



# دومین همایش ملی انرژی های نو و پاک

## محل برگزاری دانشکده شهید مفتاح همدان

۱۴ آذرماه ۱۳۹۲ همدان



### مدلسازی دینامیکی پیل سوختی در ریزشکده های جزیره ای بدون حضور باتری

حمیدرضا رستگار<sup>۱\*</sup>، جمشید آقایی<sup>۲</sup>، محسن گیتی زاده<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد برق، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول، دزفول، ایران

Email: [Rastegar@frec.co.ir](mailto:Rastegar@frec.co.ir)

۲- استادیار دانشکده مهندسی برق و الکترونیک، دانشگاه صنعتی شیراز، شیراز، ایران

Email: [aghaie@sutech.ac.ir](mailto:aghaie@sutech.ac.ir)

۳- استادیار دانشکده مهندسی برق و الکترونیک، دانشگاه صنعتی شیراز، شیراز، ایران

Email: [gitizadhe@sutech.ac.ir](mailto:gitizadhe@sutech.ac.ir)

#### چکیده

تکنولوژی تولیدات پراکنده همانند پیل های سوختی، انرژی خورشیدی، توربین بادی، توربین گازی و موتورهای دیزلی در آینده نزدیک نقش بسیار مهمی را در صنعت برق ایفا خواهد نمود. در بین تولیدات پراکنده، پیل سوختی به علت بهره وری بالا به شدت مورد توجه قرار گرفته است. در پیل سوختی شیوه تولید برق از واکنش شیمیایی سوخت هیدروژن و اکسیژن هوا می باشد یکی از ویژگی پیل سوختی، دینامیک آهسته و کند آن به دلیل انجام فرایند شیمیایی می باشد. برای غلبه بر دینامیک آهسته و بهبود کارایی، یک استراتژی نوین در سیستم هیبریدی پیل های سوختی با خازن های بزرگ یا سایر المان ها طراحی گردیده است. در این مقاله مدلسازی یک مدل دینامیکی مناسب پیل سوختی در نرم افزار DigSILENT انجام شده است. همچنین از یک سیستم تولید توان ترکیبی جهت بهبود عملکرد در خصوص تاخیر دینامیکی پیل سوختی استفاده شده است. در ادامه عملکرد پیل سوختی در یک شبکه مجزا بر روی سیستمی متشکل از یک توربین گازی که دارای کنترل کننده هایی همچون AVR و Govenor می باشد، بررسی شده است. سپس تاثیر پیل سوختی در یک شبکه ی نمونه بدون باتری که دارای شرایط خاصی جهت بررسی تاثیر رفتار پیل سوختی است مورد مطالعه قرار گرفته است. در این مقاله با ایجاد یک اختلال، حالتی نامتعادل در شبکه نمونه که شامل چند توربین گازی است بوجود آورده ایم. سپس دو پیل سوختی را جایگزین دو توربین گازی نموده ایم و با ایجاد اختلالی مشابه منحنی های ولتاژ و فرکانس ترمینال ها را با استفاده از آنالیز گذرا ترسیم نموده ایم. جهت بهبود عملکرد مجموعه سیستم ترکیبی شامل پیل سوختی باید ضرایب کنترلی اینورتر سیستم ترکیبی در مقدار مناسبی تثبیت شده باشد.



# دومین همایش ملی انرژی های نو و پاک

## محل برگزاری دانشکده شهید مفتاح همدان

### ۱۴ آذرماه ۱۳۹۲ همدان



واژه‌های کلیدی: تولیدات پراکنده، پیل سوختی، خازن های بزرگ، کنترل کننده‌های قدرت.

#### مقدمه

افزایش روز افزون مصرف انرژی و پیشرفت سریع در تکنولوژی انرژی‌های نو و افزایش آگاهی عمومی در مورد حفاظت از محیط زیست باعث گردیده تا انرژی‌های نو و تولیدات پراکنده زمینه مناسبی برای تحقیق و پژوهش گردد. انرژی‌های نو به انرژی‌هایی اطلاق می‌شود که بر خلاف انرژی‌های مورد استفاده، همانند نیروگاه های سوخت های فسیلی، دارای آلودگی زیست محیطی کمتری باشند و به طبیعت آسیب های کمتری وارد نمایند. انرژی‌های نو به انرژی‌های تجدید پذیر و انرژی‌های با بازده بالا اطلاق می‌شود. محدوده گسترده ای از منابع انرژی همانند انرژی خورشیدی، انرژی باد، انرژی هیدروژن (پیل سوختی) و انرژی زمین گرمایی را می‌توان به عنوان انرژی‌های نو طبقه بندی نمود. اگرچه در حال حاضر اکثر انرژی‌های تولید شده در دنیا بوسیله سوخت های فسیلی و سوخت های هسته‌ای تولید می‌شود. با این حال، به دلایل و مشکلات انرژی‌های سنتی که در زیر بیان شده است، انرژی‌های نو در آینده نزدیک نقش بسیار مهمی را در تولید توان الکتریکی بر عهده خواهد داشت [1]. یک پیل سوختی اکسید جامد با دو رویکرد مدل‌سازی کلی و مدل‌سازی گسترده مدل شده است و تمرکز آن بر روی توسعه ی مدل کلی کارآمد برای شبیه‌سازی و کنترل دینامیکی است [2]. عملکرد این مدل با مدل گسترش یافته جزئی و نتایج آزمایشی مقایسه شده است. با استفاده از شبیه ساز MATLAB، شبیه‌سازی و کنترل دینامیکی پیل سوختی در یک سیستم توزیع مورد مطالعه قرار گرفته است [3,4]. یک مدل ساده‌ی پیل سوختی در [5] توضیح داده شده است و تاثیر ترکیب پیل سوختی و ژنراتور توربین گازی بر روی پایداری سیستم قدرت بررسی شده. مطالعه‌ی Load following با استفاده از میکروتوربین و پیل سوختی پرداخته است که مبتنی بر مدل پدالس است [6,7]. یک استراتژی کنترلی جدید برای کنترل فرکانس در یک کاربرد جزیره (stand-alone) بر مبنای هماهنگی کنترل پیل سوختی و خازن بزرگ در یک سیستم تولید توان تجدیدپذیر مستقل بکار گرفته است [8]. این سیستم معرفی شده متشکل از ژنراتور بادی، سیستم فوتو ولتاییک، سیستم پیل سوختی و بانک خازنی بزرگ ذخیره کننده انرژی میباشد. روشی جهت استفاده ی ترکیبی از توربین بادی/ پیل سوختی و ابرخازن پیشنهاد می‌گردد [9]. که محوریت موضوع کنترل فرکانس و ولتاژ در یک عملکرد Stand-alone می‌باشد. لازم به ذکر است که مدل در نظر گرفته شده برای پیل سوختی در این مقاله یک مدل بسیار ساده می‌باشد که نمی‌تواند بیانگر رفتار دینامیکی پیل سوختی بطور دقیق باشد. در [10] نویسنده به عملکرد Load following در یک سیستم مستقل تولید توان ترکیبی/ سیستم ذخیره انرژی پرداخته است. این سیستم متشکل از دو پیل سوختی اکسید جامد است، یک دیزل ژنراتور و یک باتری ESS می‌باشد. کنترل ولتاژ و فرکانس نیز در این سیستم مد نظر قرار گرفته است. تاثیر اتصال کوتاه و کاهش ولتاژ بر روی شبکه توزیع متصل به پیل سوختی مورد بررسی قرار گرفته است [11]. معرفی و توضیح انواع مختلف سیستم های ترکیبی پیل سوختی و کاربردهایشان و پس از آن معرفی تحلیل عملکرد یک سیستم ترکیبی متشکل از پیل سوختی اکسید جامد و میکرو توربین پرداخته است [12]. یک مدل فیزیکی بر اساس مدل دینامیکی برای پیل



