively short time horizons. One of the alternative solutions is to increase the contribution of renewable energy sources. Among these sources like e.g. wind power plants has an important place also the exploitation of solar energy. Solar light energy exploitation uses photovoltaic effect. It is expected that in some years a contribution of solar power plants as the cleanest energy source will be much higher than in these days. This requires an installation of more and more photovoltaic and solar systems.

II. SITUATION IN PHOTOVOLTAIC SYSTEM CONSTRUCTION

The damage of the electrical and electronic equipment of photovoltaic system due to surges is originated by LEMP – Lightning electromagnetic pulse as well as by switching electromagnetic impulse (SEMP). In most cases, LEMP stress affects photovoltaic system components intensively. SEMP surges can degrade these components in continuous way and can be as dangerous as LEMP for system components [5]

A photovoltaic system element is the basic part for solar radiation change into electrical energy. May this element be made of any material it is always a large surface semiconductor device with one or more PN junctions. The dimensions of commercially made elements are not larger than 200mm and their thickness does not exceed 400μm. So they represent very thin semiconductor device.

In addition solar panels require installation places with direct overvoltage hazard due to atmospheric discharges. These places include building rooftops and external places on the terrain level. In both cases lightning conductor system installation is possible (or may be used a system that already exists).

In the case without lightning conductor system the solar panels are situated according to direct and indirect lightning effect in the LPZ 0_A lightning protection zone, if there is a lightning conductor system, panels are situated in LPZ 0_B zone, (defined according to IEC 1312-1 and STN EN 62305).

In the zone LPZ 0_A with undamped electro-magnetic field a system of photovoltaic panels is exposed to hazard of direct lightning hit (full lightning current transfer). In the zone LPZ 0_B there is no hazard of direct lightning hit but there is still the hazard of undamped electro-magnetic field.

III. COUPLING OF SURGES

There are more ways how overvoltage can intrude a photovoltaic system.

Galvanic Coupling

Galvanic coupling is direct lightning flash at grounded and exposed conductive parts photovoltaic system. These may create the breakdown of insulation of the photovoltaic equipment.

Resistive Coupling

Direct lightning flashes at the external lightning protection system or into the immediate surroundings of the photovoltaic system can cause an earth potential to become higher.

Inductive Coupling

The lightning discharge creates a variable magnetic field around both the flash channel of the discharge and the conductors of the external lightning protection system if there is any. This field change induces surges in all wiring loops of the photovoltaic system. Not only direct flashes into photovoltaic system components but also nearby flashes within clouds or to nearby objects can induce such surge. There are two types of induction loops in photovoltaic system: a loop induced by active drivers and by active wires and a protective bonding conductor. The internal loop of single photovoltaic modules must also be taken into account.

Capacitive Coupling

The electric field of a thunderstorm cloud originates a charge separation in semiconductors of the photovoltaic system. At the moment of lightning discharge occurs, the electric field collapses and a new charge transfer appears once again. The charge flows through all conductors connected to the earth as transient surge [5].

IV. OVERVOLTAGE PROTECTION OF PHOTOVOLTAIC SYSTEMS

The facts mentioned above result in the demand for overvoltage protection for photovoltaic panels. With the increase of this kind of energy source the reliability of source operation gets more important. This includes also protection strategy against energy supply drop-outs caused by lightning hit into unprotected solar power plants.

As of now there are many producers that have added very flexible to their product ranges also overvoltage protection devices designed especially for photovoltaic panels. These products are mainly classified into I + II class of overvoltage protection device types.

These are e.g. compact I + II (according to IEC 61643-1 and STN EN 61643-11) protection devices (Fig. 1). They are made especially for the protection of positive and negative buses of photovoltaic panels against overvoltage. It is advisable to connect these devices on the interface of LPZ 0_(B) zones – 1 and above.

From the construction point of view they consist of varistors or varistor sections connected between L+, L- and PE wires. Varistor sections have internal disconnecters that are activated during faults or in the case of varistor overheating. Disconnecters indicate their state usually mechanically. Additionally, overvoltage protection devices can be equipped with remote signalization of faulty devices.

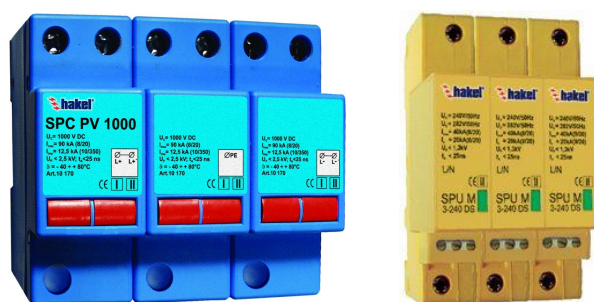


Fig. 1 Overvoltage protection devices (HAKEL producer)

Protection devices usually have various levels of maximal continuous DC voltage U_C (e.g. 200, 400, 600, 800 and 1000V) and various values of voltage protection level (at I_{imp}) U_P (e.g. smaller than 250, 1100, 2000, 2400 and 3400V). Maximal leakage current is also an important parameter - I_{max} (8/20 shaped wave) can be e.g. 120kA.

On Fig. 2 and 3 there are depicted some sample connections of these device types:

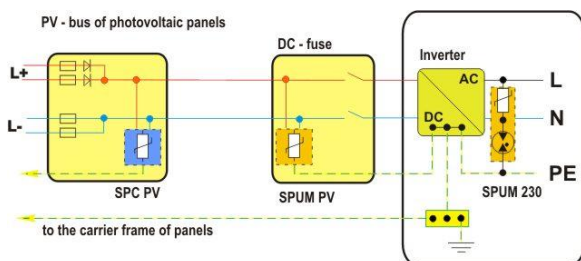


Fig. 2 – Overvoltage protection device connection examples (e.g. HAKEL SPUM PV)

The carrier frame of photovoltaic panels, PE pin of surge protection devices have to be connected.

