

کنترل توان خروجی پیل سوختی بر مبنای هوش محاسباتی

عباس مولوی داریانی * محمد شاهینی ** حسن رستگار * علی اصغر قدیمی *
***دانشکده مهندسی برق-دانشگاه صنعتی امیرکبیر (قطب علمی قدرت ایران) ** دانشگاه تربیت مدرس**
تهران-ایران

واژه‌های کلیدی: پیل سوختی الکترولیت پلیمری، کنترل کننده فازی، واحد مطلوب کننده توان، مدولاسیون پهنای پالس

چکیده

در این مقاله مدلسازی، شبیه‌سازی و کنترل سیستم تولید انرژی الکتریکی پیل سوختی الکترولیت پلیمری برای کاربردهای خانگی انجام گرفته و از کنترل کننده فازی برای کنترل توان خروجی پیل سوختی استفاده شده است. سیستمی که برای شبیه‌سازی انتخاب شده شامل پیل سوختی الکترولیت پلیمری ۵ کیلوواتی، اینورتر که به همراه آن فیلتر و ترانسفورماتور افزایشدهنده است، می‌باشد. جهت بررسی مدل پیل سوختی و نشان دادن قابلیت کنترلر به کار گرفته شده، سیستمی جدا از شبکه با دو نوع بار استاتیک که نشان دهنده بارهای روشنایی منازل می‌باشد و دیگری بار موتوری را مورد بررسی قرار داده‌ایم. نتایج شبیه‌سازی با استفاده از Simulink/Matlab مشخص می‌کند که ولتاژ دوسر بار و توان مورد نیاز آن به خوبی توسط کنترل کننده فازی تأمین می‌شوند. همچنین ارزیابی کیفیت توان تأیید می‌کند که هارمونیک ولتاژ دو سر بار مطابق استاندارد IEEE_519 برای کاربردهای خانگی می‌باشد.

۱- مقدمه:

انتظار می‌رود در آینده‌ای نزدیک استفاده از پیل سوختی برای تولید انرژی الکتریکی رو به افزایش باشد و دلیل آن مزیت‌های تکنولوژی پیل سوختی است که عبارتند از: بازده بسیار بالا، قابل حمل بودن، عدم آلودگی زیست محیطی، کیفیت توان بهتر و قابلیت اطمینان بالا. استفاده از تکنولوژی پیل سوختی با دمای عملکرد پایین و راه اندازی سریع برای تولید الکتریسیته و حرارت بطور همزمان برای کاربردهای خانگی مناسب می‌باشد [۱].

با توجه به سرمایه‌گذاری‌های کلان کشورهای مختلف، پیل‌های سوختی در حال تکامل و حرکت به سمت تجاری شدن می‌باشند که دلایل اصلی علاقه به تجاری شدن آنها عبارتند از: افزایش قیمت نفت خام و بحران انرژی در کشورهای پیشرفته، قابلیت در دسترس بودن سوخت آنها، ساختار مدولار آن، بازده بالا و عدم آلودگی زیست محیطی.

در واقع پیل سوختی انرژی شیمیایی سوخت‌های هیدروکربنی (به خصوص هیدروژن) را مستقیماً به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کند. پیل‌های سوختی با توجه به نوع

۲- مدل پیل سوختی الکترولیت پلیمری

عملکرد پیل سوختی توسط منحنی پلاریزاسیون بیان می‌شود که ولتاژ پیل سوختی را بر حسب جریان آن نمایش می‌دهد. فاکتورهای اصلی که بر منحنی پلاریزاسیون تأثیر گذارند عبارتند از:

۱. فشار جزئی هیدروژن

۲. فشار جزئی اکسیژن

۳. دما

۴. میزان رطوبت غشاء الکترولیت

ولتاژ خروجی پیل سوختی در منحنی پلاریزاسیون توسط معادله (۱) بیان می‌شود [۶].

$$V_{FC} = E_{Nernst} - V_{ohmic} - V_{activation} - V_{concentration} \quad (1)$$

که در معادله فوق:

$$E_{Nernst} = 1.229 - 0.85 * 10^{-3} * (T - 298.15) + 4.31 * 10^{-5} * T * \left[\ln(P_{H_2}) + \frac{1}{2} \ln(P_{O_2}) \right]$$

E_{Nernst} ، ولتاژ نرنست یا ولتاژ برگشت پذیر نامیده می‌شود و ولتاژ پیل سوختی در شرایطی که به بار متصل نمی‌باشد این مقدار است. [۷-۸].

V_{ohmic} ، نشان دهنده افت ولتاژ اهمی است که به سبب مقاومت در برابر حرکت الکترونها و یونها ایجاد می‌شود و از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$V_{ohm} = i_{FC} (R_M + R_C) \quad (2)$$

که در رابطه فوق R_C مقاومت الکترودها در مقابل عبور الکترون بوده و ثابت می‌باشد. R_M مقاومت الکترولیت در مقابل عبور یونها بوده و از روابط (۳) و (۴) به دست می‌آید [۷-۸]:

$$R_M = \rho_M \frac{l}{A} \quad (3)$$

$$\rho_M = \frac{181.6 \left[1 + 0.03 \left(\frac{i_{FC}}{A} \right) + 0.062 \left(\frac{i_{FC}}{A} \right)^{2.5} \left(\frac{T}{303} \right)^2 \right]}{\left[\Psi - 0.634 - 3 \left(\frac{i_{FC}}{A} \right) \right] \cdot \exp \left(4.18 \left(\frac{T - 303}{T} \right) \right)} \quad (4)$$

الکترولیت بکار رفته در آنها انواع مختلفی دارند، که عبارتند از:

پیل سوختی الکترولیت پلیمری، پیل سوختی آلکالین، پیل سوختی اسید فسفریک، پیل سوختی کربنات مذاب و پیل سوختی اکسید جامد [۱].