# دومین همایش ملی انرژی های نو و پاک

## محل برگزاری دانشکده شهید مفتاح همدان

۱۴ آذرماه ۱۳۹۲ همدان

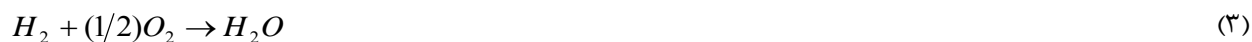


سوختی اکسید جامد پیشنهاد شده است. این مدل بر مبنای مشخصه های الکترو شیمیایی و ترمودینامیکی داخل پیل سوختی اکسید جامد می باشد. برای گسترش مدل از معادلات ترمودینامیکی و الکتروشیمیایی استفاده شده است [13]. در بخش دوم و سوم مدل سازی و استراتژی کنترلی پیل سوختی آورده شده است. مقادیر پارامترهای سیستم کنترل پیل سوختی و روش های اتصال پیل سوختی در بخش های چهارم و پنجم بررسی شده است. و در آخر شبیه سازی و بحث در نتایج در بخش های ششم و هفتم بیان شده است.

## 2- مدل سازی پیل سوختی

پیل سوختی بعنوان یک سیستم تولید توان استاتیکی از طریق ترکیب سوخت و اکسیژن در یک واکنش الکتروشیمیایی توان الکتریکی DC تولید میکند.

جهت تولید توان واکنش های شیمیایی که در پیل رخ می دهد بصورت زیر میباشند:



مصرف سوخت توسط نسبت بین سوخت واکنش داده جاری و سوخت ورودی جاری پیل سوختی طبق رابطه زیر مشخص میشود:

$$U = \frac{q_{H_2}^{in} - q_{H_2}^O}{q_{H_2}^{in}} = \frac{q_{H_2}^r}{q_{H_2}^{in}} \quad (4)$$

معادله ی هر گاز کامل مانند هیدروژن یا اکسیژن بطور مستقل میتواند بصورت زیر نوشته شود :

$$P_{H_2} V_{an} = n_{H_2} RT \quad (5)$$

با مشتق گیری بر حسب زمان از عبارت فوق خواهیم داشت :

$$\frac{dP_{H_2}}{dt} = \frac{RT}{V_{an}} q_{H_2} = \frac{RT}{V_{an}} (q_{H_2}^{in} - q_{H_2}^O - q_{H_2}^r) \quad (6)$$



# دومین همایش ملی انرژی های نو و پاک

## محل برگزاری دانشکده شهید مفتاح همدان

### ۱۴ آذرماه ۱۳۹۲ همدان



مولار خروجی جریان هر گاز (هیدروژن) متناسب با فشار جزئی درون کانال میباشد:

$$\frac{q_{H_2}^o}{P_{H_2}} = \frac{K_{an}}{\sqrt{M_{H_2}}} = K_{H_2} \quad (7)$$

با استفاده از معادلات (4) و (5) فشار جزئی هیدروژن را میتوان بصورت زیر نوشت:

$$\frac{dP_{H_2}}{dt} = \frac{RT}{V_{an}} (q_{H_2}^{in} - K_{H_2} P_{H_2} - q_{H_2}^r) \quad (8)$$

با استفاده از معادله ی (۲) معادله ی (۶) بصورت زیر بازنویسی میگردد:

$$\frac{dP_{H_2}}{dt} = \frac{RT}{V_{an}} \left( \frac{q_{H_2}^r}{U} - K_{H_2} P_{H_2} - q_{H_2}^r \right) \quad (9)$$

$\tau_{H_2}$  را بصورت زیر تعریف میکنیم:

$$\tau_{H_2} = \frac{v_{an}}{RTK_{H_2}} \quad (10)$$

با تبدیل لاپلاس گرفتن از معادله ی (۷) فشار جزئی هیدروژن بصورت زیر بدست می آید:

$$P_{H_2} = \frac{1/K_{H_2}}{1+s\tau_{H_2}} q_{H_2}^r \left( \frac{1}{U} - 1 \right) \quad (11)$$

بر طبق روابط اساسی الکتروشیمیایی جریان مولار واکنش دهنده هیدروژن میتواند بصورت زیر محاسبه گردد:

$$q_{H_2}^r = \frac{N_0 I_{fc}^r}{2F} = 2K_r I_{fc}^r \quad (12)$$

با استفاده از معادله ی نرنست و قانون اهم ولتاژ خروجی را میتوان بصورت زیر نوشت:



# دومین همایش ملی انرژی های نو و پاک

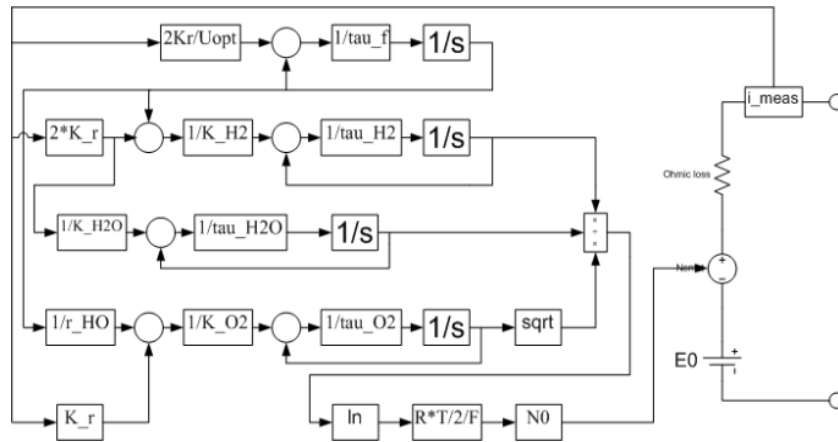
## محل برگزاری دانشکده شهید مفتاح همدان

### ۱۴ آذرماه ۱۳۹۲ همدان



$$V = N_0 \left( E_0 + \frac{RT}{2F} \left[ \ln \left( \frac{p_{H_2} p_{O_2}^{0.5}}{p_{H_2O}} \right) \right] \right) - r I_{fc}^r \quad (13)$$

