بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده فنی و مهندسی

بخش مهندسی برق

پایان نامه تحصیلی برای دریافت درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی برق

گرایش قدرت

مدل سازی دینامیکی منابع چندگانه هیبریدی با هدف مطالعات مدیریت انرژی

مولف:

مرتضی رضائی بابک

استادان راهنما :

دکترسعید اسماعیلی

دکتر محسن محمدیان

استاد مشاور:

دکتر روح ا... فدائی نژاد

خرداد ماه ۱۳۹۱

این پایان نامه به عنوان یکی از شرایط درجه کارشناسی ارشد به

بخش مهندسی برق

دانشکده فنی و مهندسی

دانشگاه شهید باهنر کرمان

تسلیم شده است و هیچگونه مدرکی به عنوان فراغت از تحصیل دوره مزبور شناخته نمی شود.

دانشجو : مرتضی رضائی بابک

استاد راهنمای اول: دکتر سعید اسماعیلی

استاد راهنما دوم : دکتر محسن محمدیان

استاد مشاور : دکتر روح ا... فدائی نژاد

داور ۱ : دکتر ملیحه مغفوری

داور۲ : دکتر محمدعلی محمدی

معاون آموزشی و پژوهشی دانشکده : دکتر مریم احتشام زاده

حق چاپ محفوظ و مخصوص به دانشگاه شهید باهنر کرمان است

تقدیم به:

پدر و مادر عزیزم که گرمای وجودشان همواره یاری بخش راهم بوده و هست.

تشکر و قدردانی

استادان راهنما و گرانقدر آقایان **دکتر سعید اسماعیلی و دکتر محسن محمدیان،** با عنایت به لطف ایزد منان و با مساعدت و همفکری و راهنمایی های دلسوزانه و بی دریغ شما توانستیم با تکیه بر علم و تجربه شما پا به عرصه تحقیق و پژوهش بگذاریم. هر قدمی که در این راه برداریم مدیون شما بزرگوارانیم.

از آقای **دکتر روح ا... فدائی نژاد** نیز که زحمت مشاوره این پایان نامه را بر عهده داشتند کمال تشکر و قدر دانی را دارم.

در پایان از سرکار خانم دکتر ملیحه مغفوری و جناب آقای دکتر محسن محمدی که زحمت داوری این پایان نامه را پذیرفتند، نهایت تشکر و قدر دانی را دارم.

چکیده

به دلیل مصرف روبه رشد انرژی، آگاهی فزاینده عمومی نسبت به حفاظت محیط زیست و پیشرفت مداوم در بازنگری در قوانین بازار برق سیستم‌های تولید پراکنده تجدید پذیر توجه زیادی را به خود جلب کرده اند. این پایان نامه به ارائه مدل سازی دینامیکی مناسب با هدف مدیریت انرژی یک سیستم هایبریدی تولید پراکنده مستقل از شبکه می پردازد که در برگیرنده سیستم‌های توربین باد، پیل سوختی و ابرخازن برای تولید توان متمرکز و مورد نیاز بار محلی است. در ساختار انتخابی با توجه به تغییرات توان خروجی توربین باد متاثر از تغییرات باد، سیستم پیل سوختی می بایست تامین نیاز توان درخواستی را برای اطمینان از عملکرد سیستم تحت تمام شرایط، تضمین نموده و پاسخگوی حالات مختلف عملکردی سیستم باشد. اما قابلیت پاسخ دهی پیل سوختی به حالات گذرای بار الکتریکی سرعت مطلوب را نداشته لذا جهت رفع مشکل یاد شده از بانک ابر خازن استفاده گردیده است. بر این اساس ابتدا مدل دینامیکی مناسب و دقیقی برای اجزاء سیستم هایبرید پیشنهاد شده، سپس استراتژی مدیریت انرژی پیشنهادی با در نظر گرفتن محدودیت‌های اجزاء اعمال گردیده و پاسخ سیستم به تغییرات لحظه‌ای بار و باد ارزیابی و تجزیه و تحلیل شده است. همچنین پاسخ سیستم به تغییرات واقعی سرعت باد و بار بررسی شده است. نتایج بدست آمده نشان دهنده عملکرد قابل قبول سیستم می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: انرژی‌های تجدید پذیر، توربین باد، پیل سوختی، ابر خازن، مدل دینامیکی، مدیریت انرژی.