در میان انواع مختلف پیل سوختی اشاره شده، پیل سوختی الکترولیت پلیمری به دلیل دمای عملکرد پایین (زیر ۱۰۰ درجه سانتیگراد) و پاسخ دینامیکی خوب برای کاربردهای خانگی مناسب می‌باشد [۲]. یک سیستم کامل پیل سوختی جهت تولید انرژی شامل واحد پردازنده سوخت، پشته پیل سوختی و واحد مطلوب کننده توان می‌باشد. واحد پردازنده سوخت وظیفه تولید هیدروژن با خلوص مناسب از سوختهای دیگر نظیر گاز طبیعی را بر عهده دارد. پشته پیل سوختی با توجه به هیدروژن ورودی و اکسیژن هوا ولتاژی را بصورت dc تولید می‌نماید. همچنین واحد مطلوب کننده توان ولتاژ خروجی پیل سوختی را که dc بوده و تنظیم نشده می‌باشد، به ولتاژ مناسب برای تغذیه بار تبدیل می‌کند [۱].

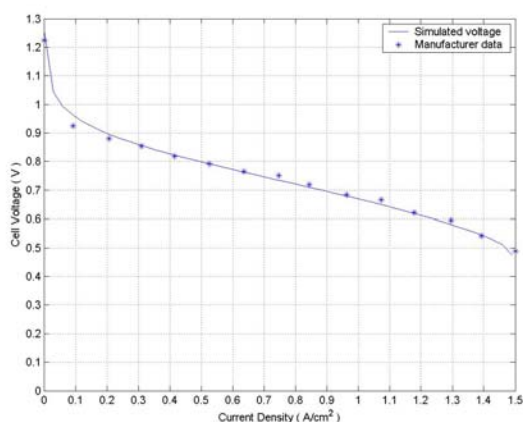
تاکنون جهت مدلسازی و کنترل سیستم پیل سوختی کارهای مختلفی انجام شده که هر یک بصورت مقطعی در مدلسازی پیل سوختی یا مبدلها ساده‌سازیهای مختلفی انجام داده و برخی پارامترها را در نظر نگرفته‌اند. به عنوان نمونه در مرجع [۳] و [۴] مدلسازی پیل سوختی و کنترل توان آن ارائه شده است؛ ولی مدل ارائه شده برای اینورتر مدل دقیقی نبوده و از مدل ریاضی خیلی ساده ای برای اینورتر استفاده شده است. در مرجع [۵] کنترلر فازی برای اینورتر تکفاز بکار گرفته شده، ولی نتایج شبیه سازی برای پیل سوختی استفاده شده ذکر نگردیده است.

در این مقاله مدل دقیقی از پیل سوختی ارائه گردیده و برای اتصال پیل سوختی به بار، واحد مطلوب کننده توان توسط مدل دقیقی از اینورتر پیاده سازی شده و در نهایت برای کنترل توان، از استراتژی کنترل بر مبنای منطق فازی استفاده شده است. در ادامه به بحث و مدلسازی هر یک از اجزای سیستم شامل پشته پیل سوختی، واحد مطلوب کننده توان و کنترل کننده پرداخته شده و نهایتاً نتایج شبیه‌سازیها ارائه می‌گردد.

بیست و یکمین کنفرانس بین‌المللی برق

شکل (۱) منحنی پلاریزاسیون به دست آمده توسط مدل ارائه شده در این بخش را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل دیده می‌شود، مقایسه ای بین داده‌های واقعی و داده‌های بدست آمده از شبیه سازی انجام شده است که صحت شبیه سازی را تأیید می‌نماید.

در شکل (۱) ولتاژ حالت دائم برای تنها یک سلول پیل سوختی به ازاء چگالی جریان‌های مختلف نشان داده شده است. و همان گونه که دیده می‌شود، این ولتاژ بسیار کوچک است.



شکل (۱): منحنی پلاریزاسیون حاصل از شبیه سازی (خط

توپر) و منحنی پلاریزاسیون واقعی (نقطه‌ها)

$V_{activation}$ ، افت ولتاژ فعالسازی را نشان می‌دهد که به میزان فعالیت الکترودها بستگی دارد. هر چه فعالیت الکترودها بیشتر باشد این افت ولتاژ کوچکتر خواهد بود. افت ولتاژ فعالسازی از روابط بدست می‌آید [۸-۷]:

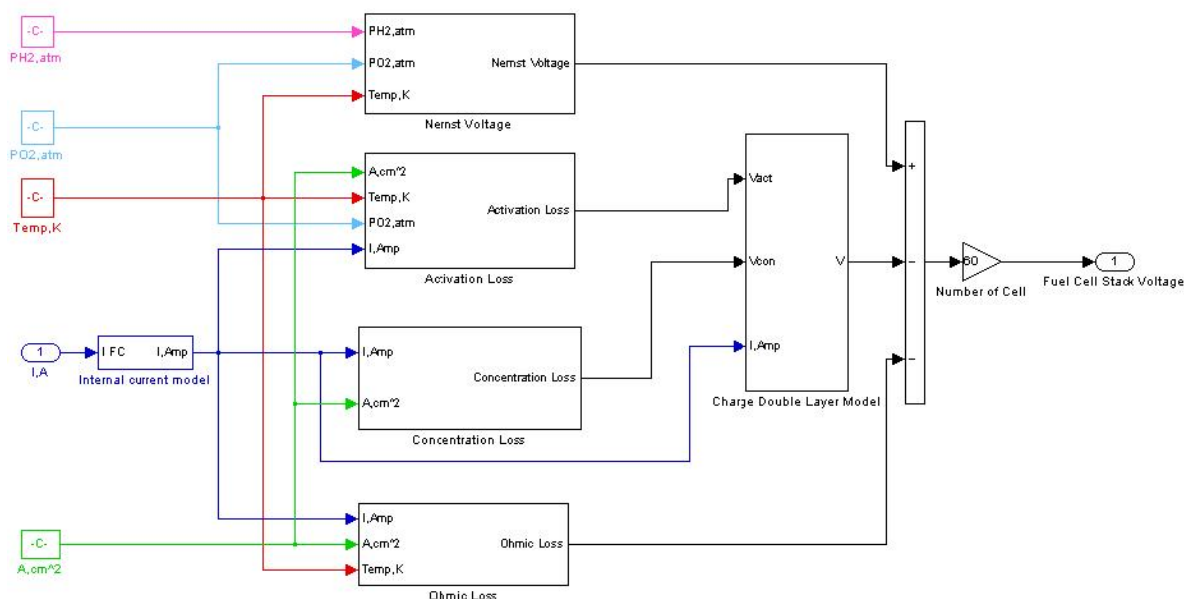
$$V_{act} = -\left[\zeta_1 + \zeta_2 T + \zeta_3 T \ln(C_{O_2}) + \zeta_4 T \ln(i_{FC})\right] \quad (5)$$

که در رابطه (۵)، i_{FC} ، جریان نقطه کار پیل سوختی بر حسب آمپر و ζ ها پارامترهای مدل را نشان می‌دهند که این مقادیر بر مبنای معادلات تئوری از اصول ترمودینامیک الکتروشیمی بدست می‌آید. C_{O_2} ، غلظت اکسیژن در سطح کاتالیزور می‌باشد که واحد آن $\frac{mol}{cm^3}$ است و از معادله (۶) به دست می‌آید [۸-۷]:

$$C_{O_2} = \frac{P_{O_2}}{5.08 * 10^{-6} \exp\left(-\frac{498}{T}\right)} \quad (6)$$

$V_{concentration}$ ، نشان دهنده افت ولتاژ به سبب انتقال الکترونها و مولکول هیدروژن از الکترولیت است و تلفات انتقال جرم نامیده می‌شود و از رابطه (۷) بدست می‌آید [۸-۷]:

$$V_{con} = -B \ln\left(1 - \frac{J}{J_{max}}\right) \quad (7)$$



شکل ۲: مدل پیل سوختی پلیمری در Simulink

بیست و یکمین کنفرانس بین‌المللی برق

در این مقاله برای استفاده از ولتاژ خروجی پیل سوختی از توپولوژی شکل ۳-ا استفاده شده است. مزیت استفاده از این توپولوژی به قرار زیر است [۳]:

- در توپولوژی شکل ۳-ا به علت اینکه از عناصر کلیدزنی کمتری نسبت به توپولوژی دیگر استفاده می‌شود در نتیجه تلفات کلیدزنی کمتر خواهد بود.

- در توپولوژی شکل ۳-ا از یک کنترل کننده استفاده می‌شود. در صورتیکه در توپولوژی دیگر از دو کنترل کننده بایستی بهره گرفته شود.

از توپولوژی دوم در جاهایی که بخواهند چند منبع تولید انرژی DC به صورت موازی کار کنند، استفاده می‌شود.

دیگرام بلوکی سیستم پیل سوختی به کار گرفته شده در این مقاله که در Simulink پیاده‌سازی شده، در شکل (۴) آورده شده است.

همانطور که در این شکل دیده می‌شود ولتاژ پیل سوختی در ابتدا به یک فیلتر DC برای کاهش ریبیل و نوسانات آن داده می‌شود و سپس وارد اینورتر تمام پل سه فاز می‌شود تا به ولتاژ AC با فرکانس مورد نظر تبدیل شود؛ سپس ولتاژ AC بدست آمده از فیلتر AC عبور کرده تا هارمونیکهای آن حذف شود و سرانجام نیز توسط یک ترانسفورمر، سطح ولتاژ به سطح مطلوب ولتاژ بار رسانده می‌شود. ترانس در اولیه اتصال مثلث دارد تا هارمونیکهای مرتبه ۳ را حذف کند.

با توجه به اینکه در این سیستم تنها تولید کننده توان پیل سوختی است؛ لذا اینورتر مورد استفاده فرکانس بار را تنظیم می‌نماید و در صورتیکه ولتاژ دو سر بار کنترل شود توان نامی به بار انتقال پیدا خواهد کرد و از این رو در این سیستم جدا از شبکه تنها کنترل دامنه ولتاژ مطرح است که توسط پارامتر اندیس مدولاسیون اینورتر PWM انجام می‌شود. فرکانس خروجی بصورت اتوماتیک توسط سیگنال مرجع مدولاسیون PWM تثبیت می‌شود.

در این مقاله برای کنترل توان خروجی پیل سوختی از کنترل کننده فازی استفاده شده است که اندیس مدولاسیون اینورتر و در نتیجه توان خروجی را کنترل می‌کند.