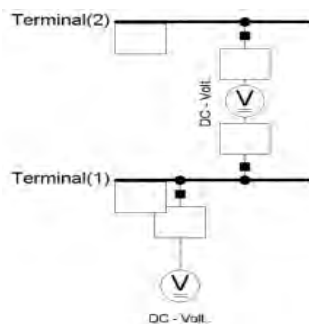
شکل (۱) مدل دینامیکی پیل سوختی، که بر اساس معادلات بالا بدست آمده است را نشان میدهد. پارامترهای مدل سیستم پیل سوختی استفاده شده در این مقاله در جدول (۱) آورده شده است.



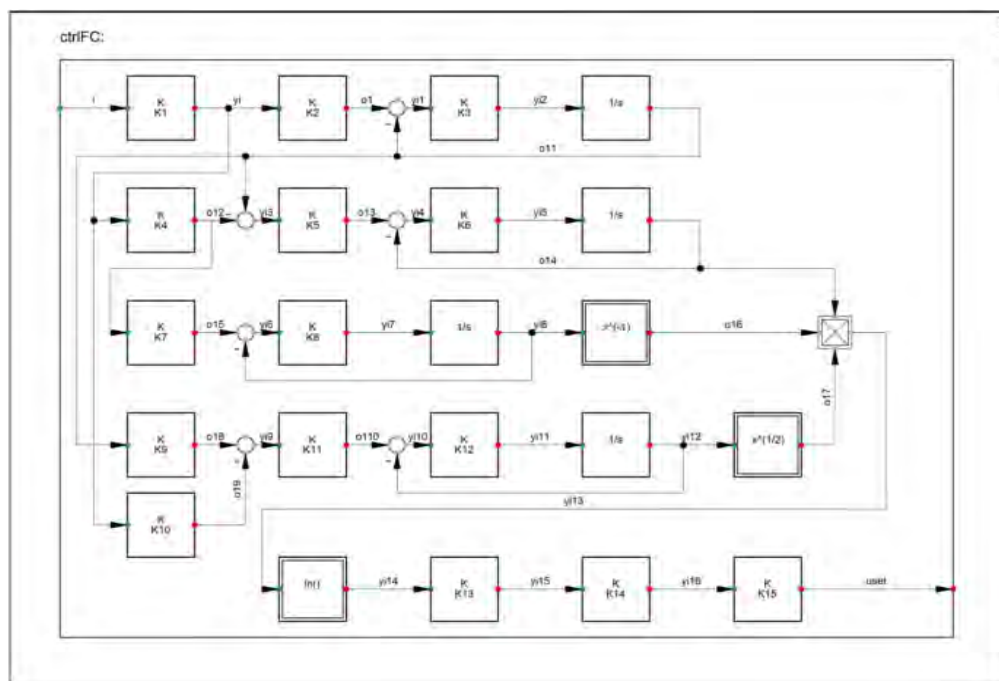
شکل (۱) مدل دینامیکی پیل سوختی

### ۳- استراتژی کنترلی مدل شده جهت مدل کردن پیل سوختی

هر چه میزان جریانی که از پیل سوختی کشیده میشود افزایش یابد به علت وجود مقاومت‌های داخلی افت ولتاژی بر روی ترمینال پیل سوختی ایجاد میگردد که جبران این افت ولتاژ با کنترل فشار جزئی سوخت صورت میگیرد که این امر سبب ایجاد یک رفتار دینامیکی از پیل سوختی در شرایط تغییر بار آن میگردد. ما این رفتار دینامیکی را با سیستم کنترلی پیل سوختی مدل کرده‌ایم که ورودی آن میزان جریان کشیده شده از ترمینال پیل سوختی و خروجی آن سیگنالی میباشد که بیانگر میزان ولتاژ تولیدی بیشتر در شرایط دینامیکی است با اعمال این سیگنال به یک منبع ولتاژ وابسته سری میتوان این سیگنال را به ولتاژی موثر بر ترمینال خروجی پیل سوختی تبدیل کرد. در شکل (۳) شمای کلی سیستم کنترلی پیل سوختی آورده شده است. شمای کلی سیستم قدرت پیل سوختی در شکل (۲) نشان داده شده است.



شکل (۲) شمای کلی سیستم قدرت پیل سوختی



شکل (۳) شمای کلی سیستم کنترلی پیل سوختی

#### ۴- مقادیر پارامترهای سیستم کنترلی پیل سوختی

مقادیر پارامترهای سیستم کنترلی پیل سوختی در جدول (۱ و ۲) آورده شده است. در این جدول مقادیر معادل قسمت های مختلف کنترل کننده هایی که در شکل های (۳ و ۱) آورده شده اند بیان گردیده و مقدار آنها نیز مشخص شده است.



# دومین همایش ملی انرژی های نو و پاک

## محل برگزاری دانشکده شهید مفتاح همدان

### ۱۴ آذرماه ۱۳۹۲ همدان



جدول (۱) مقادیر پارامترهای پیل سوختی

مقدار	پارامترها	مدل
1000	$I_{base}$	K1
$2.74e-6$	$2K_r/U_{opt}$	K2
0.2	$1/\tau_f$	K3
$2.33e-6$	$2*K_r$	K4
1186.24	$1/K_{H2}$	K5
0.0383	$1/\tau_{H2}$	K6
3558.71	$1/K_{H2O}$	K7
0.0128	$1/\tau_{H2O}$	K8
0.8734	$1/r_{HO}$	K9
$1.16e-6$	$K_r$	K10
396.8254	$1/K_{O2}$	K11
0.3436	$1/\tau_{O2}$	K12
0.0548	$R*T/2/F$	K13
450	$N_0$	K14
0.001	$1/V_{base}$	K15