فهرست مطالب

فصل اول ۱

۱-۱ مقدمه ۲

۱-۲ سیستمهای هایبرید انرژی ۳

۱-۳ ضرورت بررسی دینامیکی ۵

۱-۴ مروری بر کارهای صورت گرفته ۶

۱-۵ ساختار پایان نامه ۷

فصل دوم ۸

۲-۱ مقدمه ۹

۲-۲ سیستم تبدیل انرژی باد ۹

۲-۲-۱ انرژی موجود در باد ۹

۲-۲-۲توان استخراجی از باد ۱۰

۲-۲-۳ نسبت سرعت نوک ۱۱

۲-۲-۴ سیستم تبدیل انرژی باد ۱۱

۲-۲-۵ سیستم های تبدیل انرژی باد سرعت ثابت و سرعت متغیر ۱۲

۲-۲-۶ توان خروجی توربین باد برحسب سرعت باد ۱۴

۲-۲-۷ ژنراتور ۱۶

۲-۲-۸ مدلهای استفاده شده برای اجزاء مختلف ۱۷

۲-۳ پیل سوختی ۱۸

۲-۳-۱ پیل سوختی PEMFC ۱۸

۲-۳-۲ مدلهای ارائه شده برای پیل سوختی ۲۱

۲-۳-۲-۱ مدلهای مکانیکی یا شیمیایی ۲۱

۲-۳-۲-۲ مدلهای مبتنی بر جداول عددی ۲۲

۲-۳-۲-۳ مدلهای الکتریکی ۲۲
۲-۴ نتیجه گیری ۲۴
فصل سوم ۲۵
۳-۱ مقدمه ۲۶
۳-۲ سیستم تبدیل انرژی باد ۲۶
۳-۲-۱ پیکربندی سیستم تبدیل انرژی باد ۲۶
۳-۲-۲ توان استخراجی از باد در توربین سرعت متغیر ۲۷
۳-۲-۳ کنترل کننده زاویه پره‌ها ۲۹
۳-۲-۴ مدل کوپلینگ محور ۲۹
۳-۲-۵ مدل توربین باد سرعت متغیر ۳۱
۳-۲-۶ مدل دینامیکی PMSG ۳۱
۳-۲-۷ پاسخ مدل سیستم تبدیل انرژی باد ۳۳
۳-۳ پیل سوختی ۳۵
۳-۳-۱ولتاژ بازگشت پذیر(ترمودینامیک) پیل سوختی ۳۶
۳-۳-۲ افت ولتاژ فعال سازی ۳۹
۳-۳-۳ افت ولتاژ مقاومتی ۴۱
۳-۳-۴ دینامیکهای پیل سوختی ۴۱
۳-۳-۵ بازده پیل ۴۲
۳-۳-۶ مدل استفاده شده در متلب ۴۲
۳-۳-۷ اطلاعات لازم جهت تعیین پارامترها ۴۴
۳-۳-۸ تعیین پارامترها ۴۵
۳-۳-۹ منحنی پلاریزاسیون مدل ۴۶
۳-۴ الکترولایزر ۴۸

۳-۵ ابرخازن ۴۸
۳-۶ تانک ذخیره هیدروژن ۵۰
۳-۷ یکسوساز AC/DC ۵۰
۳-۸ مبدل بوست ۵۱
۳-۹ مدل اینورتر ۵۳
۳-۱۰ نتیجه گیری ۵۵
فصل چهارم ۵۶
۴-۱ مقدمه ۵۷
۴-۲ پیکربندیهای مختلف سیستم هایبرید ۵۷
۴-۳ مدیریت انرژی سیستم ۶۲
۴-۴ نتیجه گیری ۶۶
فصل پنجم ۶۷
۵-۱ مقدمه ۶۸
۵-۲ شبیه سازی ۶۸
۵-۳ پاسخ سیستم به تغییرات پله‌ای ۷۰
۵-۴ پاسخ سیستم تحت شرایط واقعی ۷۶
۵-۵ نتیجه گیری ۷۹
فصل ششم ۸۰
۶-۱ نتیجه گیری ۸۱
۶-۲ پیشنهادات ۸۲
منابع ۸۳

