



ارائه یک کنترل کننده منطق فازی به منظور کنترل ولتاژ یک ریزشبكة مستقل

مهدی فرزین فر، استادیار، دانشگاه دامغان

m.farzinfar@du.ac.ir

علی زمانی، شرکت مادر تخصصی تولید نیروی برق حرارتی، طبس

Alizamani066@gmail.com

محمد شعبانی، شرکت برق منطقه ای باختر، اراک

powerengineerpay@gmail.com

چکیده

هدف این مقاله ارائه یک کنترل کننده مبتنی بر منطق فازی در یک ریزشبكة مستقل است تا از این طریق ولتاژ ریزشبكة در محدوده مجاز حفظ شود. این ریزشبكة شامل سیستم فتوولتائیک همراه با ردیاب حداکثر توان مبتنی بر منطق فازی به منظور دریافت حداکثر توان از آن، توربین بادی و ذخیره-ساز است که از طریق یک اینورتر تعدادی بار سه فاز را تغذیه می کند. با کنترل کلیدزنی این اینورتر می توان پارامترهای ریزشبكة از قبیل فرکانس و ولتاژ را کنترل کرد. در اینجا به منظور کلیدزنی صحیح اینورتر، یک کنترل کننده مبتنی بر منطق فازی پیشنهاد شده است. این کنترل کننده شامل دو حلقه کنترل جریان و ولتاژ بوده که هر دو بر اساس منطق فازی کار می کنند. به کمک این روش می توان حتی در صورت تغییرات ناگهانی بار و منابع عرضه کننده توان، ولتاژ ریزشبكة را در محدوده مجاز خود حفظ نموده و کیفیت توان تحویلی به بارها را بهبود بخشید. به منظور ارزیابی روش پیشنهادی در این مقاله، مقایسه ای بین آن طرح مرسوم کنترل کننده تناسبی مشتق گیر صورت گرفته و نتایج حاصل از آنها ارائه شده است.

کلیدواژه ها: ریزشبكة مستقل، فتوولتائیک، توربین بادی، ذخیره ساز، کنترل کننده منطق فازی.



1- مقدمه

ظرفیت پایین منابع تولیدپراکنده تجدیدپذیر از یک سو و وابستگی عملکرد آنها به شرایطی محیطی از سوی دیگر، باعث شده است تا محدودیت‌هایی در بهره‌برداری از آنها به وجود آید. این محدودیت‌ها را می‌توان با ادغام منابع تولید پراکنده مختلف در قالب یک ریزشبهه حل نمود. یک ریزشبهه شامل منابع تولید پراکنده مختلفی مانند سیستم‌های تبدیل انرژی خورشیدی، سیستم‌های تبدیل انرژی باد، ذخیره‌سازها و غیره است که مقدار مشخصی از بارهای مختلف را تغذیه می‌کنند [1]. این بارها می‌تواند دانشگاه‌ها، مراکز تجاری، خانه‌های مسکونی، روستاها و یا یک منطقه دور از شبکه اصلی باشد [2].

یک ریزشبهه قادر است به هر دو صورت متصل به شبکه و یا مستقل از آن (جزیره‌ای) کار کند. مطابق شکل (1) در عملکرد ریزشبهه مستقل بارهای مختلف تنها توسط منابع تولید کننده توان ریزشبهه تأمین می‌کنند. این شیوه برای سیستم‌هایی که در مناطق دورافتاده قرار دارند و یا مناطقی که امکان دسترسی به شبکه اصلی برای آنها مشکل و یا پرهزینه می‌باشد، بسیار مفید است. البته باید در نظر داشت که در بهره‌برداری از ریزشبهه‌های جزیره‌ای مشکلاتی از قبیل عدم قطعیت در توان خروجی منابع تولید پراکنده، نوسانات ولتاژ و فرکانس وجود دارد که بر روی کیفیت توان تحویلی به بار تأثیر می‌گذارند.