#### ۵- روش های اتصال پیل سوختی به شبکه

برای اتصال پیل سوختی به یک شبکه گسترده به هم پیوسته دو مد کاری مختلف وجود دارد که در یک حالت میزان توان اکتیو و راکتیو مشخص از پیش تعیین شده به شبکه تزریق می‌کند (مانند شین PQ) و در حالت دیگر توان اکتیو مشخص از پیش تعیین شده‌ای به شبکه تزریق می‌گردد اما میزان توان راکتیو تزریقی به گونه‌ای است که یک تنظیم ولتاژ بر روی شینی که پیل سوختی به آن متصل است داشته باشیم (مانند شین PV) [14]. شبکه برق وظیفه‌ی تغذیه‌ی توان اکتیو و راکتیو مصرفی را جهت ثابت نگه داشتن فرکانس و باقی ماندن ولتاژ در اندازه مجاز را دارد [15]. بعلاوه، استراتژی‌های کنترلی سریع و انعطاف‌پذیر توان اکتیو و



# دومین همایش ملی انرژی های نو و پاک

## محل برگزاری دانشکده شهید مفتاح همدان

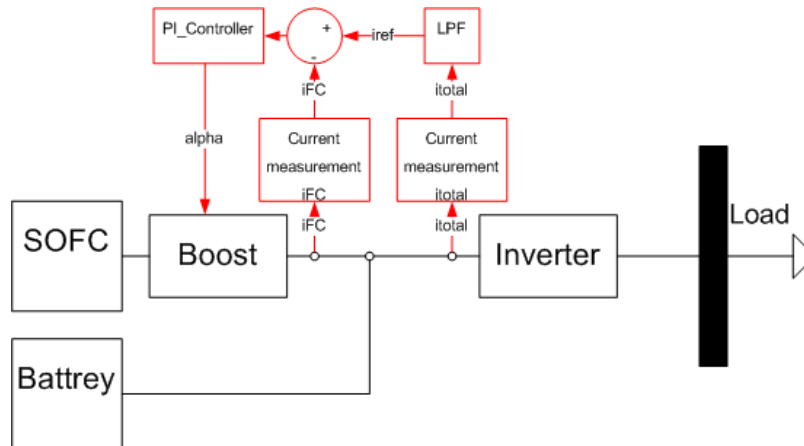
### ۱۴ آذرماه ۱۳۹۲ همدان



راکتیو جهت حداقل کردن دینامیک‌های ریزش‌بکه مورد نیاز است. به عنوان مثال میرا کردن نوسانات سیستم که ممکن است بر اثر ورود یا خروج یک بار بزرگ بوجود آید. تمرکز این پژوهش بر روی استراتژی‌های کنترلی سیگنال‌های اندازه‌گیری شده‌ی محلی است. که دارای ارتباط بین واحدهای تولیدی نیست. بنابراین کنترل‌کننده‌ها باید بر اساس اطلاعات محلی عمل کنند.

#### ۱-۵ استراتژی کنترلی استفاده شده جهت کنترل جریان خروجی پیل سوختی

جهت کنترل جریان پیل سوختی میزان کل جریان تامین شده توسط مجموعه‌ی باطری و پیل سوختی ( $I_{total}$ ) اندازه‌گیری شده و به‌عنوان جریان مرجع به کنترل‌کننده داده شده است در کنترل‌کننده این جریان پس از عبور از یک فیلتر پایین گذر تبدیل به جریان مرجع ( $I_{ref}$ ) می‌گردد و با جریان پیل سوختی ( $I_{fc}$ ) مقایسه شده و سیگنال خطا تولید می‌گردد پس از آن این سیگنال خطا به یک کنترل‌کننده PID داده شده و نسبت ولتاژ مبدل معین می‌گردد. که به ازای این نسبت ولتاژ، ولتاژ خروجی مبدل تنظیم شده و جریان مناسب از پیل سوختی کشیده خواهد شد (شکل ۴).



شکل (۴) کنترل‌کننده مبدل Boost پیل‌های سوختی جهت کنترل جریان پیل سوختی

جهت کنترل ولتاژ و فرکانس توسط پیل سوختی نیز از یک اینورتر استفاده شده است که با قرار دادن کنترل‌کننده‌های مناسب مقدار ولتاژ و فرکانس در ترمینال AC کنترل می‌گردد.

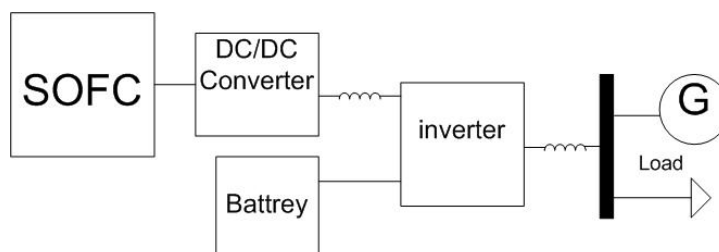




# دومین همایش ملی انرژی های نو و پاک

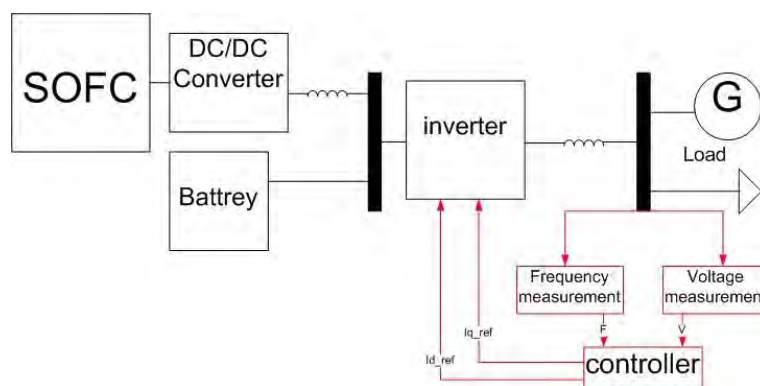
## محل برگزاری دانشکده شهید مفتاح همدان

### ۱۴ آذرماه ۱۳۹۲ همدان



شکل (۵) شمای کلی شبکه‌ی نمونه متشکل از پیل سوختی، باتری، کانورتر، اینورتر، بار و توربین گازی

جهت کنترل ولتاژ و فرکانس ترمینال AC میزان ولتاژ و فرکانس این ترمینال اندازه‌گیری شده و سپس با ولتاژ و فرکانس مرجع مقایسه شده و میزان خطا تولید می‌شود و در نتیجه این میزان خطای تولید شده پس از عبور از کنترل‌کننده PID میزان توان اکتیو و راکتیو تولیدی که باید توسط اینورتر تزریق گردد را معین می‌کند که این توان‌ها بعنوان توان مرجع تولیدی با میزان توان تولیدی اینورتر مقایسه شده و در این مرحله در نهایت با عبور سیگنال خطای تولید شده از یک کنترل‌کننده PID، میزان جریان-های مرجع محورهای  $d$  و  $q$  اینورتر تعیین می‌گردد. کنترل‌کننده‌های مربوط به این سیستم بصورت زیر می‌باشند:



شکل (۶) کنترل‌کننده‌های مربوط به اینورتر پیل سوختی



# دومین همایش ملی انرژی های نو و پاک

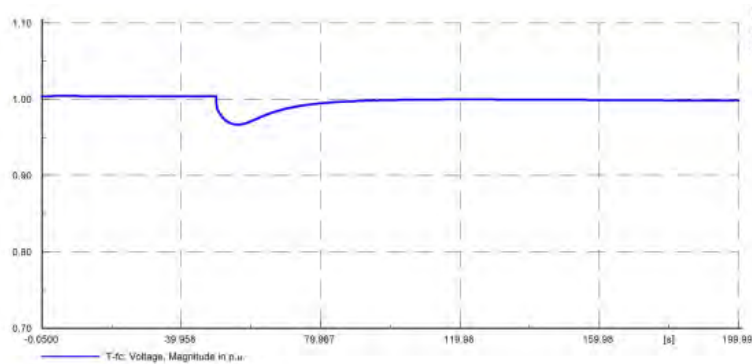
## محل برگزاری دانشکده شهید مفتاح همدان

### ۱۴ آذرماه ۱۳۹۲ همدان



#### ۶- شبیه سازی

شبکه مورد مطالعه جهت بررسی عملکرد پیل سوختی در این قسمت یک شبکه‌ی (KV ۰.۴) می‌باشد که در نرم‌افزار DigSILENT مدل شده است و توان نامی پیل سوختی متصل شده به این شبکه (KV ۸۶) می‌باشد. که مقدار پارامترهای آن در جدول (۱) آورده شده است. مقادیر  $K_i$  و  $K_e$  جهت تبدیل جریان پریونیت ورودی کنترل‌کننده‌ی پیل سوختی به مقدار واقعی و پریونیت کردن ولتاژ خروجی از کنترل‌کننده‌ی پیل سوختی لحاظ گردیده‌اند. زیرا کنترل‌کننده‌ی استفاده شده جهت مدل‌سازی پیل سوختی از مقدار واقعی جریان به عنوان ورودی استفاده می‌کند و مقدار واقعی ولتاژ را به عنوان خروجی می‌دهد. اما مقادیر ولتاژ و جریانی که در نرم‌افزار DigSILENT استفاده می‌گردد به پریونیت می‌باشد. عملکرد پیل سوختی مدل‌سازی شده جهت بررسی عملکرد پیل سوختی مدل شده ابتدا آن را به باس بی‌نهایت متصل نموده‌ایم. مقدار توان تولیدی آن را بر روی نصف میزان توان نامی‌اش تنظیم نموده‌ایم، سپس در زمان ۵۰ ثانیه میزان توان مرجع پیل سوختی  $P_{ref}$  را به صورت پله‌ای به میزان توان نامی آن رسانده‌ایم. نتایج شبیه‌سازی که شامل ولتاژ، توان تولیدی اینورتر در واحد پریونیت و فشار جزئی هیدروژن، آب و اکسیژن می‌باشد در شکل‌های زیر آورده شده است. شکل‌های زیر حاوی نتایج شبیه‌سازی می‌باشد که موید عملکرد صحیح پیل سوختی مدل شده در نرم‌افزار دیگسایلنت است.



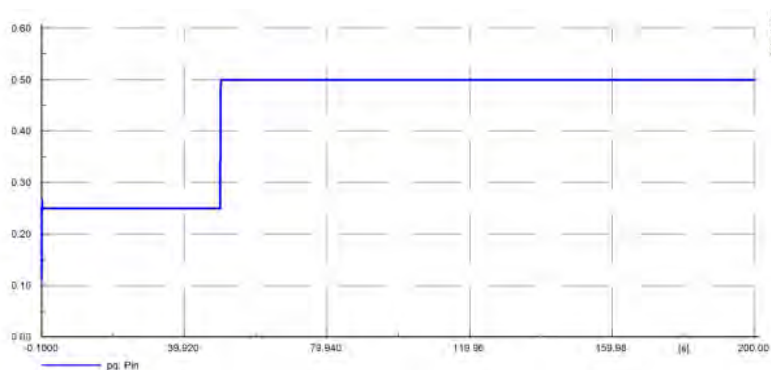
شکل (۷) منحنی ولتاژ DC ترمینال پیل سوختی به پریونیت



# دومین همایش ملی انرژی های نو و پاک

## محل برگزاری دانشکده شهید مفتاح همدان

### ۱۴ آذرماه ۱۳۹۲ همدان



شکل (۸) منحنی توان اکتیو اینورتر

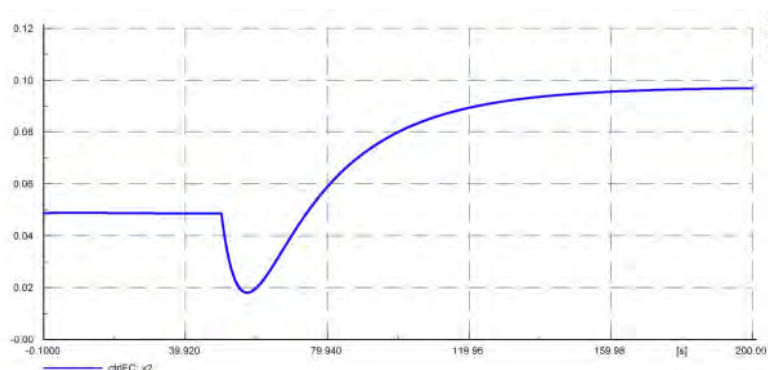
با توجه به نتایج شبیه سازی مشخص می گردد که در لحظه ای که توان تولیدی پیل سوختی افزایش می یابد میزان فشار هیدروژن و اکسیژن کاهش یافته و فشار آب افزایش می یابد که دلیل آن مصرف هیدروژن و اکسیژن و تولید آب می باشد. با افزایش توان تولیدی پیل سوختی جریان بیشتر به شبکه تزریق می گردد که این امر موجب می گردد که سیستم کنترلی پیل سوختی فرمان افزایش فشار جزئی هیدروژن و اکسیژن ورودی را بدهد. و پس از مدتی که بستگی به ثابت زمانی پاسخ هیدروژن و اکسیژن دارد، میزان فشار هیدروژن و اکسیژن افزایش می یابد و ولتاژ ترمینال پیل سوختی به تبع آن افزایش خواهد یافت.