فهرست جداول

جدول ۲-۱ معادلات شبیه سازی پیل سوختی ۲۲

جدول ۳-۱ مقادیر پارامترهای C1 تا C5 ..... ۲۷

جدول ۳-۲ واکنش‌ها در الکترودهای انواع پیل سوختی ۳۶

جدول ۳-۳ نحوه محاسبه پارامترها ۴۶

جدول ۴-۱ مقایسه بین الگوهای مختلف اتصال ۵۹

جدول ۵-۱ پارامترهای اجزاء سیستم هایبرید ۶۹

فهرست اشکال

شکل ۱-۱ سیستم هایبرید پیشنهادی ۴

شکل ۲-۱ بازده تئوری توربین باد برحسب نسبت v / v_0 ..... ۱۱

شکل ۲-۲ بلوک دیاگرام یک سیستم تبدیل انرژی باد محورافقی ۱۲

شکل ۲-۳ انواع توربین‌های باد سرعت ثابت و سرعت متغیر ۱۳

شکل ۲-۴ منحنی نمونه برای سیستم سرعت ثابت با کنترل واماندگی (نقطه دار) و سرعت متغیر با کنترل زاویه پیچش پره‌ها ۱۵

شکل ۲-۵ مشخصات C_p-λ به ازاء زوایای مختلف پره‌ها ۱۵

شکل ۲-۶ طرح کلی عملکرد پیل سوختی ۲۰

شکل ۲-۷ مشخصه V_I یک بسته پیل سوختی500w ۲۰

شکل ۲-۸ مدل‌های الکتریکی پیل سوختی ۲۳

شکل ۳-۱ سیستم تبدیل انرژی باد ۲۷

شکل ۳-۲ مشخصات C_p-λ به ازاء θهای مختلف ۲۸

شکل ۳-۳ نواحی عملکرد توربن باد کنترل شده بوسیله زاویه پره‌ها ۲۸

شکل ۳-۴ کنترل کننده زاویه پره‌ها ۲۹

شکل ۳-۵ مدل دو جرمه کوپلینگ محور ۳۰

شکل ۳-۶ بلوک دیاگرام مدل شبیه سازی توربین باد سرعت متغیر قابل تنظیم بوسیله زاویه پره ۳۱

شکل ۳-۷ مدار معادل چهارچوب دوار سنکرون PMSG ۳۲

شکل ۳-۸ مشخصه توان خروجی توربین باد ۳۳

شکل ۳-۹ تغییرات سرعت باد ۳۴

شکل ۳-۱۰ توان خروجی توربین باد ۳۴

شکل ۳-۱۱ تغییرات زاویه پره‌ها ۳۵

شکل ۳-۱۲ دینامیک‌های ناشی از تجمع بارهای الکتریکی و تخلیه اکسیژن در پیل سوختی ۴۲

شکل ۳-۱۳ مدار معادل پیاده شده در متلب ۴۳

شکل ۳-۱۴ چهار نقطه مورد نیاز روی منحنی پلاریزاسیون ۴۵
شکل ۳-۱۵ منحنی‌های V-I,P-I پیل سوختی ۴۷
شکل ۳-۱۶ منحنی‌های بدست آمده از طریق مدل سازی ۴۷
شکل ۳-۱۷ مدل ابرخازن ۴۸
شکل ۳-۱۸ نحوه قرارگیری خازن‌ها در بانک خازنی ۴۹
شکل ۳-۱۹ یکسوساز سه فاز پل دیودی ۵۰
شکل ۳-۲۰ خروجی یکسو ساز سه فاز پل دیودی ۵۱
شکل ۳-۲۱ مبدل بوست ۵۱
شکل ۳-۲۲ مدل میانگین مبدل بوست ۵۲
شکل ۳-۲۳ خروجی مدل دقیق و میانگین مبدل بوست تحت تغییرات بار ۵۳
شکل ۳-۲۴ مدل ایده‌آل اینورتر ۵۴
شکل ۳-۲۵ ولتاژ خروجی مدل ایده‌آل و دقیق اینورتر ۵۵
شکل ۴-۱ اتصال DC ۵۷
شکل ۴-۲ الگوی اتصال AC : (الف) PFAC؛ (ب)HFAC ۵۸
شکل ۴-۳ الگوی اصلی سیستم تولید انرژی پیل سوختی ۶۰
شکل ۴-۴ الگوهای مختلف سیستم تولید انرژی پیل سوختی و ابرخازن (الف)سری؛ (ب)متوالی؛ (ج) موازی ۶۱
شکل ۴-۵ پیکربندی سیستم هایبرید ۶۱
شکل ۴-۶ توپولوژی سیستم پیاده شده ۶۲
شکل ۴-۷ الگوی اتصال پیل سوختی و ابرخازن ۶۳
شکل ۴-۸ کنترل کننده سطح شارژ ابرخازن ۶۳
شکل ۴-۹ فلوچارت مدیریت انرژی سیستم ۶۵
شکل ۵-۱ دیاگرام شبیه سازی سیستم هایبرید ۶۸
شکل ۵-۲ پیل سوختی به همراه مبدل بوست ۶۸