برای تأمین ولتاژهای بزرگتر تعدادی سلول پیل سوختی را با هم سری کرده و به آن پشته پیل سوختی می‌گویند. ولتاژ یک پشته پیل سوختی شامل N سلول پیل سوختی از رابطه (۸) بدست می‌آید:

$$V_{FC,Stack} = N.V_{FC,cell} \quad (8)$$

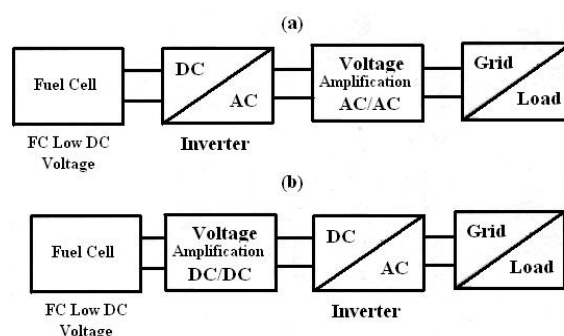
و توان پیل سوختی از رابطه (۹) بدست می‌آید.

$$P_{FC} = V_{FC,stack} \cdot I_{FC} \quad (9)$$

شکل (۲) بلوک دیگرام مدل پیل سوختی نوع پلیمری که با استفاده از روابط ارائه شده در بخش قبل در نرم‌افزار Simulink/Matlab پیاده سازی شده، را نشان می‌دهد.

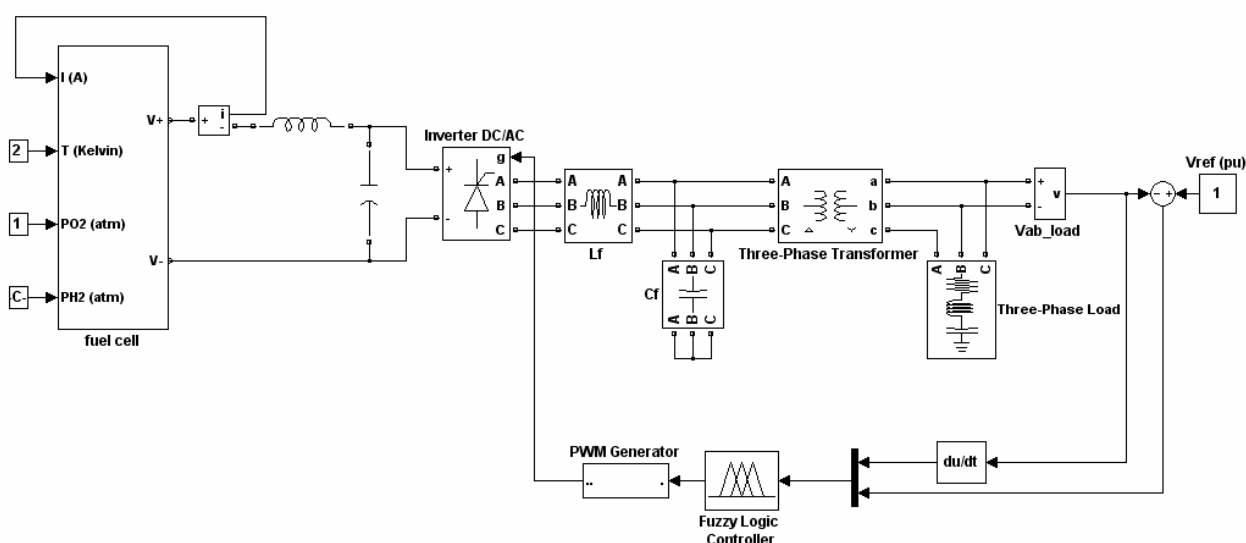
۳- واحد مطلوب کننده توان

هدف اصلی از به کارگیری پیل سوختی تولید انرژی الکتریکی می‌باشد. هدف فرعی می‌تواند به کارگیری گرمای حاصل از واکنش باشد. بنابراین انرژی الکتریکی تولید شده توسط پیل سوختی باید توسط مصرف کننده به راحتی قابل استفاده باشد. در عمل نمی‌توان مصرف کننده را مستقیماً به پیل سوختی متصل نمود زیرا ولتاژ خروجی پیل سوختی، ولتاژ مستقیم (ولتاژ DC) می‌باشد و مصرف کننده‌ها معمولاً AC می‌باشند. بنابراین، برای اینکه بتوان از انرژی الکتریکی خروجی پیل سوختی استفاده نمود باید از واحد مطلوب کننده توان برای تولید ولتاژ مناسب بر سر راه پیل سوختی و مصرف کننده استفاده کرد. واحد مطلوب کننده توان می‌تواند دارای دو توپولوژی مختلف باشد [۳]. این توپولوژی‌ها در شکل (۳) آورده شده است.



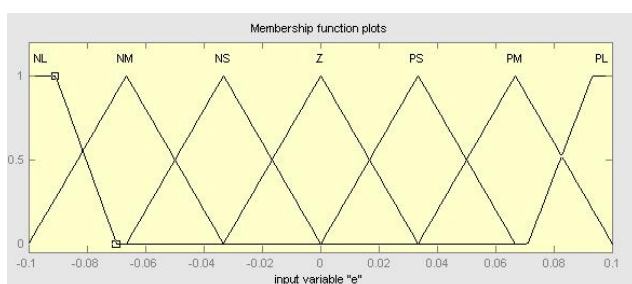
شکل ۳: توپولوژیهای مختلف واحد مطلوب کننده توان