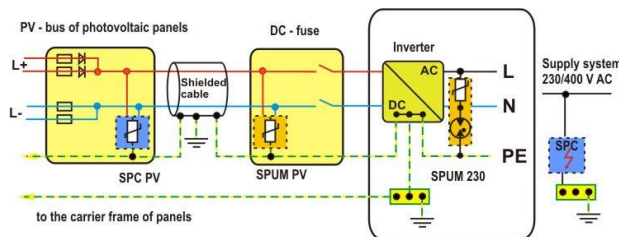


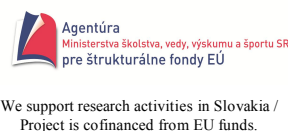
Fig. 3 – Overvoltage protection device connection examples (e.g. HAKEL)

V. CONCLUSION

With the increase of renewable energy sources and especially solar power plants the reliability of source operation gets more important. The question of protection strategy against energy supply drop-outs caused by lightning hit into unprotected solar power plants is very important nowadays and requires also the knowledge in the area of overvoltage protection system design.

ACKNOWLEDGEMENT

This publication is the result of the Project implementation: Výskum charakteristík fotovoltaičských komponentov pre efektívne projektovanie solárnych systémov, ITMS: 26220220080 supported by the Research & Development Operational Programme funded by the ERDF.



REFERENCES

- [1] Katalóg produktov HAKEL 2007 – Zvodiče prepätia
- [2] Marton, K.: Ochrana počítačových sietí voči prepätiam; Vydavateľstvo MERCURY – Smekal, Košice 2001; ISBN 80-89061-29.
- [3] Hasse, P.: Koncepce ochrany před bleskem a přepětím v souladu s požadavky EMC. Zborník prednášok zo sympózia. Elektromagnet Brno, 1993.
- [4] PETRÁŠ, Jaroslav et al.: Ochrana fotovoltaičských a solárnych systémov. In: Strojárstvo. roč. 11, č. 7-8 (2007), pp. 68-69. Internet: www.strojarkstvo.sk ISSN 1335-2938.
- [5] Hernandez, J.C., Vidal, P.G., Jurado, F.: Lightning and Surge Protection in Photovoltaic Installations, Power Delivery, IEEE Transactions on, Issue Date: Oct. 2008, pp: 1961 – 1971, ISSN: 0885-8977

Considerations in overvoltage protection design for photovoltaic panels and systems

Ing. Jaroslav Petráš, PhD
Katedra elektroenergetiky
FEI TU Košice
Košice, Slovensko
jaroslav.petras@tuke.sk

Abstract — This paper describes objectives that have to be taken into account with overvoltage protection strategy and design for photovoltaic systems. These serve as a renewable energy source and are nowadays widely used.

Keywords: *Overvoltage; photovoltaic panel*

I. INTRODUCTION

With this energy demand increase most of the energy sources used so far appears to be insufficient and exploitable in relatively short time horizons. One of the alternative solutions is to increase the contribution of renewable energy sources. Nowadays widely used alternative among these sources like e.g. wind power plants is the exploitation of solar energy. Solar light energy exploitation uses photovoltaic effect. This requires an installation of more and more photovoltaic and solar systems. This situation requires this energy source to be more and more reliable. One of the risks in exploiting and relying on such energy source is overvoltage and damages caused by overvoltage. Lightning protection systems are intended to prevent or to minimize the physical damage due to lightning flashes to the protected photovoltaic system. It consists of both external and internal lightning protection system.

II. EXTERNAL LIGHTNING PROTECTION SYSTEM

External lightning protection system has to be established in order to prevent photovoltaic system parts such as air-termination system, vertical air-termination rods and masts, horizontal wires and mesh air-termination system. It conducts the lightning current safely into earth by conductor system and disperses the lightning current into the earth by an earth-termination system.

According to IEC 63305-3 physical design and construction, maintenance and inspection of an external lightning protection system can be executed. We have to take into account the class of lightning protection system, isolation of external lightning protection system from protected structure, potential use of natural components, positioning, used materials and sizing of components [5].

Area protected by the external lightning protection system can be calculated using of the following methods:

- protection angle or
- rolling sphere or mesh method.

In photovoltaic systems external lightning protection system has to be designed so that all components of the system must be inside of the protected area.

III. INTERNAL LIGHTNING PROTECTION SYSTEM

Internal lightning protection system is designed to prevent dangerous overvoltages intruding into protected photovoltaic system or its components. There are various measures to fulfill this task, e.g. equipotential bonding, equipotentialization by interconnecting the external lightning protection system with structural metal parts, external conductive parts, internal metal installations and systems and incoming services.

IV. MEASURES FOR LEMP PROTECTION

Main aim of lightning protection system is to avoid failure of electrical and electronic equipment of photovoltaic systems due to LEMP. This can be caused by conducted and induced surges via connecting wiring according to surge coupling type. All measures lead to avoid the formation of surges and equalizing all different potentials to a common potential at the instant of surge. Lightning protection system divides the protected space into successive zones according to IEC 63305.

Basic measures are mentioned below:

Grounding

DC photovoltaic device grounding needs bonding to earth including any metal parts. The grounding of devices must not be executed if the prevention against electric shock is achieved by use of class II insulation. That means safety class II or extra-LV safety class III. But DC photovoltaic component grounding is compulsory if there is protection by automatic disconnection of supply applied, i.e. we have safety class I.

If a separate grounding electrode is provided for DC photovoltaic component grounding, it shall be connected to the installation earth.

Equipotential Bonding

A bonding network minimizes differences between potentials. Network can be arranged by integrating magnetic shields of lightning protection zone at the periphery or conductive parts of the systems inside of the LPZ, and by bonding metal parts or conductive services at the boundary of each lightning protection zone directly or by using reliable .

Network connected to the earth terminal system consists of complete grounding system. It consists of structural metal parts, external conductive parts, magnetic shields, internal metal installations parts, metal components of internal systems.

It is necessary that incoming ports should enter the lightning protection zone at the same location and be connected to the same bonding bar.

Magnetic Shielding

Magnetic shielding is used for magnetic field minimization inside lightning protection zone. This magnetic field can be induced by lightning flash near photovoltaic system.

To protect volumes spatial shields are used to create single protected areas. This should include inverter control building in lightning protection zone 1, space containing sensitive photovoltaic equipment and devices in lightning protection zone 1 or 2, area intended for sensitive equipment e.g. monitoring equipment in lightning protection zones 2 or 3.