روش‌های مختلفی به منظور کنترل یک ریزشبهه با منابع انرژی مختلف در هر دو حالت متصل به شبکه و مستقل وجود دارد. در [3] به بررسی کنترل ولتاژ یک ریزشبهه مستقل پرداخته شده است. این ریزشبهه متشکل از یک باتری، پیل سوختی، سیستم فتوولتائیک و توربین بادی است که به یک شین DC متصل شده است. هر یک از توربین‌های بادی و سیستم PV دارای یک سیستم ردیابی حداکثر توان هستند. در این پژوهش از کنترل کننده PI به منظور کنترل این اینورتر استفاده شده و نتایج حاصل از آن نشان می‌دهند که به کمک این کنترل کننده کیفیت ولتاژ تحویلی به بار بهبود یافته است.



شکل 1: نمونه‌ای از ساختار یک ریزشبهه مستقل

در [4] یک مدل لاگرانژ از سیستم هیبرید مستقل متشکل از سیستم فتوولتائیک به عنوان منبع اولیه و باتری ذخیره‌سازی لیتیوم یون به عنوان منبع ثانویه و یک مبدل DC به DC ارائه شده است. نحوه پخش توان بین اجزای این شبکه از طریق واحد مدیریت توان کنترل می‌شود. استراتژی کنترلی در این واحد به این صورت است که PV به عنوان منبع اصلی تغذیه و تأمین بار و باتری ذخیره‌ساز منبع پشتیبان می‌باشد. این



ذخیره‌ساز زمانی که PV به دلیل شرایط محیطی ظرفیت تأمین بار را نداشته و یا بار شبکه بیش از ظرفیت توان تولیدی آن باشد، عملکرد دارد. ارزیابی روش پیشنهادی در این مقاله نشان می‌دهد که پاسخ‌گذاری سیستم بهبود یافته و کنترل‌کننده پیشنهادی در آن به خوبی به تغییرات بار، تابش نور خورشید و تغییرات ولتاژ لینک DC پاسخ می‌دهد.

در [5] ترکیب توربین بادی، سیستم فتوولتائیک، پیل سوختی و ابرخازن‌ها برای یک سیستم مستقل از شبکه ارائه شده است. در این مقاله رفتار سیستم تحت شرایط مختلف نظیر سرعت باد، تابش خورشید و بارهای مختلف مطالعه شده است. ارزیابی روش پیشنهادی در این مقاله بر اساس اطلاعات یک روز کامل است. نتایج حاصل از آن نشان می‌دهند که روش کنترل پیشنهادی به خوبی به تغییرات باد، تابش و بار شبکه پاسخ می‌دهد.

در [6] از یک روش مبتنی بر کنترل مد لغزشی تطبیقی به منظور کلیدزنی اینورتر یک سیستم مستقل استفاده شده است. این روش کنترلی برای جذب اغتشاشات خارجی و انحرافات داخلی به کار گرفته شده تا مقاومت اینورتر در برابر آنها تضمین گردد. نتایج شبیه‌سازی و کاربرد عملی این روش نشان می‌دهند که اغتشاش هارمونی کل، اعوجاج و خطای حالت ماندگار ولتاژ خروجی سیستم حداقل گردیده و بازده سیستم بهبود یافته است.

در [7] روش‌های مختلف مدیریت توان یک سیستم هیبرید مستقل آورده شده است. این سیستم شامل سه واحد تولیدی PV، توربین بادی و یک پیل سوختی است. سلول خورشیدی و توربین بادی به عنوان منابع اصلی توان محسوب شده و پیل سوختی هم منبع پشتیبان در نظر گرفته شده است. علاوه بر این با توجه به اینکه تأمین پیوسته توان نیاز به تجهیزات ذخیره‌سازی انرژی دارد، از یک باتری نیز استفاده شده است. سطح شارژ و دشارژ این باتری استراتژی‌های مختلفی را برای مدیریت توان به وجود آورده و مدیریت توان به ازای هر یک از این حالت‌ها بررسی شده است.

تنظیم کنترل‌کننده مرسوم PI بسیار سخت بوده و تنظیم آن با تغییر پارامترهای مختلف تغییر می‌کند [8]. از اینرو در [9] از منطق فازی استفاده شده است. این روش به خوبی در مقابل تغییرات پارامترهای سیستم مقابله کرده از طرفی نیز برعکس کنترل‌کننده مرسوم PI نیاز به محاسبات پیچیده ریاضی ندارد.