بیست و یکمین کنفرانس بین‌المللی برق

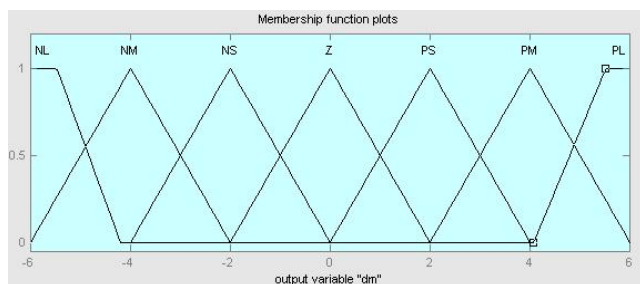


شکل ۴: دیاگرام بلوکی سیستم پیل سوختی استفاده شده در مقاله

برای هر یک از ورودیها و خروجی V تابع عضویت در نظر گرفته شده است که دارای شکل موج مثلثی و با همپوشانی ۵۰٪ می‌باشند؛ که در شکل های (۵) تا (۷) نشان داده شده است. بنابراین حداکثر ۴۹ قانون برای این کنترل کننده می‌توان در نظر گرفت، قوانین استفاده شده برای این کنترل کننده در جدول ۱ آورده شده است.



شکل ۵: توابع عضویت ورودی خطا



شکل ۶: توابع عضویت ورودی مشتق ولتاژ

۴- کنترل کننده فازی برای کنترل توان خروجی پیل سوختی

دلایل استفاده از کنترل کننده فازی برای کنترل توان خروجی اینورتر عبارتند از:
الف- برای طراحی این کنترل کننده تنها لازم است با عملکرد اینورتر آشنا بوده و به مدل کردن اینورتر که پیچیده خواهد بود، نیازی نیست.

ب- هزینه کنترل کننده فازی نسبت به کنترل کننده کلاسیک پایین تر است.

دو ورودی برای کنترل کننده فازی در نظر گرفته شده است؛ که یکی سیگنال خطای ولتاژ خروجی اینورتر و دیگری سیگنال تغییرات ولتاژ خروجی می‌باشد. ورودی‌های کنترل کننده فازی در روابط ۱۰ و ۱۱ آورده شده اند.

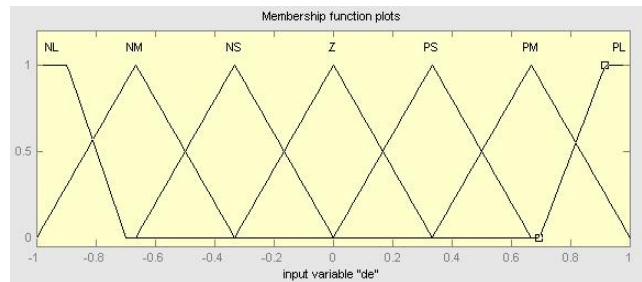
$$e = V_{ref} - V_{Load} \quad (10)$$

$$\Delta V_{load} = V_{load}(t_n + T_s) - V_{load}(t_n) \quad (11)$$

در روابط فوق T_s زمان نمونه برداری و t_n لحظه شروع می‌باشد.

خروجی کنترل کننده فازی نیز تغییرات اندیس مدولاسیون می‌باشد که برای دادن آن به اینورتر باید از آن انتگرال گرفته شود.

بیست و یکمین کنفرانس بین‌المللی برق



شکل ۷: توابع عضویت خروجی

جدول ۱: قوانین کنترل کننده فازی برای کنترل اندیس مدولاسیون اینورتر

e \ dV	NL	NM	NS	Z	PS	PM	PL
NL	Z	NS	NM	NL	NL	NL	NL
NM	PS	Z	NS	NM	NM	NL	NL
NS	PM	PS	Z	NS	NS	NL	NL
Z	PL	PM	PS	Z	NS	NM	NL
PS	PL	PM	PS	PS	Z	NS	NM
PM	PL	PL	PM	PM	PS	Z	NS
PL	PL	PL	PL	PL	PM	PS	Z

منازل را دارد و دیگری بار موتور القایی مورد بررسی قرار گرفته است و توسط نرم افزار MATLAB شبیه سازی انجام شده است.

الف- بار استاتیک

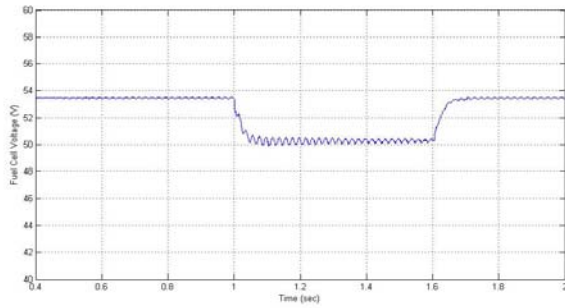
در حالت اتصال به بار استاتیک، در ابتدا سیستم پیل سوختی به باری با توانهای 3kw و 500var متصل بوده و در لحظه $t=1\text{sec}$ از لحظه شبیه سازی بار دیگری با مقدار 1.5kw و 500var با بار اول موازی شده و در لحظه $t=1.6\text{s}$ دوباره از مدار خارج می‌گردد. نتایج این شبیه سازی در شکل‌های ۸ تا ۱۲ آورده شده است.

همانگونه که در شکل (۸) نشان داده شده است؛ با تغییرات بار، کنترل کننده، مقدار اندیس مدولاسیون را تغییر داده است و با سرعت بسیار خوبی ولتاژ در حد یک پریونیت تنظیم گردیده است، در این حالت با افزایش توان بار ولتاژ پیل سوختی پایین آمده و جریان آن افزایش یافته است و توان بار و تلفات سیستم را مطابق شکل (۱۳) تامین نموده است. آنالیز هارمونیک نشان دهنده کیفیت خوب ولتاژ دو سر بار با THD در حدود ۱٪ درصد می‌باشد.

