

2920

Výroční zpráva projektu specifického výzkumu na rok 2018 - zakázka č. 2126

Název projektu: Synchronní alternátor malého výkonu jako energetický mikrozdroj stabilizovaný sinusovým střídačem v ostrovním režimu

Specifikace řešitelského týmu

Odpovědný řešitel:	doc. dr. René Drtina, Ph.D.
Student magisterského studia PdF UHK:	Ondřej Gregor, P14P0075, FY-ZT (hlavní řešitel projektu)
Externí spolupráce:	doc. Ing. Jaroslav Lokvenc, CSc. - konzultant regulačních obvodů Josef Andris - konzultant technologické části Ing. Václav Jirsák - konzultant obráběcích technologií, spolupráce při výrobě mechanických dílů
Celková částka přidělené dotace:	179 880 Kč

Východiska projektu

Alternativní zdroje energie v oblasti malých výkonů patří do skupiny decentralizovaných energetických mikrozdrojů, které se neustále rozvíjejí. Kromě všudypřítomné fotovoltaiky také jako domácí kogenerační jednotky, vodní nebo větrné mikrozdroje s výkonem několika set wattů až jednotek kilowattů. V aplikační oblasti stoupá tlak na to, aby se pro generátorové zdroje používaly synchronní generátory s neodymovými permanentními magnety a aby tyto mikrozdroje byly připojeny k rozvodné síti. V případech nedostupnosti distribuční sítě a vysokých pořizovacích nákladů na připojení k síti NN nebo VN může být řešením energetický mikrozdroj, pracující v ostrovním režimu, tj. zdroj, který není připojen k veřejné distribuční síti. Cílem výzkumu, který navazuje na projekt SV PdF 2132/2015 a je součástí diplomové práce Ondřeje Gregora *Energetický mikrozdroj malého výkonu se synchronním alternátorem v ostrovním režimu, stabilizovaný sinusovým střídačem*, je zjištění provozních a zátěžových charakteristik mikrozdroje malého výkonu, stability provozu při proměnných hnacích podmínkách a doporučení pro aplikace s pomaloběžnými vodními a větrnými motory.

Postup při řešení projektu

Návrh projektu byl zpracován pro předpokládanou aplikaci v oblasti tzv. obnovitelných (alternativních) zdrojů. Synchronní alternátory jako dominantní točivé stroje v energetických aplikacích (ať se jedná o stroje s buzeným magnetem nebo stroje s permanentními magnety) jsou vždy regulovány na otáčky odpovídající síťové frekvenci 50 Hz. Proto problematické používat klasické alternátory ve spojení s hnací jednotkou s proměnnými otáčkami, což je případ malých vodních toků s výrazně kolísajícím průtokem a větrných motorů v oblastech s velkými výkyvy rychlosti větru. Pro model ostrovního mikrozdroje jsme proto zvolili automobilový alternátor, který je konstruován pro velký rozsah provozních otáček i pro silně proměnné zatížení. Automobilový alternátor je mnoho-pólový třífázový středofrekvenční stroj s vysokým poměrem výkon/objem. Výzkumný záměr ověřuje meze možného využití středofrekvenčního alternátoru s neregulovaným pohonem (proměnné otáčky a výkon), kdy stabilitu výstupního napětí a frekvence zajišťuje beztransformátorový sinusový střídač. Celý systém musí být schopen činnosti nezávisle na distribuční síti (tzv. nájezd do tmy) a je realizován jako jednotka s akumulací energie pro vykrytí výkonových špiček nebo dočasného výpadku hnací jednotky.

Ze zkušeností z předcházejícího projektu zůstaly pro modelové soustrojí čtyři základní podmínky:

- 1) Manipulaci musejí zvládnout čtyři lidé, přesun po rovině nejvýše ve dvou. Hmotnost max. 150-180 kg.
- 2) Mobilitu musejí zajistit únosná, velká a měkká kola, která umožní přejezdění prahů a omezí přenos hluku.
- 3) Soustrojí musí bezpečně projet dveřmi s šířkou 80 cm.
- 4) Soustrojí musí produkovat minimální hluk.