در [10] به بررسی آزمایشگاهی رفتار کنترل‌کننده فازی به کار رفته در اینورتر یک ریزشبه‌متصل به شبکه پرداخته شده است. این ریزشبه‌متصل از یک سیستم فتوولتائیک است که به شبکه اصلی متصل می‌باشد. بررسی رفتار این کنترل‌کننده فازی نشان می‌دهد که مقدار اعوجاج ولتاژ و جریان خروجی اینورتر کاهش یافته است.

در این مقاله به منظور کلیدزنی مناسب اینورتر یک ریزشبه‌متصل، یک کنترل‌کننده فازی پیشنهاد شده است. این ریزشبه‌متصل شامل سیستم فتوولتائیک، توربین بادی و ذخیره‌ساز بوده و به یک اینورتر متصل شده است. به منظور استیصال حداکثر توان از سیستم فتوولتائیک، از یک سیستم ردیاب توان فازی استفاده شده است. روش پیشنهادی برای کنترل اینورتر ریزشبه‌متصل دارای دو حلقه کنترل ولتاژ و جریان است که هر دو به کمک منطق فازی کنترل می‌شوند. به کمک این روش ولتاژ و فرکانس ریزشبه‌متصل حتی با تغییرات بار و توان عرضه شده توسط منابع تولید پراکنده، همواره در محدوده مجاز خود حفظ می‌شوند.

در ادامه و در بخش 2، به مدل‌سازی منابع تولید پراکنده و ذخیره‌ساز پرداخته شده است. سپس در بخش



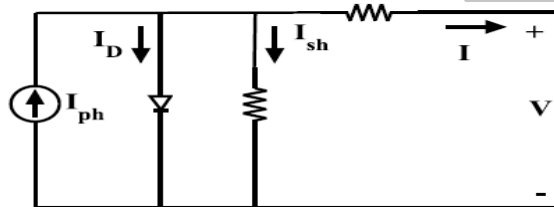
3 روش پیشنهادی برای کنترل اینورتر ریزشبه مستقل بیان می گردد. بخش 4 به ارائه نتایج شبیه سازی حاصل از این روش و مقایسه آن با طرح کنترل کننده مرسوم PI می پردازد. در نهایت نتیجه گیری حاصل از این مقاله در بخش 5 ارائه خواهد شد.

2- مدل سازی ریزشبه

هدف از این مقاله کنترل ولتاژ یک ریزشبه مستقل شامل سیستم فتوولتائیک، توربین بادی و ذخیره ساز است. در ادامه به مدل سازی این هر یک از این بخش ها پرداخته می شود.

2-1- سیستم فتوولتائیک

به طور کلی مدار معادل های متفاوتی از جمله مدل های تک دیودی، دو دیودی و دینامیکی برای مدل سازی وجود دارد [11]. در اینجا برای مدل سازی یک سلول فتوولتائیک از مدل تک دیودی استفاده شده است که در شکل (2) نشان داده شده است.



شکل 2: مدل تک دیودی یک سلول خورشیدی

مطابق شکل فوق، این مدل شامل یک منبع جریان به عنوان جریان تولیدی توسط نور خورشید، یک دیودی موازی با آن با جریان، یک مقاومت سری برای نشان دادن مقاومت داخلی و یک مقاومت موازی برای بیان جریان نشتی است. جریان تحویلی به بار را می توان به صورت (1) بیان کرد.

$$I = I_{ph} - I_0 \left[\exp\left(\frac{q(V + IR)}{akT}\right) - 1 \right] - \frac{V + IR_s}{R_p} \quad (1)$$