To protect buildings steel reinforcement in concrete and metal walls are used to shield buildings or rooms. The mesh width below should be 5 m.

The line and cable screening is used for power and telecommunication lines. This is designed to use metallic shield of cables.

Cable Routing

Suitable cable routing minimizes induction loop area helping to reducing induced internal overvoltages. Loop area must be minimized by routing the cables. Electrical and signal lines should be routed together. + and – cables must be bundled together. Layout of the wiring is also important, so that enclosed wiring areas should be as small as possible.

Line routing and shielding are important for outer lightning protection zone design and for LPZ 1.

Isolating interfaces

Isolating interfaces is used to avoid induced overvoltages through the sensitive photovoltaic equipment and its connected signal lines due to large loops or bad bonding network.

Usage of surge protection devices

Surge protection devices are devices used to achieve lightning and surge equipotential bonding for live conductors of incoming lines in a lightning protection zones and its connected internal live circuits. The basic idea is to create temporary short-circuit between line and grounding in the case of overvoltage, so that the overvoltage can be led to the earth, avoiding the overvoltage to intrude into protected circuits.

V. OVERVOLTAGE PROTECTION OF PHOTOVOLTAIC SYSTEMS

These are e.g. compact I + II (according to IEC 61643-1 and STN EN 61643-11) protection devices. They are made especially for the protection of positive and negative buses of photovoltaic panels against overvoltage. It is advisable to connect these devices on the interface of LPZ 0_{A(B)} zones – 1 and above.

From the construction point of view they consist of varistors or varistor sections connected between L+, L- and PE wires. Varistor sections have internal disconnecters that are

activated during faults or in the case of varistor overheating. Disconnecters indicate their state usually mechanically. Additionally, overvoltage protection devices can be equipped with remote signalization of faulty devices.

Protection devices usually have various levels of maximal continuous DC voltage UC (e.g. 200, 400, 600, 800 and 1000V) and various values of voltage protection level (at I_{imp}) U_p (e.g. smaller than 250, 1100, 2000, 2400 and 3400V). Maximal leakage current is also an important parameter - I_{max} (8/20 shaped wave) can be e.g. 120kA.

VI. CONCLUSION

There are various measures that have to be taken into account when designing photovoltaic system and lightning protection system for its components. These measures can be divided into internal and external lightning protection system. These measures help us to improve the reliability of source operation. The strategy against energy supply drop-outs caused by lightning hit into unprotected solar power plants is very important nowadays and requires also the knowledge in the area of overvoltage protection system design.

ACKNOWLEDGEMENT

This publication is the result of the Project implementation: Výskum charakteristík fotovoltaičských komponentov pre efektívne projektovanie solárnych systémov, ITMS: 26220220080 supported by the Research & Development Operational Programme funded by the ERDF.



We support research activities in Slovakia /
Project is cofinanced from EU funds.



REFERENCES

- [1] Katalóg produktov HAKEL 2007 – Zvodiče prepätia
- [2] Marton, K.: Ochrana počítačových sietí voči prepätiam; Vydavateľstvo MERCURY – Smekal, Košice 2001; ISBN 80-89061-29.
- [3] Hasse, P.: Koncepce ochrany před bleskem a přepětím v souladu s požadavky EMC. Zborník prednášok zo sympózia. Elektromagnet Brno, 1993.
- [4] PETRÁŠ, Jaroslav et al.: Ochrana fotovoltaičských a solárnych systémov. In: Strojárstvo. roč. 11, č. 7-8 (2007), pp. 68-69. Internet: www.strojartstvo.sk ISSN 1335-2938.
- [5] Hernandez, J.C., Vidal, P.G., Jurado, F.: Lightning and Surge Protection in Photovoltaic Installations, Power Delivery, IEEE Transactions on, Issue Date: Oct. 2008, pp: 1961 – 1971, ISSN: 0885-8977

Využitie platformy Arduino pre nastavenie MPPT vo fotovoltike

Dušan Medveď, Michal Kolcun
Katedra elektroenergetiky FEI TU v Košiciach
Mäsiarska 74
041 20 Košice, Slovenská republika
Dusan.Medved@tuke.sk, Michal.Kolcun@tuke.sk

Rastislav Stolárik, Štefan Vaško
VÁDIUM s.r.o.
Plzenská 2
080 01 Prešov, Slovenská republika
stolarik@vadium.sk, vasko@vadium.sk

Abstrakt — Tento príspevok sa venuje využitiu open-source platformy Arduino pre nastavenie MPPT (maximálneho výkonového bodu) fotovoltických panelov.

Kľúčové slová: MPPT; Arduino; fotovoltický panel

Abstract — This paper deals with the open-source platform Arduino for setting the MPPT (Maximum power point tracking) of photovoltaic panels.

Keywords: MPPT; Arduino; photovoltaic panel

I. ÚVOD

Dôležitejším aspektom solárneho článku je premena slnečnej energie priamo na elektrickú energiu pomocou solárnych fotovoltických (FV) modulov – väčšinou vyrobených z kremíkových článkov. Výstup každého článku dáva relatívne nízke napätie (cca 0,7 V v stave naprázdno), preto sa články zapájajú do série a tvoria tak moduly. V typickom module, môže byť až 36 solárnych článkov, ktoré produkujú napätie cca 20 V a viac (naprázdno). Aj keď sa cena týchto článkov znižuje, použitie solárneho modulu stále vyžaduje značné finančné investície. Aby sa zvýšila účinnosť FV modulov, je potrebné správne osadiť a umiestniť FV panel.

FV článok sa používa efektívne vtedy, keď pracuje pri svojom optimálnom pracovnom bode. Výkon daného solárneho článku závisí však od viacerých faktorov. V každom okamihu pracovný bod FV článku závisí od rôznych úrovní slnečného ožiarenia, smeru ožiarenia, teploty, ako aj aktuálneho zaťaženia systému. Množstvo energie, ktoré možno získať z fotovoltického článku/panelu tiež závisí od prevádzkového napätia tohto článku/panelu. Preto je dobré sledovať bod tzv. maximálneho výkonu (MPP), pri ktorom sledujeme jeho napäťovo-prúdovú ($U-I$) a napäťovo-výkonovú ($U-P$) charakteristiku. Solárne články majú relatívne nízku účinnosť a preto je nastavenie MPP veľmi výhodné, pretože v tomto bode bude FV článok/panel pracovať na najvyššom výkone. S neustálymi meniacimi atmosférickými podmienkami a premenlivým zaťažením by bolo veľmi obťažné využiť celú dostupnú energiu zo Slnka bez riadeného systému. Pre získanie najvyššieho výstupného výkonu je preto nevyhnutné, aby FV články pracovali v optimálnom režime a dodávali do siete najvyšší výkon. Riešením tohto problému môže byť využitie maximálneho špičkového výkonu využitím polohovacieho systému (tzv. MPPT).