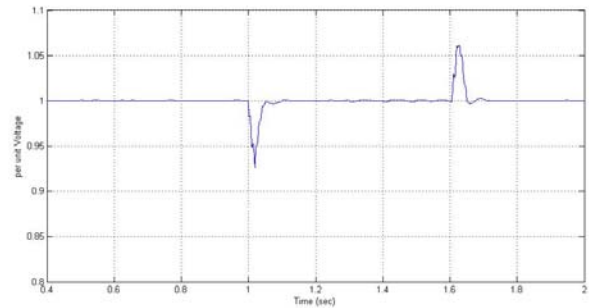
قوانین استنتاج فازی جدول (۱) بر این اساس تشکیل شده است که اگر ولتاژ خروجی از مرجع کمتر شود، باید مقدار اندیس مدولاسیون بیشتر شود و برعکس اگر ولتاژ خروجی از مقدار مورد نیاز فراتر رود باید مقدار اندیس مدولاسیون کمتر شود، بر اساس این تجربه اساسی جدول تشکیل گردیده است، تغییرات ولتاژ خروجی به ما کمک می‌کند که سرعت تغییر ولتاژ را احساس کرده و در تصمیم گیری‌ها از آن نیز استفاده کنیم به عنوان مثال اگر ولتاژ بار از ولتاژ مرجع خیلی بیشتر باشد به این معنی که خطای آن از مقدار مرجع (NL) می‌باشد و نیز تغییرات ولتاژ بار، بزرگ منفی (NL) باشد در این حالت باید تغییرات اندیس مدولاسیون صفر باشد تا ولتاژ خروجی، مقدار مرجع را دنبال نماید. سیستم استنتاج به کار گرفته شده در این کنترل کننده، سیستم استنتاج ممدانی می‌باشد. همچنین از روش مرکز ثقل برای غیر فازی کردن استفاده شده است.

۵- شبیه سازی

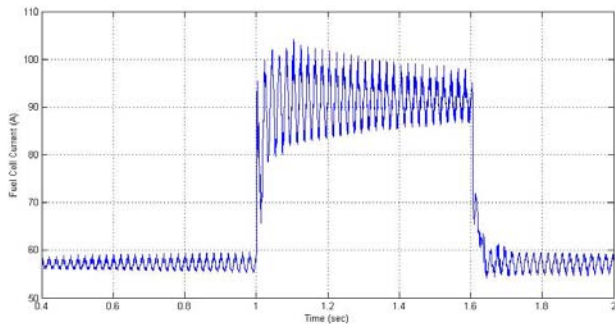
جهت بررسی مدل پیل سوختی و نشان دادن قابلیت کنترل به کار گرفته شده، سیستمی جدا از شبکه مطابق شکل (۴) با دو نوع بار که یکی بار استاتیک است و نشان از بارهای روشنایی