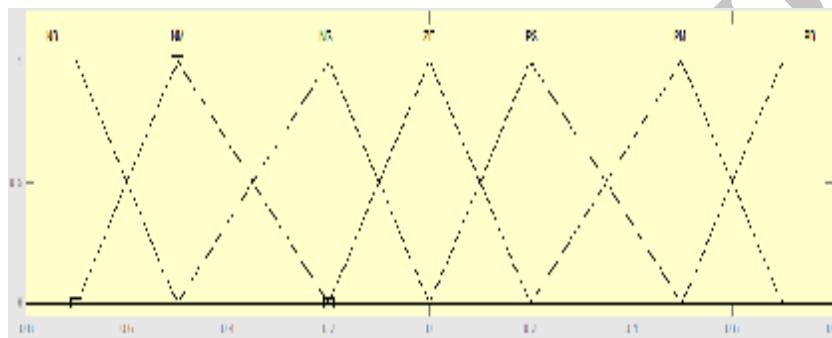
در این رابطه جریان تولید شده توسط نور I_{ph} ، جریان اشباع معکوس دیود I_0 ، ضریب ایده آلی دیود k ، ثابت بولتزمن¹، مقاومت سری R_s و مقاومت موازی R_p می باشند. از آنجا که توان کل تولیدی توسط یک سلول خورشیدی کم است، بایستی آنها را به صورت سری و موازی با هم ترکیب کرده تا توان لازم تولید شود. ترکیب سلول های خورشیدی با هم را ماژول و ترکیب ماژول ها را با هم آرایه می گویند. جریان تولیدی توسط یک آرایه PV مطابق (2) بیان می شود. در این رابطه N_p و N_s به ترتیب بیانگر تعداد ماژول های سری و موازی می باشند.

¹ Boltzmann

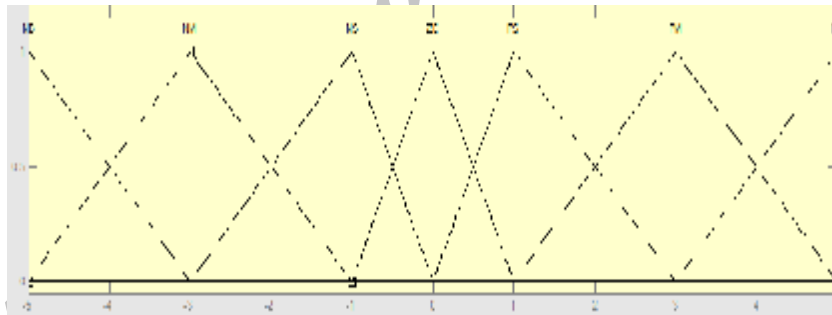


$$I = I_{ph} N_p - I_o N_p \left[\exp\left(\frac{q(V + IR_s)(\frac{N_s}{N_p})}{akTN_s} - 1\right) - \frac{V + IR_s(\frac{N_s}{N_p})}{R_p(\frac{N_s}{N_p})} \right] \quad (2)$$

معمولاً به منظور استیصال حداکثر توان از یک سیستم فتوولتائیک از سیستم ردیاب حداکثر توان استفاده می‌شود. به کمک این سیستم نرخ وظیفه مبدل DC/DC متصل به PV تعیین می‌گردد. این سیستم کاملاً الکترونیکی بوده و فاقد بخش مکانیکی است. در [14-12] مروری بر انواع روش‌های ردیابی حداکثر توان شده است. در اینجا برای دریافت حداکثر توان سیستم فتوولتائیک از روش فازی استفاده شده است. در اینجا FLC دارای دو ورودی خطا و تغییرات خطا با 7 تابع عضویت است که به ترتیب در شکل‌های (3) و (4) نشان داده شده است.

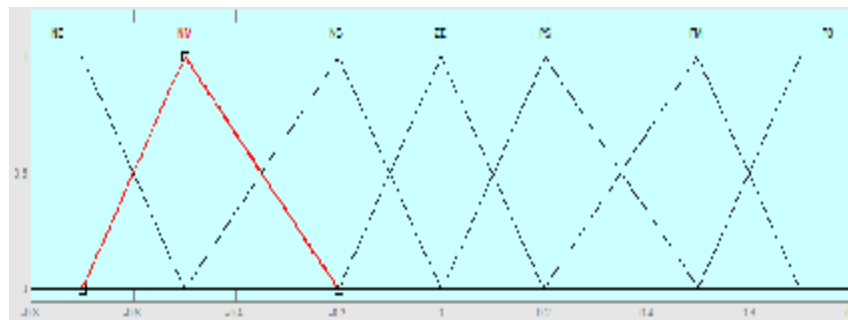


شکل 3: توابع فازی ورودی خطا



شکل 4: توابع فازی ورودی تغییرات خطا

تابع عضویت خروجی نیز در شکل (5) نشان داده شده است.