MPPT sa zvyčajne prevádzkuje s využitím DC/DC meniča (typu step-up (zvyšujúci) alebo step-down (znižujúci)). Menič DC/DC sa stará o to, aby sa z FV modulu preniesol čo najväčší výkon v závislosti od zaťaženia. Najjednoduchší spôsob

prevádzky MPPT je prevádzkovať FV panel s konštantným napätím a generovaný výkon prekonvertovať meničom DC-DC. Táto prevádzka je v režime konštantného maximálneho vyrábaného výkonu.

II. VOĽBA HARDVÉRU – PLATFORMA ARDUINO

Arduino je otvorená (open-source) elektronická platforma, založená na užívateľský jednoduchom hardvéri a softvéri. Arduino je určené pre domácich majstrov, kutilov, umelcov, dizajnérov – skrátka pre každého, koho zaujíma vytváranie interaktívnych objektov alebo prostredí.

Arduino je schopné vnímať okolité prostredie prostredníctvom vstupom z rôznych snímačov. Zároveň môže ovplyvňovať okolie pripojeným LEDkami, motorčekom a ďalšími výstupnými perifériami.

Mikroprocesor na doske Arduina sa programuje pomocou špeciálneho Arduino programovacieho jazyka (založený na jazyku Wiring – podobný jazyku C) vo vlastnom Arduino vývojovom prostredí. Projekty založené na Arduine môžu jednoducho komunikovať so softvérom na stolnom počítači alebo notebooku (napr. Flash, Processing, MaxMSP).

Plošné dosky Arduino je možné zostavovať ručne alebo zakúpiť už zostavené a otestované; softvér je možné stiahnuť zdarma. Návrhy plošného spoja sú k dispozícii pod open-source licenciou, je ich teda možné upravovať podľa potrieb.

Hlavné výhody:

- jednoduché programovanie,
- jednoduché zapojenie,
- nízka cena oproti iným súpravám,
- množstvo návodov,
- užívateľská komunita,
- platformová nezávislosť (Win/Linux/MacOS/...).

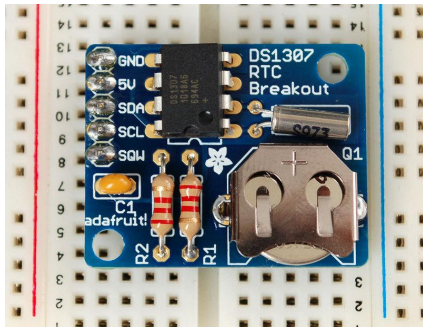
Hardvér Arduino

Arduino je lacná, robustná vývojová súprava založená na mikroprocesore ATmega328. Má 13 digitálnych vstupno-výstupných pinov (z toho 6 s podporou PWM – Pulse Width Modulation) a 6 analógových vstupov.

III. RIADENIE DVOJOSOVÉHO SOLÁRNEHO TRACKERA VYUŽITÍM PLATFORMY ARDUINO

Predkladaný projekt je založený na platforme Arduino s mikroprocesorom atmega328, ktorý riadi dva ovládacie prvky

s 24 V jednosmernými motorčekmi. Program vypočítava aktuálnu pozíciu Slnka na oblohe v stupňoch (eleváciu a azimut) podľa dátumu a času získaného z reálnych hodín (prvok DS1307) a súradníc miesta.



Obr. 1. Hodiny reálneho času DS1307 Breakout Board Kit

Teória pohybu Slnka je známa a dá sa vyjadriť nasledovne.

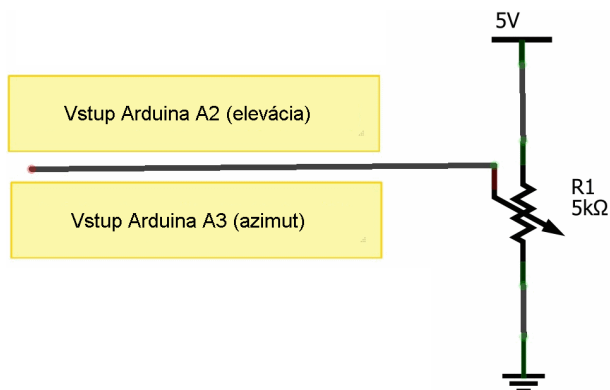
Pohyb Slnka

Uhol dopadajúceho slnečného žiarenia na Zem sa mení s rotáciou Zeme okolo svojej osi a rotáciou Zeme okolo Slnka. Z pevného bodu na Zemi sa javí akoby Slnko prechádzalo cez oblaky. Pozícia Slnka preto závisí od miesta na Zemi a času, kedy pozorujeme dopadajúce slnečné žiarenie.

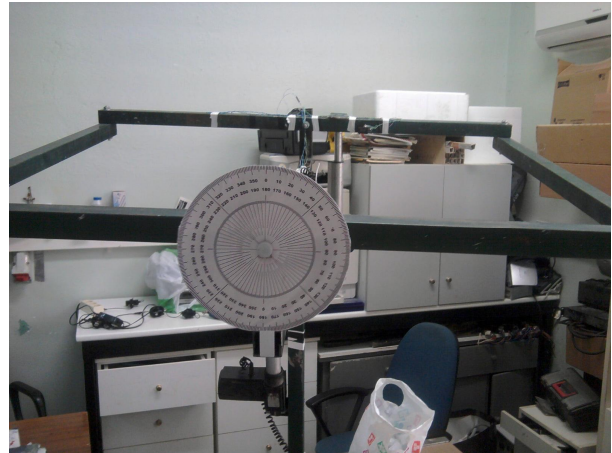
Tento zdanlivý pohyb Slnka má veľký vplyv na množstvo energie, ktorú prijme solárny kolektor. Ak sú slnečné lúče kolmé na absorbujúci povrch, hustota výkonu na povrchu je rovná hustote dopadajúcej energie. Avšak, ak sa uhol medzi slnkom a absorbujúcim povrchom zmení, zníži sa intenzita dopadajúceho žiarenia. Ak je FV modul natočený paralelne k slnečným lúčom (a normálový uhol FV modulu je rovný 90°), hustota dopadajúceho slnečného žiarenia je takmer rovná nule. Pre vnútorné uhly, relatívna hustota výkonu je $\cos \varphi$, kde φ je uhol medzi slnečnými lúčmi a normálou FV modulov.