Na základě výsledků měření a provozních zkoušek asynchronního soustrojí ze SV PdF 2132/2015 je soustrojí se synchronním generátorem postaveno na základové desce ze 40 mm silného textitu HGW 2082. Pohonnou jednotkou je třífázový asynchronní elektromotor KEM 2L-100L-4 2,2 kW 1445 ot/min v těžkém litinovém provedení pro průmyslové účely. Původně plánovaný motor 1TZ9 100L04K 2,2 kW 1420 ot/min IE3 nebyl výrobce schopen dodat z důvodu omezené výrobní kapacity v požadovaném termínu. Hnací motor je napájen frekvenčním měničem Hitachi z osvědčené řady WJ200, typ 022HFE. Měníče WJ200 mají zdokonalené vektorové řízení výstupního proudu bez zpětné vazby a umožňují vektorové momentové řízení s otevřenou zpětnovazební smyčkou s počátečním zvýšením momentu motoru až na 200 % jmenovité hodnoty. Jako generátor byl zvolen automobilový alternátor Bosch CA1394IR 14 V/120 A, který byl pro naše účely osazen pevnou šestidrážkovou řemenicí typu PK s průmě-

rem 65 mm. Pro daný řemenový převod byla na motor osazena zakázková řemenice z ocelového masivu, typ PK200-6 TB3020 o průměru 200 mm s upínacím pouzdrem Taper TB3020 - 28 mm a šířkou běhounu 52 mm (viz obr.1 v příloze).

Realizaci soustrojí od počátku provázely jisté problémy s výrobou některých mechanických dílů, kdy bylo nutné čekat na dodávky materiálů a ze strany dodavatelů byly zrušeny některé kooperační dodávky nebo prodlouženy jejich termíny. Mechanické práce tak musely být prakticky 100% realizovány v dílnách KTP, což si vyžádalo jak větší časovou náročnost výroby tak větší přesuny materiálů a nástrojů mezi pracovišti na budovách C a S. Mechanická část tak byla dokončena na začátku prosince 2018 a elektrická část až ve třetím týdnu prosince 2018. Měření proto byla mnohdy realizována v provizorních podmínkách a budou pokračovat i v roce 2019.

Dosažené výsledky

Provozní zkoušky, úvodní testy a provedená měření ukázaly, že navržené soustrojí je funkční. Buzení alternátoru je buď pulzní vestavěným regulátorem, lineární z analogového regulátoru nebo libovolně externí. Při ověřovacích zkouškách jsme zjistili řadu výsledků, které nejsou uváděny ani v katalogových listech výrobce a dosud nebyly publikovány v dostupných zdrojích. Prvotním měřením bylo zjištění převodních charakteristik alternátoru (viz obr.2 v příloze). Z nich je zřejmé, že minimální provozní otáčky alternátoru, pro výstupní napětí 14 V nemohou klesnout pod 1 800 ot/min. Orientační zátěžové testy následně naznačily, že alternátor má při lineárním buzení nižší mechanický příkon i nižší hluchnost. Oboje bude dále upřesňováno při měření na kompletně vyzbrojeném soustrojí.

Měření tepelné zátěže prokázalo výraznou termickou kompresi ve statorovém vinutí (viz obr.3 v příloze). Zkoušky byly provedeny při různém zatížení, v různých otáčkách při konstantním lineárním buzení. Maximální teplota vinutí při výstupním proudu 125 A a 4 500 ot/min dosahovala 108 °C. Z výsledků lze předpokládat, že i když je teoreticky možné z alternátoru odebírat maximální výkon již při 1 850 ot/min, nebylo by možné alternátor uchládit vlastními ventilátory.