شکل ۵-۳ سیستم تبدیل انرژی باد ۶۹
شکل ۵-۴ تغییرات سرعت باد ۷۰
شکل ۵-۵ توان درخواستی توسط بار ۷۱
شکل ۵-۶ توان خروجی توربین باد ۷۱
شکل ۵-۷ تغییر زاویه پره‌ها ۷۲
شکل ۵-۸ توان تولیدی بوسیله پیل سوختی و ابرخازن ۷۲
شکل ۵-۹ مقایسه بین تقاضای بار از پیل سوختی و پاسخ آن با و بدون ابر خازن ۷۳
شکل ۵-۱۰ ولتاژ پیل سوختی ۷۴
شکل ۵-۱۱ ولتاژ ابرخازن ۷۴
شکل ۵-۱۲ هیدروژن تولیدی توسط الکترولایزر ۷۵
شکل ۵-۱۳ هیدروژن مصرف شده توسط پیل سوختی ۷۵
شکل ۵-۱۴ فشار تانک ذخیره هیدروژن ۷۶
شکل ۵-۱۵ توان بار مصرفی ۷۶
شکل ۵-۱۶ سرعت باد تولیدی ۷۷
شکل ۵-۱۷ توان خروجی توربین باد ۷۷
شکل ۵-۱۸ توان تولیدی توسط پیل سوختی و ابر خازن و توان تامین شده از سوی آنها ۷۸
شکل ۵-۱۹ توان تولیدی توسط سیستم هایبرید و تقاضای بار ۷۸

فهرست علائم

توربین باد

E_k انرژی جنبشی هوا (J)

m جرم هوا (kg)

v سرعت باد در هنگام برخورد به پره‌ها (m/s)

v_0 سرعت باد در هنگام خروج از پره‌ها (m/s)

A ناحیه جاروب شده بوسیله پره‌های روتور (m^2)

ρ چگالی هوا (kg / m^3)

P_{den} توان مخصوص یا چگالی توان محل باد

P توان واقعی استخراجی بوسیله پره‌های روتور از باد (wat)

k_m نرخ دبی جرمی

C_p ضریب توان روتور یا بهره‌ی روتور

θ زاویه پره‌ها (deg)

λ نسبت سرعت نوک

R شعاع روتور (m)

ω سرعت زاویه‌ای روتور (rad/s)

R_s مقاومت استاتور (ohm)

ω_r سرعت زاویه‌ای مکانیکی روتور (rad/s)

ω_e سرعت زاویه‌ای الکتریکی روتور (rad/s)

V_{qs}, V_{ds} ولتاژ محور q,d استاتور (V)

I_{qs}, I_{ds} جریان محور q,d استاتور (A)

L_{ds}، L_{qs} اندوکتانس محور q و d استاتور (H)

L_{dm} اندوکتانس متقابل محورd استاتور با مجموع سیم پیچ میرا کننده و اندوکتانس آهنربای دائم (H)

I_f جریان میدان معادل آهنربای دائم (A)

I'_f معادل جریان میدان در سمت استاتور (A)

ψ_f شار نشتی القاء شده بوسیله آهنربای دائم روتور در فاز استاتور

J اینرسی روتور (Kgm^2)

T_{shaft}	گشتاور شفت تولید شده بوسیله توربین (Nm)
T_e	گشتاور الکتریکی تولیدی بوسیله PMSG (Nm)
P	تعداد قطب ها