Uhol medzi Slnkom a pevným miestom na Zemi závisí od konkrétneho miesta (zemepisnej dĺžky), od ročného obdobia a aktuálneho času. Okrem toho, v čase, keď Slnko stúpa, závisí od zemepisnej dĺžky daného miesta. Preto, kompletne modelovanie uhla Slnka na pevnú pozíciu na Zemi si vyžaduje zemepisnú šírku, dĺžku, deň v roku, a presný čas.

Pre meranie stupňov v danom prípade je možné použiť potenciometer na každej osi. Arduino ADC mení napätie potenciometra na stupne, 30 až 90 stupňov pre eleváciu a 120 až 240 stupňov pre azimut. Potenciometre nie sú veľmi presné pre meranie uhlov, naproti tomu dekodéry by presnejšie odčítavali napätie, ale sú drahšie.

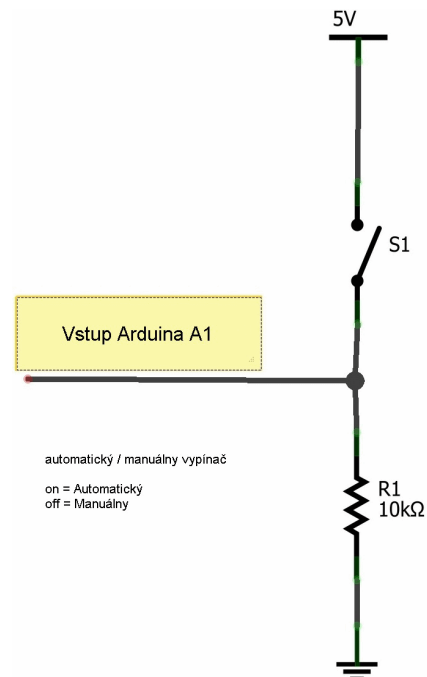


Obr. 2. Schéma potenciometra

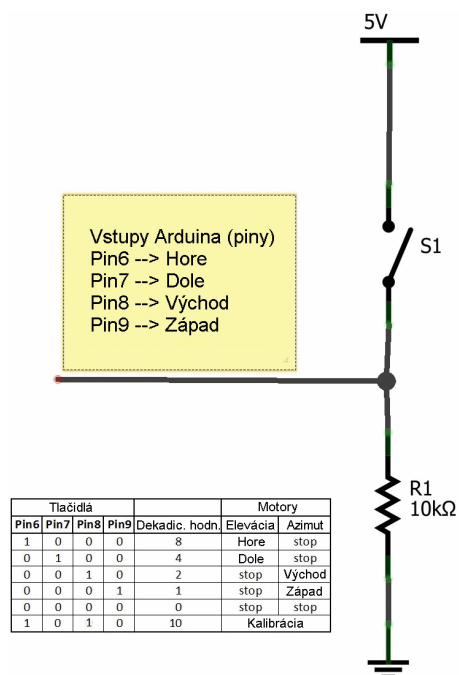


Obr. 3. Schéma potenciometra

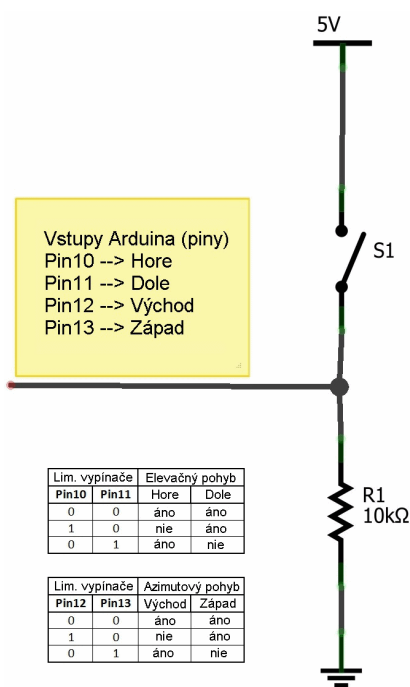
Prepínač mení stav trackera (On/Off) do „režimu sledovania Slnka“ tak, že sa pohybuje automaticky v závislosti od danej hodnoty v stupňoch, ktorú vypočíta, a do „ručného režimu“, využitím štyroch tlačidiel tak, že je možné ho ručne posunúť do rôznych smerov. Ak sa stlačí tlačidlo Hore (UP) a tlačidlo Východ (EAST) súčasne, mení sa do „režimu kalibrácie“ tak, že sa otestujú všetky pohyby jeden po druhom, pokým sa nedosiahne limitná hodnota vypínača, a potenciometer tak môže odčítať túto hodnotu a uložiť ju do pamäte RTC (Real Time Clock).