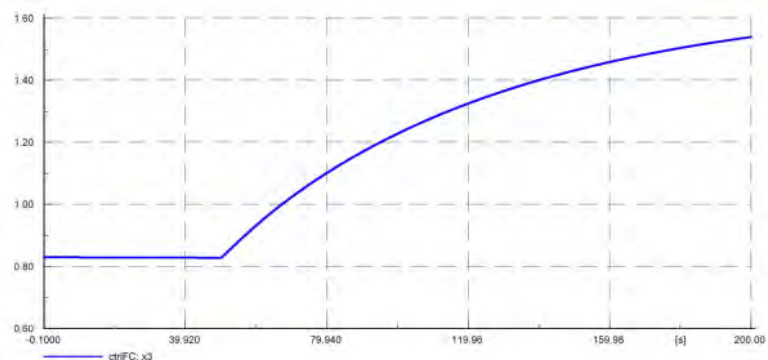
# دومین همایش ملی انرژی های نو و پاک

## محل برگزاری دانشکده شهید مفتاح همدان

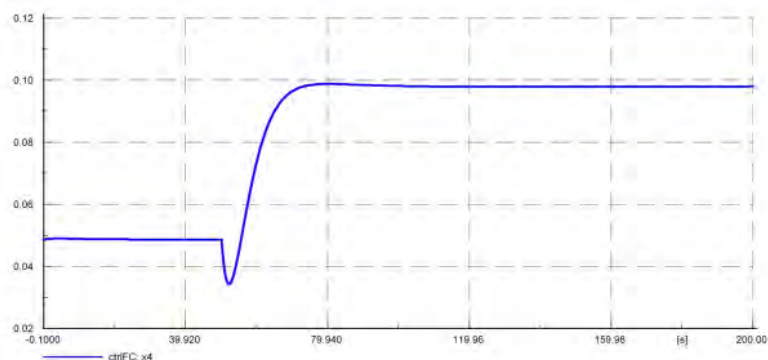
### ۱۴ آذرماه ۱۳۹۲ همدان



شکل (۹) منحنی فشار جزئی هیدروژن پیل سوختی



شکل (۱۰) منحنی فشار جزئی آب پیل سوختی



شکل (۱۱) منحنی فشار جزئی اکسیژن پیل سوختی



# دومین همایش ملی انرژی های نو و پاک

## محل برگزاری دانشکده شهید مفتاح همدان

### ۱۴ آذرماه ۱۳۹۲ همدان



جدول (۲) مقدار ثابت زمانی اکسیژن هیدروژن و آب

$\tau_{h_2}$	ثابت زمانی جریان هیدروژن	26.1 s
$\tau_{h_2O}$	ثابت زمانی جریان آب	78.3 s
$\tau_{O_2}$	ثابت زمانی جریان اکسیژن	2.91 s

با توجه به مقادیر فوق سرعت تغییر جریان اکسیژن نسبت به هیدروژن و آب بیشتر است که در شکل های فوق این مساله روشن می گردد. سرعت تغییرات جریان هیدروژن با وجود اینکه از اکسیژن کمتر است ولی از سرعت تغییرات جریان آب بیشتر است که این امر به وضوح دیده می شود. منحنی ولتاژ و فرکانس ترمینال AC پس از قرار دادن ایونت هایی در بار در حضور پیل سوختی و بدون حضور پیل سوختی در زیر آورده شده است:

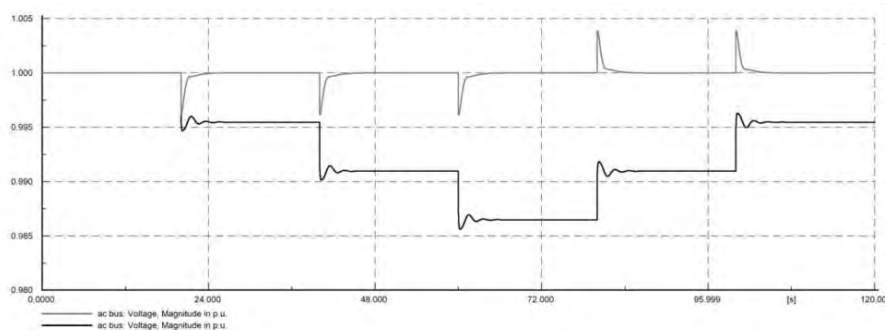


بم آدرشان محیط زیست فردا  
شماره ثبت: ۱۰۵۶۰

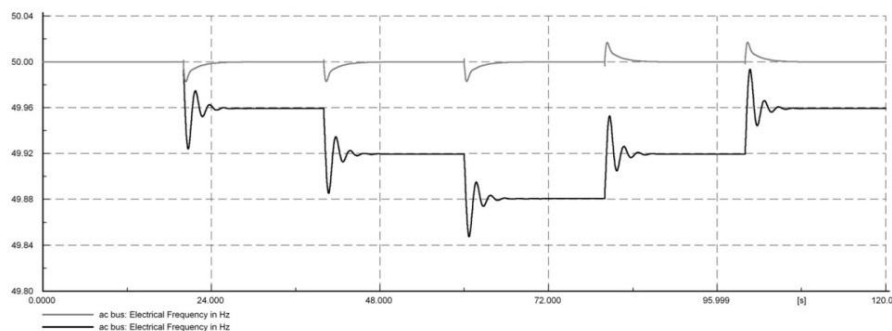
# دومین همایش ملی انرژی های نو و پاک

## محل برگزاری دانشکده شهید مفتاح همدان

### ۱۴ آذرماه ۱۳۹۲ همدان



منحنی ولتاژ



منحنی فرکانس

شکل (۱۲) \_\_\_ بدون حضور پیل سوختی  
\_\_\_ در حضور پیل سوختی

همانطور که در (شکل ۱۲) مشاهده می‌کنید با توجه به قراردادن ایونت‌هایی روی بار، در زمانی که پیل سوختی در شبکه متصل نمی‌باشد، ولتاژ و فرکانس شبکه با تغییر بار، با نوسانات زیادی تغییر کرده ولی زمانی که پیل سوختی به شبکه متصل می‌گردد، ولتاژ و فرکانس شبکه با تغییر بار، با نوسانات بسیار کمی تغییر و به حالت ماندگار رسیده است.