شکل 5: توابع فازی خروجی



قوانین کنترلی لازم برای ردیابی حداکثر توان در جدول (1) آورده شده است. در این جدول NB بیانگر تابع منفی شدید، NM منفی معمول، NS منفی کوچک، ZE صفر، PS مثبت کوچک، PM مثبت معمولی و PB مثبت شدید است.

جدول 1: قوانین فازی MPPT

In1/In2	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
NB	ZE	ZE	ZE	NB	NB	NB	NB
NM	ZE	ZE	ZE	NM	NM	NM	NM
NS	NS	ZE	ZE	NS	NS	NS	NS
ZE	NM	NS	ZE	ZE	ZE	PS	PM
PS	PM	PS	PS	PS	ZE	ZE	PS
PM	PM	PM	PM	PM	ZE	ZE	ZE
PE	PB	PB	PB	PB	ZE	ZE	ZE

مطابق جدول فوق، اگر تابع ورودی اول NB و تابع ورودی دوم نیز NB باشد، آنگاه تابع خروجی از نوع ZE خواهد بود. پس از مشخص شدن تابع عضویت خروجی، مقدار خروجی به یک مدولاسیون پهنای باند داده می شود تا بر اساس آن نرخ وظیفه مبدل بوسست تعیین شده و کلیدزنی بهینه آن صورت گیرد.

2-2- توربین بادی

مجموعه توربین بادی و ژنراتور متصل به آن، تجهیزاتی برای تبدیل انرژی مکانیکی باد به انرژی الکتریکی است. برای مدل سازی توربین بادی در این مقاله از مدل پیشنهادی [15] استفاده شده است. بر اساس این مدل، توان مکانیکی تولیدی توسط توربین بادی را می توان به صورت (3) بیان نمود.

$$P_{mech} = \frac{1}{2} \rho r A v^3 C_p(I, \beta) \quad (3)$$

در این رابطه P_{mech} توان مکانیکی حاصل از انرژی باد، ρ چگالی باد، A مساحت جاروب پره ها و v سرعت باد می باشد. همچنین $C_p(\lambda, \beta)$ ضریب بازده بهره برداری است که تابعی از دو متغیر λ یعنی نسبت سرعت توربین به سرعت باد و β زاویه پره می باشد.

به طور کلی برای تبدیل انرژی مکانیکی حاصل از توربین بادی به انرژی الکتریکی، از ژنراتورهای مختلفی از جمله ژنراتورهای سنکرون، مغناطیس دائم و القایی استفاده می شود. نوع ژنراتور به کار گرفته شده در این مقاله ژنراتور مغناطیس دائم می باشد.

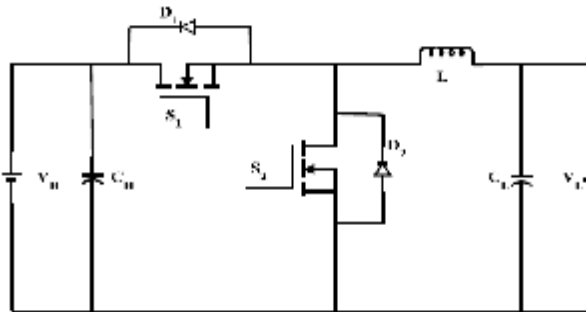
2-3- ذخیره ساز

به طور کلی از فناوری های مختلفی برای ذخیره سازی توان در سیستم قدرت استفاده می شود [16]. یکی از فناوری های رایج در عرصه ذخیره سازی انرژی باتری ها هستند. یک باتری تجهیزاتی است که انرژی شیمیایی را



به انرژی الکتریکی تبدیل می کند. امروزه اغلب باتری های به کار رفته در ریزشبکه های هیبرید از نوع قابل شارژ هستند. از انواع این باتری ها می توان به بیکل کادمیوم^۱ (NiCd)، نیکل متال هیدرید^۲ (NiMH) و لیتیوم یون^۳ (Li-Ion) اشاره کرد.