پیل سوختی

A	شیب تافل (V)
B	ثابت انتقال جرم (V)
c_{o_2}	اشباع اکسیژن (mol/m^3)
C_p	ظرفیت گرمایی پیل (J/kg K)
D_{ij}^{eff}	قابلیت انتشار باینری موثر (m^2/s)
E	ولتاژ ترمودینامیک (V)
E_n	ولتاژ نرنست (V)
E_{oc}	ولتاژ مدار باز (V)
F	ثابت فارادی (A s/mol)
h	ثابت پلانک (J s)
i_{fc}	جریان پیل (A)
i_l	چگالی جریان محدودکننده (A/m^2)
i_0	جریان تبادل (A)
J_i	جریان مولی جزء i (mol/m^2 s)
K	ثابت بولتزمن (J/K)
K_{valve}^i	ثابت شیروابسته به جزء i (mol/atm s)
M_p	جرم پیل (kg)
m, n	ثابت تلفات اشباع
N	تعداد پیل‌های سری
n_i	نرخ جریان جزء i (mol/s)
P	توان خروجی پیل (kW)
P_i	فشار جزئی جزء i (atm)
P_t	فشار کل (atm)

q_e گرمای واکنش الکتروشیمیایی (J/m^3)

Q_i گرمای کل تولیدی ناشی از جزء i (J)

r مقاومت پیل

R ثابت گاز ایده‌آل (J/mol K)

R_{ohm} مقاومت بسته (ohm)

T دمای پیل ($^{\circ}K$)

T_d پاسخ زمانی پیل (s)

U_{f_i} مصرف جزء i (٪)

V ولتاژ پیل (V)

V_{air} نرخ جریان هوا (sl/min)

V_{act} ولتاژ فعال سازی (V)

V_c حجم کاتد/آند (m^3)

V_{conc} ولتاژ اشباع (V)

V_e حجم پیل (V_e)

V_{fc} ولتاژ پیل (V)

V_r ولتاژ مقاومتی (V)

V_u پایین زدگی ولتاژ

x_i کسر مولی جزء i

z تعداد الکترون‌های متحرک

α ثابت تبادل

ζ_i ثابت تلفات فعال سازی

Δg انرژی آزاد گیبس واکنش (J)

ΔG اندازه مانع فعال سازی (J/mol)

Δh آنتالپی واکنش (J)

Δs آنتروپی واکنش (J/K)

η بازده پیل (٪)

الکترولایزر

n_{H_2} نرخ تولید هیدروژن در الکترولایزر (mol/s)

i_e جریان الکترولایزر (A)

n_c تعداد سلول‌های سری

η_F بازده فارادی(٪)

تانک ذخیره هیدروژن

P_{bi} فشار اولیه H_2 در تانک (Pa)

P_b فشار تانک (Pa)

R ثابت جهانی گاز (J/mol K)

T_b دمای عملکرد ($^{\circ}K$)

V_b حجم تانک (m^3)

M_{H_2} جرم مولی هیدروژن (kg/mol)

N_{H_2} هیدروژن تحویلی به تانک (mol/s)

Z ضریب تراکم پذیری

ابرخازن

C ظرفیت خازن (F)

ESR مقاومت سری معادل (ohm)

EPR مقاومت موازی معادل (ohm)

فصل اول

مقدمه

۱-۱ مقدمه

انرژی از ضروریات زندگی هر فرد صرفنظر از زمان و مکان است. این حقیقت بویژه در قرن جدید مشهودتر است، قرنی که مردم در جستجوی رفاه بیشتر هستند. در میان انواع مختلف انرژی، انرژی الکتریکی از مهمترین انرژی‌هایی است که افراد روزانه به آن نیاز دارند. تقاضای روبه رشد انرژی الکتریکی، منابع روبه کاهش سوخت‌های فسیلی و نگرانی‌ها پیرامون آلودگی محیط زیست همگی نیروی محرکه تولید برق بوسیله انرژی‌های نو[1] (انرژی‌های جایگزین) هستند. عبارت " انرژی نو " به نوعی از انرژی اطلاق می‌شود که بدون آسیب رساندن به طبیعت بدست آید (متمایز از روش-های سنتی، یعنی از طریق نیروگاه‌های سوخت فسیلی، نیروگاه‌های اتمی و نیروگاه‌های برق آبی). این انرژی‌ها می‌توانند از نوع انرژی‌های تجدیدپذیر[2] مانند خورشید، باد، بیوماس و انرژی زمین گرمایی و یا انرژی‌های تجدید ناپذیر مانند هیدروژن (پیل سوختی) باشند. بهره برداری از انرژی موجود در منابع تجدید پذیر نیل به کاهش قابل توجه در سطوح آلودگی و نگرانی‌های تغییرات آب و هوایی را فراهم می‌کند. از دیگر سو موجودیت انرژی منابع تجدید پذیر مانند انرژی باد و خورشید غیرقابل پیش بینی است و تحت تاثیر عواملی ماوراء کنترل بشر است. این مساله ما را به سمت مبحث واحدهای تولید چندگانه (هایبرید) متشکل از منابع انرژی تجدیدپذیر و غیرتجدیدپذیر و یا هر دو، در جائیکه دو یا چند سیستم تولید منحصر بفرد قابلیت تکمیل یکدیگر را دارند، هدایت می‌کند.