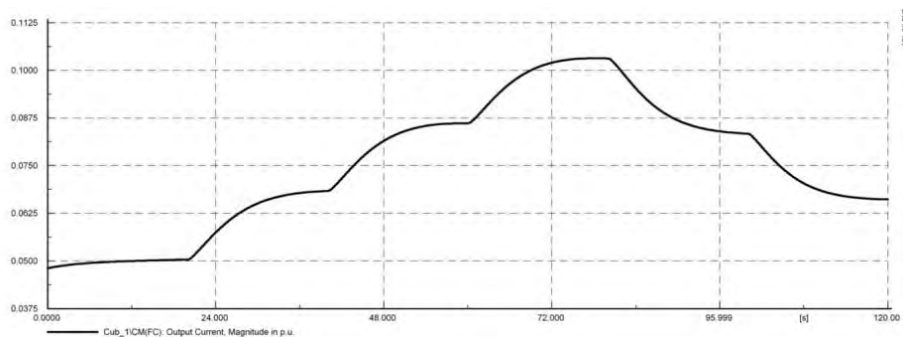
منحنی جریان تولید شده توسط پیل سوختی و همچنین ولتاژ ترمینال DC آن در زیر آورده شده است:



# دومین همایش ملی انرژی های نو و پاک

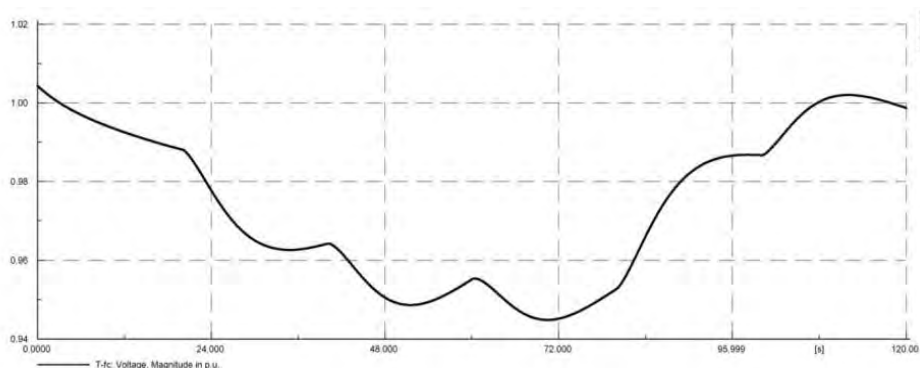
## محل برگزاری دانشکده شهید مفتاح همدان

### ۱۴ آذرماه ۱۳۹۲ همدان



شکل (۱۳) جریان تولیدی پیل سوختی

همانطور که در شکل فوق مشاهده می گردد، با افزایش جریان بار، جریان تولیدی پیل سوختی افزایش یافته و در مواقعی که جریان بار کاهش یافته، به تبع آن جریان تولیدی پیل سوختی نیز کاهش می یابد.



شکل (۱۴) ولتاژ ترمینال DC پیل سوختی

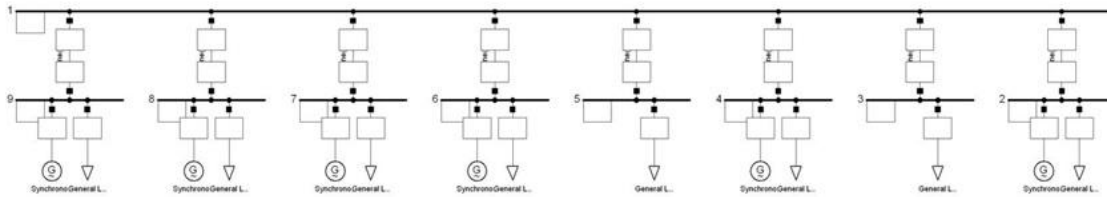
در این مقاله میزان توان بارهای باس های ۳ و ۵ در زمان ۲۵ ثانیه به صورت پله ای افزایش می یابند. نتایج شبیه سازی در دو حالت بررسی شده است که در یکی تمام توربین های گازی در مدار هستند و در یک حالت دیگر در باس های ۲ و ۴ توربین گازی از مدار خارج شده و به جای آنها سیستم پیل سوختی جایگزین شده است. تغییرات ولتاژ و فرکانس در این دو حالت در شکل زیر ترسیم شده است.



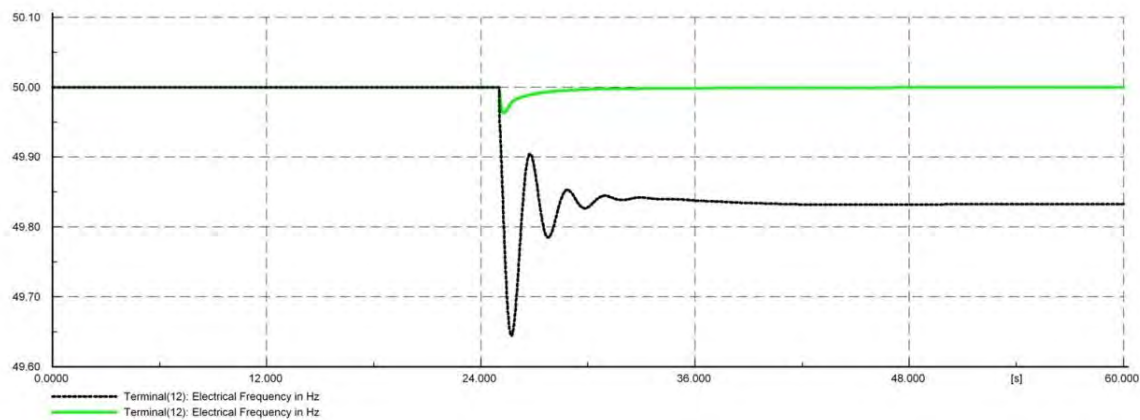
# دومین همایش ملی انرژی های نو و پاک

## محل برگزاری دانشکده شهید مفتح همدان

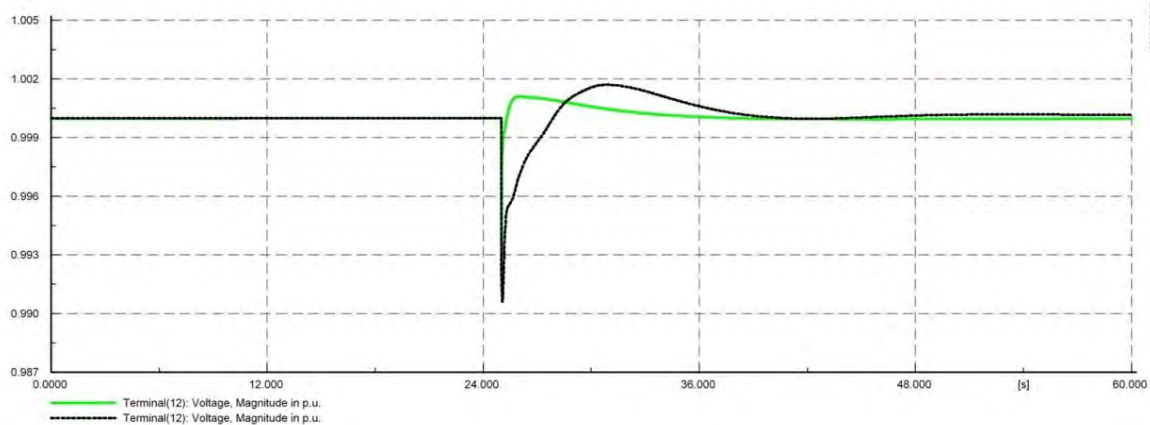
### ۱۴ آذرماه ۱۳۹۲ همدان



شکل (۱۵) شبکه مورد مطالعه



(a)