به کمک یک باتری می توان مازاد تولید شده را ذخیره کرده و در مواقعی که میزان تولید از بار کمتر است، آن را به بار تحویل داد. به منظور شارژ و دشارژ باتری به یک مبدل دو طرفه^۴ نیاز است. این مبدل توانایی شارش توان در هر دو جهت را بسته به شرایط مورد نیاز دارد. ساختار این مبدل در شکل (6) نشان داده شده است.



شکل 6: ساختار مبدل دو طرفه

مطابق شکل فوق دو پایانه که با اندیس های L و H نشان داده شده است، به ترتیب محل نصب باتری و شین DC است. کنترل شارژ و دشارژ خازن بر اساس کلیدزنی مناسب S_1 و S_2 صورت می گیرد. در این مقاله از یک باتری نیکل متال هیدرید استفاده شده است. هدف از به کارگیری این باتری و مبدل متصل به آن ثابت نگه داشتن ولتاژ شین DC و ذخیره و تخلیه توان، به ترتیب به ازای مقادیر بار کمتر و بیشتر از توان تولیدی است.

3- کنترل کننده منطق فازی پیشنهادی

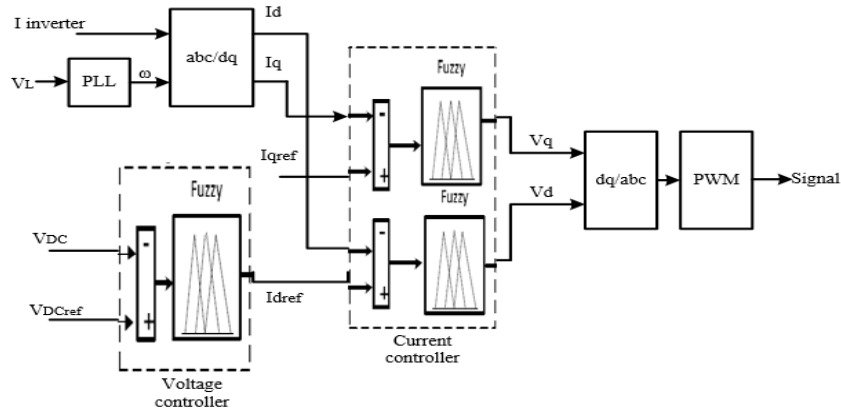
یک اینورتور که با نام مبدل DC به AC نیز شناخته می شود، وظیفه تبدیل توان DC به توان AC با ولتاژ و فرکانس مطلوب را برعهده دارد. به طور کلی اینورترها را می توان در دو گروه اینورترهای منبع ولتاژ و منبع جریان تقسیم بندی کرد. از اینورترهای منبع ولتاژ به منظور کنترل ولتاژ خروجی و از اینورتر منبع جریان برای کنترل جریان خروجی استفاده می شود. همچنین هر کدام از اینورترها ساختارهای متفاوتی از جمله تکفاز و سه فاز داشته و از عناصر کلیدزنی مختلفی نظیر IGBT، MOSTFET و غیره استفاده می کنند. در این مقاله از یک اینورتر سه فاز منبع ولتاژ با کلیدزنی IGBT استفاده شده است. به منظور کلیدزنی این اینورتر از یک کنترل کننده مبتنی بر روش فازی استفاده شده است. اساس کار این روش در شکل (6) نشان داده شده است.