در نواحی دوردست و جدا از شبکه، ممکن است از منظر اقتصادی تامین انرژی الکتریکی از شبکه گزینه مناسبی نباشد. بازنگری درقوانین بازار برق، نصب واحدهای منفرد یا متصل به شبکه سیستم‌های هایبرید بصورت منابع تولید پراکنده[3] (DG) را ممکن ساخته است. طبق آمار بانک جهانی بیش از دو میلیارد نفر در مناطق روستایی سراسر جهان به شبکه برق متصل نیستند. این مناطق بیشترین پتانسیل برای استفاده از منابع تولید پراکنده را دارا می‌باشند. تولید پراکنده به اشکال گوناگونی حاصل می‌شود مانند توربین‌هایی با سوخت دیزل یا گاز تولیدی در محل (مانند بیوماس)، موتورهای رفت و برگشتی، میکروتوربین‌ها، ژنراتورهای القایی هیدروی کوچک، توربین‌های باد، سلول‌های خورشیدی و پیل‌های سوختی.

---

[1] Alternative energy
[2] Renewable energy
[3] Distributed generation

۱-۲ سیستم‌های هایبرید انرژی

سیستم هایبرید قدرت به صورت ترکیب دو یا چند تکنولوژی برای تولید توان معرفی می شود. سیستم های هایبرید قدرت می توانند به صورت مستقل و یا متصل به شبکه قدرت در نظر گرفته شوند. در سیستمهای هایبرید مستقل از شبکه ظرفیت ذخیره انرژی باید به اندازه کافی بزرگ باشد تا جوابگوی تغییرات توان بار و کمبود منابع اولیه انرژی باشد. سیستم های هایبرید مستقل از شبکه به همراه بارهای مربوط را می‌توان به عنوان یک شبکه کوچک در نظر گرفت. سیستم های هایبرید متصل به شبکه قادر به تأمین توان بار محلی و شبکه برق می باشند، این سیستم هایبرید را می توان به عنوان تولید پراکنده (DG) شبکه توزیع در نظر گرفت.

تولید پراکنده را نباید با تولید انرژی از منابع تجدیدپذیر همسان فرض کرد چرا که می تواند از منابع پایان پذیر نظیر سوخت‌های فسیلی برای تولید انرژی استفاده کند وحتی آلودگی محیطی نیز به همراه داشته باشد. ترکیب‌های بسیاری از منابع انرژی تجدید پذیر و تجهیزات ذخیره برای ساختن یک سیستم هایبرید متصل به شبکه یا مستقل در مقالات مختلف پیشنهاد شده، در زیر تعدادی از ترکیبات ذکر شده است:

۱. سیستم باد / فوتوولتائیک [1] / پیل سوختی / الکترولایزر / ابرخازن یا باطری [۳-۱]
۲. سیستم باد / پیل سوختی / الکترولایزر / باطری [۶-۴]
۳. سیستم پیل سوختی / میکرو توربین[۸-۷]
۴. سیستم پیل سوختی / باطری یا ابر خازن [۹]
۵. سیستم پیل سوختی / توربین گازی [۱۱-۱۰]
۶. سیستم پیل سوختی / دیزل [۱۳-۱۲]
۷. سیستم فوتوولتائیک / باطری [۱۴]
۸. سیستم فوتوولتائیک / باطری/ میکرو توربین [۱۵]
۹. سیستم فوتوولتائیک / پیل سوختی / باطری [۱۶]
۱۰. سیستم باد / میکرو توربین [۱۸-۱۷]
۱۱. سیستم باد / فوتوولتائیک / باطری [۱۹]
۱۲. سیستم باد / پیل سوختی / باطری [۲۰]
۱۳. سیستم باد / دیزل / پیل سوختی / الکترولایزر [۲۱]

[1] Photovoltaic