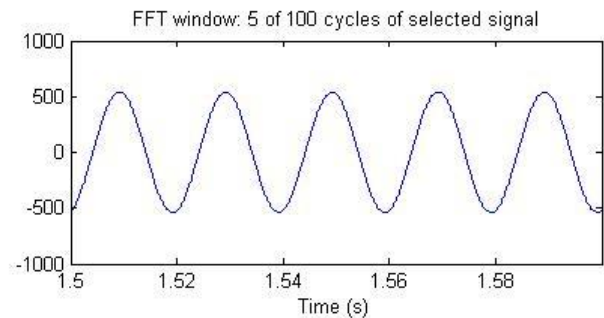
شکل ۱۱: شکل موج ولتاژ پیل سوختی



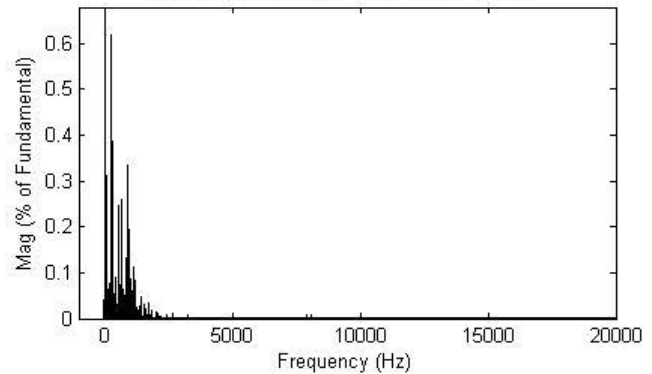
شکل ۸: ولتاژ پریونیت دو سر بار



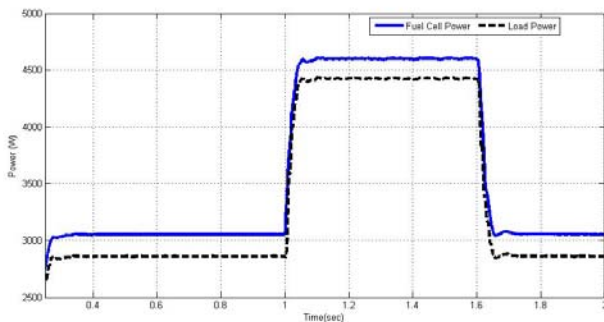
شکل ۱۲: شکل موج جریان پیل سوختی



Fundamental (50Hz) = 538.9 , THD= 1.00%



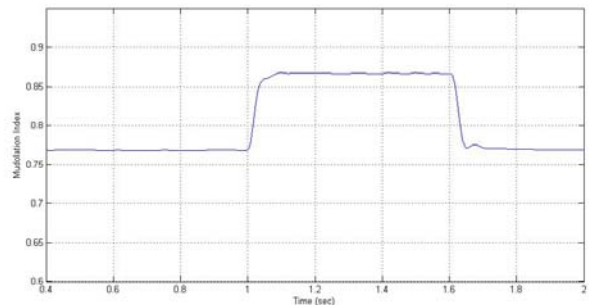
شکل ۹: ولتاژ دو سر بار و هارمونیکهای آن



شکل ۱۳: شکل موج توان تولیدی پیل سوختی و توان مصرفی بار

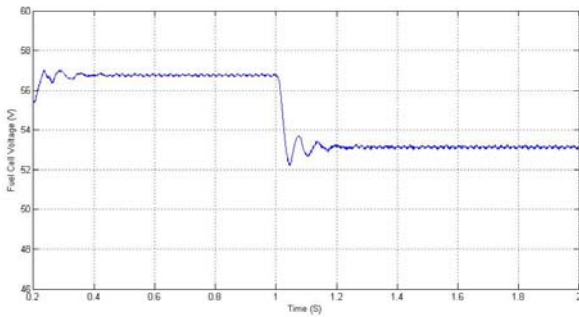
ب- بار موتوری

در حالت دوم، شبیه‌سازی توسط اتصال بار موتوری به پیل سوختی انجام گرفته شده است. بار موتوری با باری به اندازه ۲۰ درصد بار نامی راه اندازی شده و در زمان ۱ ثانیه گشتاور بار به ۱۰۰ درصد بار نامی می‌رسد. نتایج مربوط به این شبیه‌سازی در شکل های (۱۴) تا (۲۱) آورده شده است. در این حالت نیز دیده می‌شود که کنترل کننده با سرعت بسیار مناسب در هنگام تغییرات بار مکانیکی موتور ولتاژ موتور را تثبیت نموده و مانع از ناپایداری موتور گردیده است.

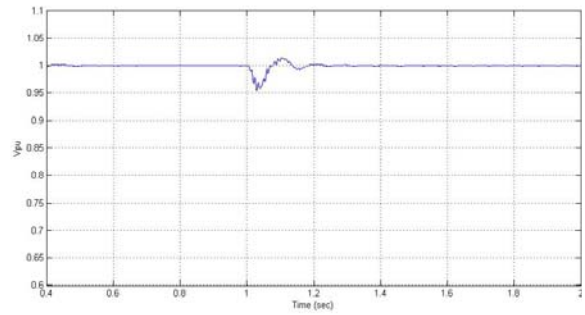


شکل ۱۰: شکل موج اندیس مدولاسیون اینورتر

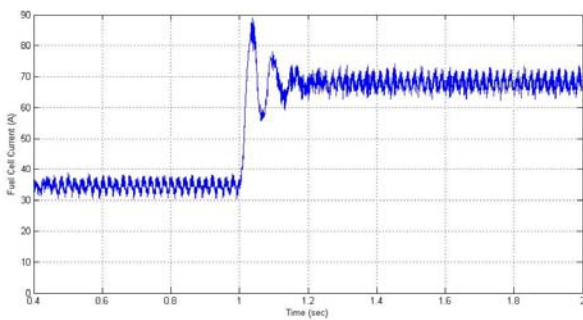
بیست و یکمین کنفرانس بین‌المللی برق



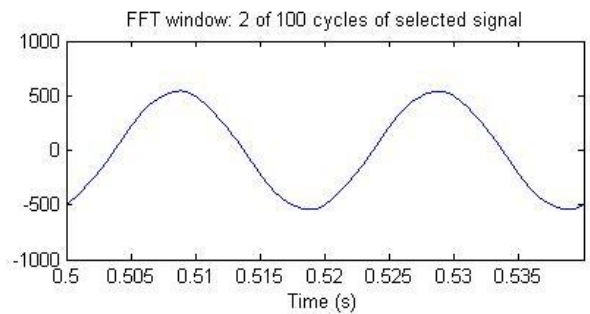
شکل ۱۷: شکل موج ولتاژ پیل سوختی



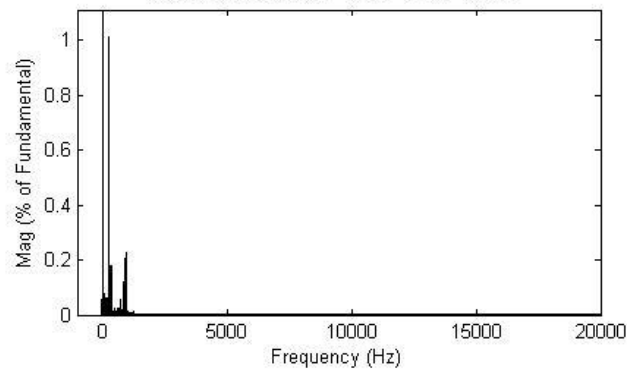
شکل ۱۴: شکل موج پسریونیت شده ولتاژ دو سر بار