Nečekaný problém se vyskytl při připojení výstupního DC/AC měniče k alternátoru se zapojeným pulzním řízením. Vlivem vstupního filtru měniče s kapacitním charakterem dochází k velkému kolísání výstupního napětí a nestabilitě regulace. Z toho důvodu se ani měnič nezapne do provozního stavu. Nutná je určitá odporová předzátěž v rozsahu 20-30 A. Při zátěžových zkouškách s externím lineárním buzením došlo k havárii alternátoru, kdy při nečekaném výpadku výstupního měniče vzniklý napěťový impulz prorazil diodu v záporné větvi usměrňovače. Na základě této zkušenosti bude nutné soustrojí dovybavit pro externí buzení přepětovým omezovačem na úrovni 15 V. Další práce a měření na soustrojí budou možné až po opravě alternátoru, tj. po výměně poškozeného diodového bloku.

Na základě dosavadních výsledků bylo také možné popřít některá tvrzení (a tzv. technické pověry), která se vyskytují v literatuře ve spojitosti s automobilovými alternátory.

1) Není pravda, že automobilové alternátory se nesmějí odpojit za chodu od zátěže. Praktickými zkouškami jsme ověřili, že při chodu s vestavěným pulzním regulátorem lze alternátor odpojit od zátěže bez nebezpečného nárůstu výstupního napětí.

2) Není pravda, že se automobilový alternátor nenabudí bez připojení k vnějšímu zdroji. Provozní zkoušky prokázaly, že při přímém propojení buzení s výstupem alternátoru se při 4 400 ot/min alternátor nabudí díky remanentnímu magnetismu sám. Na základě tohoto zjištění bude zkonstruován pomocný obvod pro samočinné nabuzení alternátoru bez vnějšího zdroje.

Další provozní zkoušky budou zaměřeny na detailní výkonové, hlukové a termické charakteristiky, osciloskopická měření, provozní testy analogového regulátoru a náběhové charakteristiky DC/AC měniče.

Výstupy projektu

V rámci řešení projektu byly zpracovány následující publikace:

ID 43874538 - výsledek kategorie J_{ost}

GREGOR, O. - DRTINA, R. - LOKVENC, J. *Podpora výuky předmětu obnovitelné zdroje energie v elektrotechnických laboratořích - Část 5: Koncepce modelového mikrozdroje se středofrekvenčním synchronním alternátorem*. Media4u Magazine, 4/2018. s.16-26. ISSN 1214-9187.

výsledek kategorie D

GREGOR, O. - DRTINA, R. - LOKVENC, J. *Energy micro-source with mid-frequency synchronous alternator*. IEEE, Bern, konference EECs 2018. V tisku.