¹ Nickel Cadmium

² Nickel Metal Hydride

³ Lithium-Ion

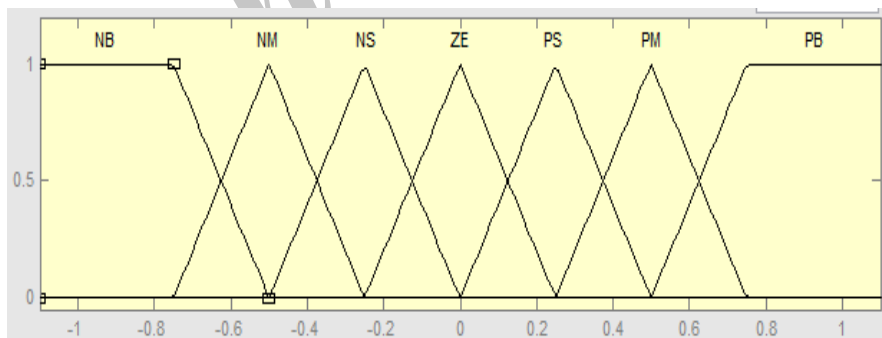
⁴ Bidirectional converter



شکل 7: ساختار کنترل کننده پیشنهادی

مطابق این روش ابتدا از جریان اینورتر و ولتاژ بار نمونه برداری می شود. اندازه سرعت زاویه ای مرجع توسط بلوک PLL تعیین می شود. جریان اینورتر بر اساس این سرعت زاویه ای به دستگاه مرجع dq برده شده تا جریان های I_d و I_q تولید شوند. سپس این جریان های اندازه گیری شده با مقادیر مرجع آنها مقایسه می شوند. جریان I_d مرجع از طریق کنترل کننده ولتاژ و بر اساس مقایسه ولتاژ شین DC با مقدار مرجع آن تولید می شود. با مقایسه این مقادیر خطایی تولید می شود که مقدار آن به کنترل کننده فازی داده و خروجی آن نیز جریان مرجع $I_{d\text{ref}}$ خواهد بود. در مرحله بعد اختلاف جریان های اندازه گیری شده با مقادیر مرجع آن به کنترل کننده جریان داده می شود. از طریق این کنترل کننده ولتاژهای V_d و V_q تولید شده و پس از تبدیل ولتاژ کلیدزنی لازم برای اینورتر فراهم می گردد.

توابع عضویت به کار رفته برای ورودی های خطا، تغییرات خطا و نیز خروجی کنترل کننده ولتاژ در شکل (8) نشان داده شده است. همانطور که قبلاً گفته شد، توابع ورودی به ترتیب اختلاف ولتاژ شین DC با مقدار مرجع آن و مقدار تغییرات حاصل از آن است.



شکل 8: توابع فازی ورودی های خطا، تغییرات خطا و نیز خروجی کنترل کننده ولتاژ

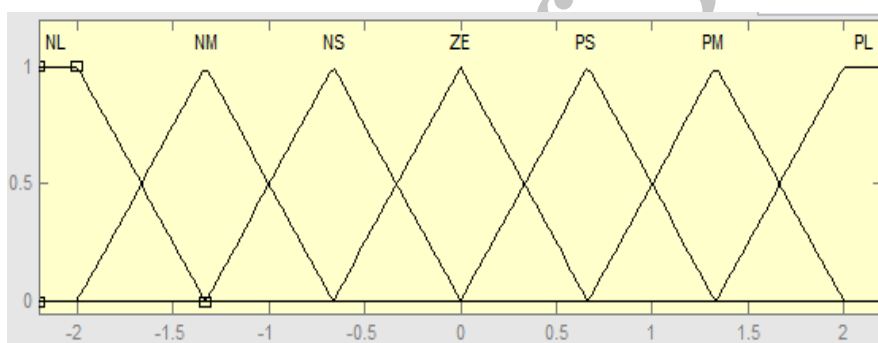
همانطور که مشاهده می شود برای این کنترل کننده هفت تابع عضویت به شکل مثلثی یا دوزنقه ای در نظر گرفته شده است که با حروف NB (تغییرات منفی شدید)، NM (تغییرات منفی متوسط)، NS (تغییرات منفی کوچک)، Z (تغییرات صفر)، PS (تغییرات مثبت کوچک)، PM (تغییرات مثبت متوسط) و PB (تغییرات مثبت شدید) نشان داده شده است. با توجه به تعداد توابع عضویت 49 قانون وجود دارد که در جدول (2) آورده شده است.



جدول 2: قوانین فازی کنترل کننده ولتاژ

V/DV	NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NM	NM	NS	NS	Z
NM	NM	NM	NM	NS	NS	Z	PS
NS	NM	NM	NS	NS	Z	PS	PS
Z	NS	NS	NS	Z	PS	PS	PM
PS	NS	NS	Z	PS	PS	PM	PM
PM	NS	Z	PS	PS	PM	PM	PB
PE	Z	PS	PS	PM	PM	PB	PB

در شکل (9) توابع عضویت به کار رفته برای ورودی های خطا، تغییرات خطا و نیز خروجی کنترل کننده جریان نشان داده شده است.