Obr. 4. Schéma prepínača On/Off

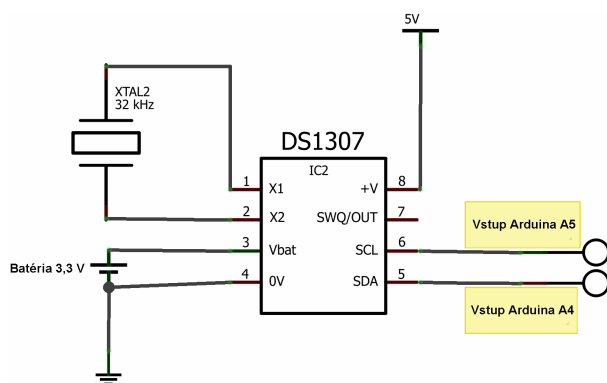


Obr. 5. Schéma ručného posunu tlačidlami



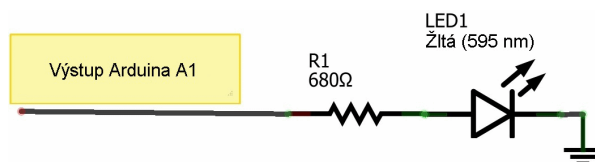
Obr. 7. Schéma krajných vypínačov

Hodiny reálneho času (Real Time Clock DS1307) udržiava čas, dátum a deň v týždni a má tiež pamäť. Možno by bolo vhodné v tomto prípade doplniť niekoľko kondenzátorov ku kryštálu, pretože tie udržiavajú stratový čas.



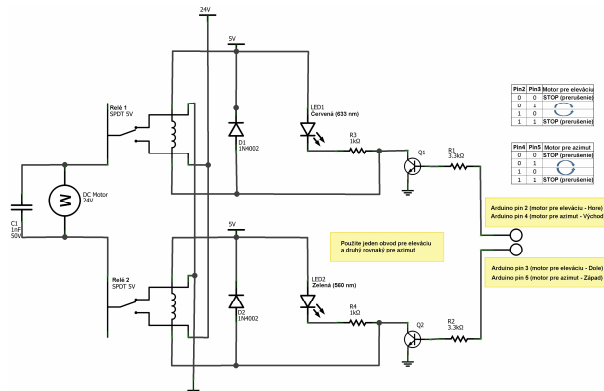
Obr. 6. Schéma RTC DS1307

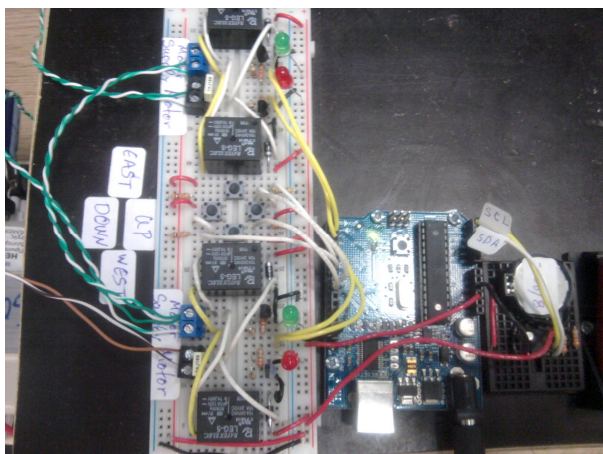
Pre indikovanie aktivácie aspoň jednej krajnej polohy trackera slúži príslušná LED pre všetky štyri koncové spínače pre každú krajinú polohu dvoch osí trackera.



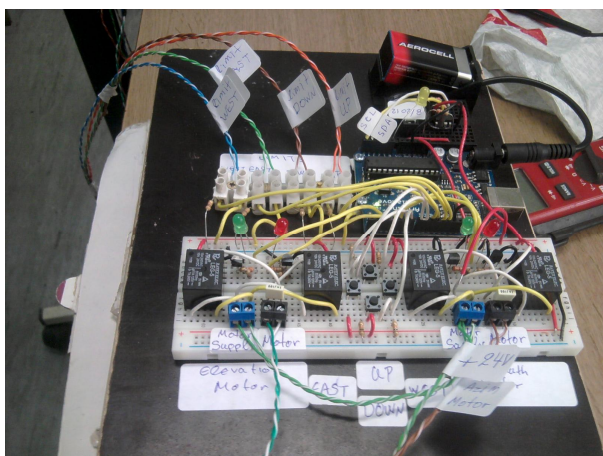
Obr. 8. Dosiahnutie limitujúcej hodnoty indikuje LED dióda

Dva jednosmerné 24 V motory sú riadené cez H-mostík s dvomi relé. Je dobré si všimnúť, že zastavenie motora sa realizuje tzv. rekuperačným spôsobom.

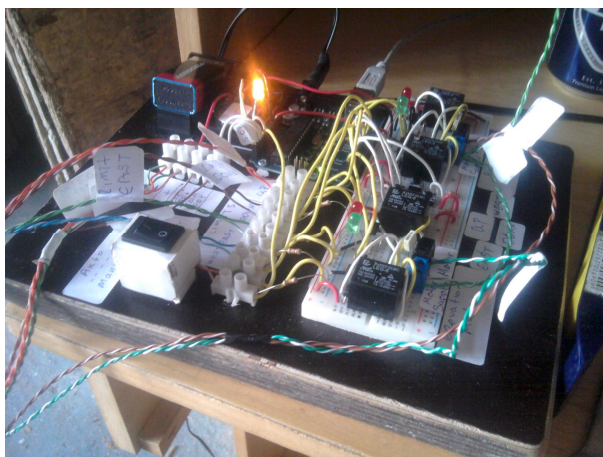




a)



b)



c)

Obr. 10. Zostava testovacej dosky (breadboard doska) s postupným pridávaním prvkov

Zem sa pohybuje 360 stupňov za 24 hodín, čo znamená 15 stupňov za hodinu alebo 60 minút, takže to je jeden stupeň za každé 4 minúty. Pre Arduino bol vytvorený program, aby sa tracker pohyboval každých 16 minút do vypočítaných pozícií a 8 minút posun od aktuálneho času, teda 2 stupne posun od Slnka. Pri ďalších 8 minútach, Slnko priamo dopadá na tracker

a prechádza ním v uhle 2 stupňov a následne tracker vypočíta novú pozíciu a posunie sa na novú pozíciu. Ak stupeň elevácie je rovný alebo menší ako nula, teda Slnko zapadlo, tracker sa posunie do horizontálnej polohy a zostane v nej celú noc, kým opäť nevyjde Slnko.

Pozn.: Nosnú konštrukciu je možné zostaviť z jāklov, ale pre laboratórne účely sa môže zostaviť aj drevená konštrukcia s nižšou hmotnosťou na presun. Lineárne posuvné piesty môžu byť zo starých nemocničných lôžok, alebo z posuvných kresiel. Návrh nosnej konštrukcie zostáva na zručnosti daného mechanika.