Přehled realizovaných výdajů

- a) osobní náklady nebyly pro administrativní náročnost a nutné odvody nárokovány.
- b) po schválení změny v rozpočtu byly prostředky získané z úspory materiálových nákladů použity pro navýšení částky na stipendium na 26 970 Kč. Důvodem byla skutečnost, že oproti původnímu plánu musely být prakticky veškeré práce na výrobě mechanických dílů a montáži soustrojí realizovány v dílnách a laboratořích KTP a také fakt, že se soustrojí reálně sestavovalo v podstatě dvakrát. Poprvé v dílně na budově C při mechanické kompletaci. Následně muselo být soustrojí rozebráno a jednotlivé díly převezeny do laboratoře S52. Tam bylo soustrojí znovu sestaveno do finální podoby, vyrovnány drážkové řemenice a na základovou desku byl namontován rozvaděč, který byl následně vystrojen. Významně tak stoupl počet hodin, které student musel odpracovat na výrobě dílů a stavbě soustrojí. Stipendium bylo přiznáno studentu ID P14P0075 Ondřeji Gregorovi za rešerše teoretických východisek, spolupráci při průběžné optimalizaci a přepracování návrhu soustrojí, tvorbu podkladů pro vrtací plán, orýsování základové desky, spolupráci při vrtání a opracování základové desky, závitování děr, montáž pojezdových kol, spolupráci při osazování strojů, přepravu materiálu, nástrojů a řešitelů, přípravu podkladů pro řezání vodním paprskem, spolupráci při tvorbě spínacích schémat zákaznických řadičů, pomocné výpočty odhadu oteplení rozvaděče a návrhu chlazení, přípravu kabelových forem, zajištění lisování koncovek vysokozátěžových vodičů, spolupráci při montáži výzbroje a výstroje rozvaděče, testování okruhů před připojením strojů, přípravu měření a zátěžových testů, spolupráce při měření a zátěžových testech, pořizování termosnímků a obrazové dokumentace, přípravu podkladů pro publikační výstupy a spolupráci na publikačních výstupech.
- c) materiálové náklady byly ve výši 112 170,33 Kč.
- d) náklady na služby byly ve výši 10 520 Kč;
2 420 Kč stálo řezání dveří rozvaděče vodním paprskem;
8 100 Kč bylo zapláceno za odborný překlad konferenčního článku v rozsahu 17,87 NS, vč. korektur a oprav.
- d) konferenční poplatek vč. DPH a bankovních poplatků dosáhl výše 18 755,30 Kč.
- e) po schválení změn v rozpočtu byly nevyužité finanční prostředky na služby použity na úhradu cestovních nákladů do laboratoří FEL ZČU v Plzni, které spolupracují na vývoji analogového regulátoru alternátoru podle návrhu doc. Lokvence.

Přidělená dotace ve výši 179 880 Kč byla po schválených změnách v rozpočtu projektu zcela vyčerpána, rozpočet projektu byl překročen o 1,03 Kč (viz výsledovka připojená projektu). Změny v rozpočtu byly průběžně schvalovány prodělkankou pro vědu, výzkum a umění PdF UHK. Podrobný přehled čerpání rozpočtu je uveden v tabulce 1.

Závěr

Obnovitelné zdroje energie zahrnují široké spektrum energetických jednotek. Přestože módním trendem a dotacemi podporovanými systémy jsou především fotovoltaické a větrné elektrárny, disponuje Česká republika velkým energetickým potenciálem v oblasti malých vodních elektráren, které kdysi bývaly téměř na všech tocích. Každý vodní mlýn měl vlastní dynamo nebo alternátor pro výrobu elektrické energie. Stejně, jako se dnes mezi vodní motory vracejí vodní kola, tak se i znovu objevené energetické mikrozdroje, určené pro napájení lokálních sítí a pracující v ostrovním režimu, stávají skutečností. Relativně levné automobilové alternátory doplněné sinusovým měničem by mohly být dobrou alternativou pro nenáročné ostrovní mikrozdroje s neregulovaným pohonem s proměnným výkonem, ať už s přímým využitím vyrobené energie nebo s doplňkovou akumulací.

Tab.1 Přehled nákladů projektu 2126/2018

položka	náklady
přířez textit	26 030,73
pojezdová kola	3 193,00
řemenice PK6 200 mm + napínací deska	6 717,00
elektromotor	7 430,00
frekvenční měnič	14 795,00
alternátor s příslušenstvím	9 061,00
drážkový řemen PK6	745,00
DC/AC měnič	12 130,00
akumulátor	3 820,00
řezný olej	828,00
měřicí přístroje	6 779,00
rozsaděč	3 426,00
řezání vodním paprskem	2 420,00
vačkové spínače s příslušenstvím	3 916,00
překlad článku	8 100,00
konferenční poplatek EECS 2018	14 691,75
DPH z konferenčního poplatku EECS 2018	3 085,30
bankovní poplatky	933,25
vodiče, jističe, svorky, kabelová konfekce	10 308,00
hutní materiál	3 342,00
stipendium	26 970,00
cestovní náklady	11 160,00
dotace projektu	179 880,00
celkové náklady	179 881,03
přečerpáno	-1,03

Datum: 27. prosince 2018

doc. dr. René Drtina, Ph.D.