(b)

شکل (۱۶) (a) فرکانس و (b) ولتاژ شبکه مورد مطالعه  
.....حالت اول ژنراتورهای گازی در مدار





# دومین همایش ملی انرژی های نو و پاک

## محل برگزاری دانشکده شهید مفتاح همدان

### ۱۴ آذرماه ۱۳۹۲ همدان



حالت دوم پیل سوختی در مدار \_\_\_\_\_

همانطور که مشاهده می گردد میزان جریان تولید شده توسط پیل سوختی با یک ثابت زمانی مناسب می باشد که منجر به تغییرات کمی در ولتاژ ترمینال DC پیل سوختی شده است و این ولتاژ در حدود ولتاژ نامی (0.4 KV) ترمینالش تغییرات دارد.

### نتیجه گیری

در این مقاله بررسی اثر دینامیکی یک سیستم ترکیبی همراه با پیل سوختی و کنترل کننده های مناسب مربوطه بر روی سیستم های قدرتی که شامل تولیدات پراکنده ای از جمله توربین بادی با ژنراتورهای سنکرون و القایی به همراه سیستم های کنترل ولتاژ و فرکانس که میتوانند ثابت زمانی های قابل توجهی در مقایسه با ثابت زمانی سیستم پیل های سوختی داشته باشند و بر روی یکدیگر تداخل کنترلی داشته باشند مورد بررسی قرار گرفتند. با توجه به مطالعات فوق روشن گردید که حضور سیستم پیل سوختی در شبکه موجب عملکرد سیستم های کنترلی از یک حالت نوسانی به یک حالت میرا می گردد. که با توجه به اینکه کنترل کننده گاورنر دارای مدهای نوسانی با دامنه نوسان زیاد و میرایی بسیار کم بود. سیستم پیل سوختی بیشترین تغییرات را در عملکرد گاورنر ایجاد می نمود. از طرفی در مورد مطالعاتی آنالیز گذرا بر روی شبکه ای نمونه این تغییر عملکرد با تغییر در فرکانس شبکه به وضوح دیده می شود.

## References

- [1] Jung, J. W (2005). —Modeling and Control of Fuel Cell Based Distributed Generation System” , a dissertation submitted in partial fulfillment of the requirement for the degree of doctor of philosophy in engineering. Ohio State University.
- [2] A. Gebregergis, P. Pillay, D. Bhattacharyya, R. Rengaswemy, —Solid oxide fuel cell modeling”, IEEE Transactions On Industrial Electronics, JANUARY 2009.



# دومین همایش ملی انرژی های نو و پاک

## محل برگزاری دانشکده شهید مفتاح همدان

۱۴ آذرماه ۱۳۹۲ همدان



- [3] Z. Miao, M. A. Choudhry, R. L. Klein, L. Fan, "Study Of A Fuel Cell Power Plant In Power Distribution System – Part I: Dynamic Model", IEEE Conference, On Power Engineering Society General Meeting, 2004.
- [4] Z. Miao, M. A. Choudhry, R. L. Klein, L. Fan, "Study of A Fuel Cell Power Plant in Power Distribution System – Part II: Stability Control", IEEE Conference, On Power Engineering Society General Meeting, 2004.
- [5] C. J. Hatziaioniu, A. A. Lobo, F. Pourboghrat, and M. Daneshdoost, —A simplified dynamic model of grid-connected fuel-cell generators", IEEE Trans. Power Delivery, vol. 17, pp. 467–473, 2002.
- [6] Y. Zhu and K. Tomsovic, —Development of models for analyzing the load-following performance of micro-turbines and fuel cells," Elect. Power Syst. Res. J., Dec. 2001.
- [7] J. Padullés, G. W. Ault, and J. R. McDonald, —An integrated SOFC plant dynamic model for power system simulation," J. Power Sources, pp. 495–500, 2000.
- [8] M. Nayeripour, M. Hoseintabar, T. Niknam, —Frequency deviation control by coordination control of FC and double-layer capacitor in an autonomous hybrid renewable energy power generation system", Elsevier Renewable Energy, pp. 1741-1746, 2011.
- [9] N. Gyawali, Y. Ohsawa, "Effective Voltage And Frequency Control Strategy For A Stand-Alone System With Induction Generator/Fuel Cell/Ultracapacitor", IEEE Conference, Power And Energy Society (PES), 2009.
- [10] L. Wang, D. Lee, —Load tracking performance of an autonomous sofc-based hybrid power generation/energy storage system", IEEE Transactions On Energy Conversion, Vol. 25, No. 1, March 2010.
- [11] M. Stewart, R. Tumilty, J. Fletcher, A. Lutz, G. Ault, J. McDonald, —Analysis of a distributed grid-connected fuel cell during fault conditions", IEEE Transactions On Power Systems, Vol. 25, No. 1, February 2010.
- [12] K. Rajashekara, —Hybrid fuel-cell strategies for clean power generation", IEEE Transactions On Industry Applications, Vol. 41, No. 3, May/June 2005.
- [13] C. Wang, M. HashemNehrir, —A physically based dynamic model for solid oxide fuel cells", IEEE Transactions On Energy Conversion, Vol. 22, No. 4, December 2007.
- [14] K. Sedghisigarchi, A. Feliachi, —Dynamic and transient analysis of power distribution systems with fuel cells—part I: fuel-cell dynamic model", IEEE Transactions On Energy Conversion, Vol. 19, No. 2, June 2004.
- [15] F. Katiraei, M. R. Iravani, and P. W. Lehn, —Micro-grid autonomous operation during and subsequent to islanding process," IEEE Trans. Power Del., vol. 20, no. 1, pp. 248–257, Jan. 2005.