Obr. 11. Mechanická nosná konštrukcia

Zdrojový kód pre Arduino je možné nájsť na stránke <http://www.kokoras.com/solartracker/Arduinnocontrolledsolartacker.htm>.

POĎAKOVANIE

Tento príspevok vznikol vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj pre projekt: Výskum charakteristík fotovoltaičských komponentov pre efektívne projektovanie solárnych systémov, s ITMS kódom: 26220220080, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.



Európska únia
Európsky fond regionálneho rozvoja



Podporujeme výskumné aktivity na Slovensku/Projekt je spolufinancovaný zo zdrojov EÚ.

LITERATÚRA

- [1] Kostas Kokoras: *Arduino Controlled Dual-axis Solar Tracker* [online]. Dostupné na internete: < <http://www.kokoras.com/solartracker/en/> >.
- [2] Christiana Honsberg, Stuart Bowden: *Motion of the Sun*. [online]. Dostupné na internete: < <http://www.pveducation.org/pvcdrom/properties-of-sunlight/motion-of-sun> >.
- [3] Adafruit Learning Technologies: *DS1307 Real Time Clock Breakout Board Kit*. [online]. Dostupné na internete: < <http://learn.adafruit.com/ds1307-real-time-clock-breakout-board-kit> >.
- [4] Dušan Medveď: *Možnosti zvýšenia účinnosti fotovoltaičských panelov*. In: *Elektroenergetika*. Roč. 4, č. 1 (2011), - ISSN 1337-6756.

Využitie štatistických metód pri spracovaní dát z fotovoltických panelov

Dušan Medveď, Michal Kolcun
Katedra elektroenergetiky FEI TU v Košiciach
Mäsiarska 74
041 20 Košice, Slovenská republika
Dusan.Medved@tuke.sk, Michal.Kolcun@tuke.sk

Rastislav Stolárik, Štefan Vaško
VÁDIUM s.r.o.
Plzenská 2
080 01 Prešov, Slovenská republika
stolarik@vadium.sk, vasko@vadium.sk

Abstrakt — Tento príspevok sa venuje nasadeniu štatistických metód a ich modifikácií pri vyhodnotení nameraných dát z fotovoltických panelov.

Kľúčové slová: štatistické metódy; fotovoltický panel

Abstract — This paper deals with the use of statistical methods and their modifications for the evaluation of the measured data of photovoltaic panels.

Keywords: statistical methods; photovoltaic panel

I. ÚVOD

Pre odhadovanie chýb a analýzu neštandardných zmien vo fotovoltických elektrárňach sa s výhodou využívajú štatistické metódy. Vďaka nim je možné pomerne rýchlo prísť na chyby, ktoré by predtým ostali neodhalené a kvôli ktorým by mohol majiteľ FV elektrárne prísť o svoje výnosy alebo ktoré by smerovali k závažnejším poruchám. Medzi najčastejšie štatistické analýzy, ktoré je možné vyhodnotiť patrí štatistické porovnávanie striedača a FV elektrární medzi sebou; využitie dlhodobej štatistiky pre vyhľadávanie skrytých porúch striedačov a štatistické zobrazenie grafických prehľadov výroby v príslušných časových úsekoch.

Diagnostika a nedeštruktívna hĺbková analýza pri testovaní FV panelov vedie k získavaniu dát, ktoré je potrebné následne spracovať. Medzi diagnostické metódy patrí napríklad V-A analýza, meranie prostredníctvom termokamery alebo elektroluminiscencie. Vďaka nim je možné pomerne jednoducho predpovedať poruchu, poprípade následne dokladovať podklady pre reklamáciu FV panelu. Výsledky sú samozrejme ovplyvnené použitou meracou, resp. vyhodnocovacou štatistickou metódou, ktorá podáva obraz príslušných chýb, resp. nameraných kvalít konkrétneho typu FV panelu.

II. VYUŽITIE ŠTATISTICKÝCH METÓD PRI SPRACOVANÍ NAMERANÝCH DÁT Z FOTOVOLTICKÝCH PANELOV

Pojem štatistika je veľmi obšírny. V praxi sa neraz stretneme so slovnými spojeniami: „štatisticky bolo zistené, že ...“ alebo štatistika hovorí, že ...“, pričom je podaná informácia o istej skutočnosti (napr. priemerný zárobok alebo hmotnosť, sledovanosť istej televíznej stanice, životnosť výrobkov, spotreba benzínu, volebné preferencie atď.). Takáto informácia je stopercentne pravdivá len vtedy, ak sa zistil skúmaný **štatistický znak** (zárobok, hmotnosť, sleduje – nesleduje atď.) pre každú **štatistickú jednotku**, t.j. pre každý objekt skúmania. To sa však dá len zriedkavo realizovať, mohlo by to byť finančne náročné alebo by to stratilo zmysel (napr. pri

získovaní životnosti výrobkov by sme zlikvidovali celú výrobu). Preto sa zistí skúmaný znak na **náhodnom výbere – vybranej vzorke** a zo získaných údajov sa urobí zovšeobecnenie vo forme štatistického záveru o celom **základnom súbore**, t.j. o celej množine štatistických jednotiek, ktorá je predmetom skúmania.

Pri tomto postupe však musíme pripustiť riziko, že náš štatistický záver o základnom súbore nebude dobrý. Mieru tohto rizika charakterizujeme tzv. **hladinou významnosti** $\alpha \in (0, 1)$, ktorá v podstate stanovuje pravdepodobnosť toho, že náš štatistický záver je chybný. Číslo $\gamma = 1 - \alpha$ udáva zrejme pravdepodobnosť správneho záveru, a preto je prirodzené nazvať ho **koefficientom spoľahlivosti**.

Medzi hlavné úlohy štatistického skúmania patria:

- odhady a intervaly spoľahlivosti parametrov základného súboru;
- testovanie štatistických hypotéz;
- korelačná a regresná analýza.

III. PREDIKCIA VÝKONU Z FOTOVOLTICKÉHO PANEU

Predikcia dodávaného výkonu z FV článkov je úzko spätá s meteorologickými predpoveďami, resp. aktuálnej kondície FV panelu. Inými slovami, jedná sa o pravdepodobnosť, ktorá môže nastať pri určitých vstupných predpokladoch, t.j. súvisí s teóriou pravdepodobnosti.