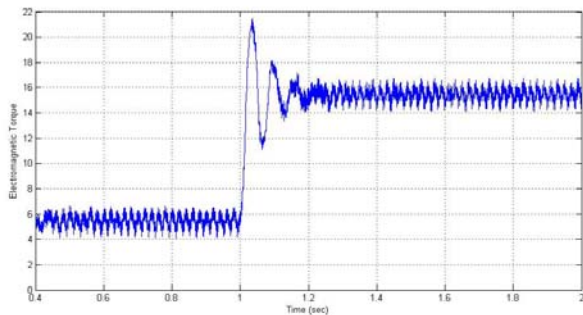
شکل ۱۸: شکل موج جریان پیل سوختی



Fundamental (50Hz) = 539.1 , THD= 1.09%

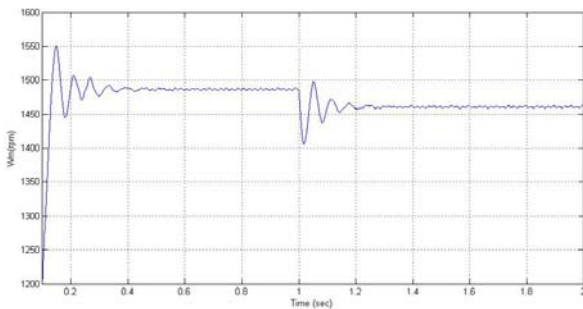


شکل ۱۵: شکل موج ولتاژ دو سر بار و هارمونیکهای آن

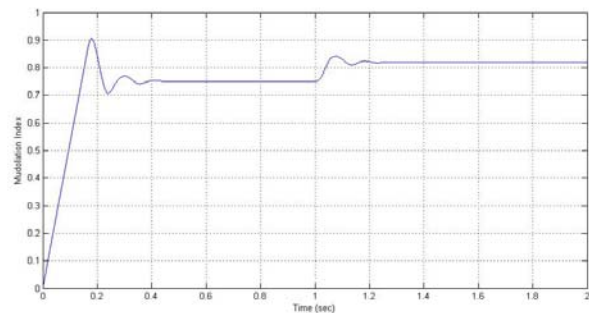


شکل ۱۹: شکل موج گشتاور الکترومغناطیسی ایجاد شده در

موتور



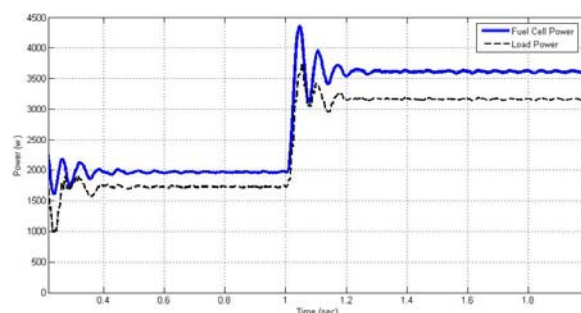
شکل ۲۰: شکل موج سرعت موتور



شکل ۱۶: شکل موج مقدار اندیس مدولاسیون اینورتر

فهرست مراجع:

- [1] M. Farooque, H.C.Maru. "Fuel Cells-the clean and efficient power generators," Proceedings of the IEEE. Volume: 89, Issue: 12, DEC. 2001, Pages: 1819-1829
- [2] J. Larminie, A. Dicks, "Fuel Cell System Explained," John Wiley, 2001
- [3].M. Tanrioven, M. S. Alam, "Modeling, Control and Power Quality Evaluation of a PEM Fuel Cell Based Power Supply system for Residential Use"
- [4] M. Y. El-Sharkh, A. Rahman, M. S. Alam, A. A. Sakla, P. C. Byrne, T. Thomas, "Analysis of Active And Reactive Power Control of a Stand-Alone PEM Fuel Cell Power Plant," IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEM, Vol. 19, No. 4, November 2004.
- [5] A. Sakhare, A.Davari, A. Feliachi, "Fuzzy logic control of fuel cell for stand-alone and grid connection," Journal of Power Sources, vol. 135, pp. 165-176, 2004.
- [6] J. T. Pukrushpan, A. G. Stefanopoulou, H. Peng, "Modeling and Control for PEM Fuel Cell Stack System," Proceedings of the American Control Conference Anchorage, AK May 8-10, 2002.
- [7] J.M.Correa, F.A.farret, L.N.Canha and M.G.Simoes, "An Analysis of the Dynamic Performance of Proton Exchange Membrane Fuel Cell Using an Electrochemical Model", Industrial Electronics Society, 2001. IECON'01 .The 27th Annual Conference of the IEEE, Volume: 1, 29 Nov.-2 Dec. 2001, Page(s): 141-146 Vol.1.
- [8] J.M.Correa, F.A.farret, L.N.Canha and M.G.Simoes. "An Electrochemical-Based Fuel Cell Model Suitable for Electrical Engineering Automation Approach".
- [9] IEEE 519 Standard Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems.



شکل ۲۱: شکل موج توان تولیدی توسط پیل سوختی و توان

مصرفی توسط موتور

۶- نتیجه گیری

در این مقاله یک سیستم پیل سوختی جهت تغذیه توان یک بار محلی جدا از شبکه بکار گرفته شده و این سیستم شامل یک پیل سوختی الکترولیت پلیمری و یک اینورتر با مدولاسیون پهنای پالس سینوسی (SPWM) می‌باشد که جهت تبدیل ولتاژ DC پیل سوختی به ولتاژ AC مصرف کننده بکار می‌رود با توجه به اینکه سیستم جدا از شبکه است بنابراین تنها دامنه ولتاژ باید کنترل گردد تا بارها عملکرد مناسب را داشته باشند، که این کار توسط کنترل فازی ارائه شده است و تغییر بر روی اندازه اندیس مدولاسیون اینورتر PWM انجام گردیده است. نتایج شبیه‌سازی بر روی یک سیستم نمونه این نکته را تصدیق می‌کنند که کنترل کننده فازی به خوبی عمل کرده و توان خروجی بار و ولتاژ آن را کنترل کرده است.