Náhodné javy (napr. výkon z FV panelu v závislosti od oblačnosti) je možné hodnotiť podľa toho, akú veľkú majú nádej, že pri náhodnom pokuse nastanú. Posudzujú sa teda podľa veľkosti pravdepodobnosti výskytu. Pravdepodobnosť náhodného javu je číslo, ktoré udáva mieru možnosti výskytu náhodného javu.

Ak môže náhodný pokus vykázať konečný počet n rôznych výsledkov, ktoré sú rovnako možné a ak m z týchto výsledkov má za následok vznik javu A , pričom zostávajúci $n - m$ výsledkov ho vylučuje, potom pravdepodobnosť vzniku javu A sa počíta nasledovne:

$$P(A) = \frac{m}{n} \quad (1)$$

Pravdepodobnosť javu A je teda pomer výsledkov priaznivých javu A (za priaznivý sa považuje ten výsledok, keď nastal jav A) k počtu všetkých možných výsledkov.

Predpoklad konečného počtu výsledkov náhodného javu a rovnaká možnosť ich vzniku je v praxi často nesplnená. V takýchto prípadoch sa číselná hodnota pravdepodobnosti

odhaduje podľa výsledkov skutočne realizovaných náhodných pokusov. Vychádza sa zo **štatistickej definície pravdepodobnosti**, ktorej podstatou je, že sa pravdepodobnosť javu A odhaduje relatívnou početnosťou vzniku javu A v skutočne náhodnom pokuse. Relatívna početnosť sa vypočíta nasledovne:

$$p = \frac{m}{n} \quad (2)$$

Kde m je početnosť javu A a n je počet realizácií pokusu. Ak počet realizácií pokusu rastie, podiel p sa čoraz menej líši od pravdepodobnosti javu A , $P(A)$. Pri dostatočne veľkom počte nezávislých realizácií pokusu sa pravdepodobnosť javu A takmer presne rovná relatívnej početnosti:

$$P(A) \approx p = \frac{m}{n} \quad (3)$$

Jednou zo základných vlastností pravdepodobnosti je to, že vždy nadobúda hodnoty od 0 po 1, pričom 0 nadobúda v prípade **nemožného javu** (napr. FV panel generuje harmonický neskrútený výkon) a 1 v prípade **istého javu** (napr. FV panel generuje výkon od 0 po P_{inst} [W]).

Ako príklad štatistického vyhodnotenia nameraných dát z FV panelov patria namerané dáta vyrobenej energie, dáta o poruchách, resp. nezvratné zmeny, ktoré vedú k následnému zníženiu dodávaného výkonu, alebo ich výmene.

Statistiky a data

Celková výroba (elektrická práca) v MWh v jednotlivých mesiacoch
Export dát

Měsíc	Celková výroba [MWh]		Rozdíl ¹ [MWh]	Rozdíl ² [%]	Předloha výroby [MWh]	Rozdíl proti předloze [%]	
	Elektronická [MWh]	SVV/Článek [MWh]					
Leden	24,429	25,221	-0,792	-3,24%	19,770	+23,57%	Detailní předloha
Únor	73,315	74,557	-1,242	-1,69%	32,923	+122,69%	Detailní předloha
Březen	122,244	124,505	-2,261	-1,85%	71,010	+72,15%	Detailní předloha
Duben	140,455	143,607	-3,152	-2,24%	103,287	+35,99%	Detailní předloha
Květen	176,257	180,008	-3,751	-2,13%	141,213	+24,82%	Detailní předloha
Červen	154,418	157,848	-3,430	-2,22%	135,565	+13,91%	Detailní předloha
Červenec	132,902	136,009	-3,107	-2,34%	144,441	-7,99%	Detailní předloha
Srpen	153,736	156,839	-3,104	-2,02%	127,495	+20,38%	Detailní předloha
Září	133,208	135,964	-2,756	-2,07%	79,079	+68,45%	Detailní předloha
Říjen	81,212	83,107	-1,895	-2,33%	52,451	+54,83%	Detailní předloha
Listopad	15,612	15,963	-0,351	-2,25%	20,093	-22,30%	Detailní předloha
Prostředek					13,356		Detailní předloha
	Σ = 1 207,767	Σ = 1 233,628	Σ = -25,861	Σ = -2,22%	Σ = 940,883	Σ = +28,37%	

Graf roční produkce



Obr. 1. Štatistiky a dáta – zaznamenaná výroba (v MWh) FV elektrárne za celý rok (<http://www.solarcontrol.cz>)



Obr. 2. Poškodenie FV panelu vplyvom blesku (<http://energy.sandia.gov>)



Obr. 3. Poškodenie FV panelu vplyvom búrkovej činnosti (<http://connect2solar.com.au>)



Obr. 4. Poškodenie FV panelu vplyvom priesaku vody do panelu (<http://www.airandwater.com.au>)

POĎAKOVANIE

Tento príspevok vznikol vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj pre projekt: Výskum charakteristik fotovoltaiických komponentov pre efektívne projektovanie solárnych systémov, s ITMS kódom: 26220220080, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.



Európska únia
Európsky fond regionálneho rozvoja



Podporujeme výskumné aktivity na Slovensku/Projekt je spolufinancovaný zo zdrojov EÚ.

LITERATÚRA

- [1] Buša, J., Pirč, V., Schrötter, Š.: *Numerické metódy, pravdepodobnosť a matematická štatistika*. Košice 2006. 166 s. ISBN 80-8073-632-4.
- [2] Rimarčík, M.: *Štatistika pre prax*. 1. vyd. 2007. 200 s. ISBN 978-80-969813-1-1.
- [3] Solartec, s.r.o.: *Monitoring, servis a diagnostika FV elektrárne* [online]. Dostupné na internete: < <http://www.elektrotrh.cz/alter-nativni-energie/monitoring-servis-a-diagnostika-fv-elektrotrh> >.
- [4] Dušan Medved': *Možnosti zvýšenia účinnosti fotovoltaiických panelov*. In: *Elektroenergetika*. Roč. 4, č. 1 (2011), - ISSN 1337-6756.