شکل 9: توابع فازی ورودی های خطا، تغییرات خطا و نیز خروجی کنترل کننده جریان

قوانین فازی کنترل کننده جریان در جدول (3) آورده شده است.

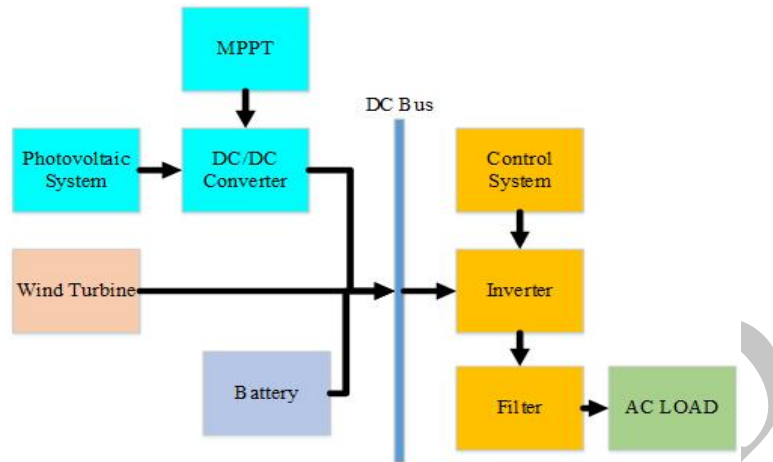
جدول 3: قوانین فازی کنترل کننده جریان

I/DI	NL	NM	NS	Z	PS	PM	PL
NL	PL	PL	PL	PL	PL	NM	Z
NM	PL	PL	PM	PL	PS	Z	Z
NS	PL	PM	PS	PS	PS	Z	Z
Z	NS	PM	PS	Z	NS	NM	NL
PS	NM	NS	NS	NS	NS	NM	NL
PM	NS	Z	PS	PS	PM	PM	PB
PL	Z	PS	PS	PM	NL	NL	NL



4- نتایج شبیه سازی

بلوک دیاگرام ساختار ریزشبكة مستقل تحت مطالعه در شکل (10) نشان داده شده است.



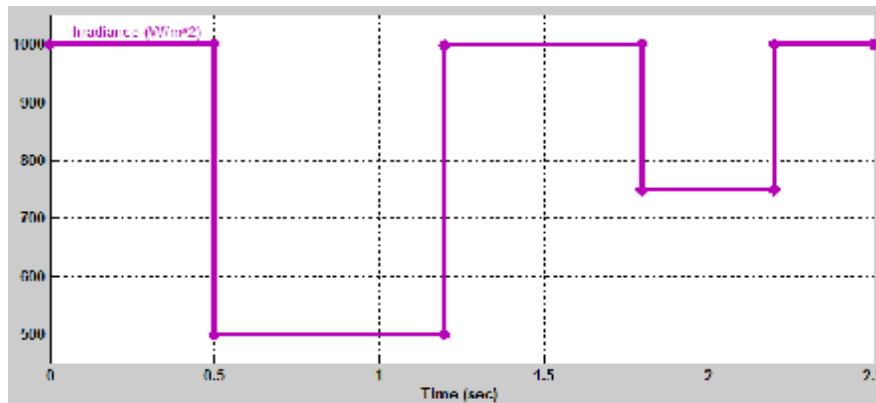
شکل 10: بلوک دیاگرام ساختار ریزشبكة مستقل تحت مطالعه

مطابق شکل فوق، منابع تولید پراکنده ریزشبكة شامل سیستم فتوولتائیک و توربین بادی بوده که برای جبران عدم قطعیت آنها از یک باتری ذخیره ساز استفاده شده است. کلیدزنی این اینورتر به کمک روش پیشنهادی به نحوی صورت می گیرد که ولتاژ ریزشبكة در محدوده مجاز حفظ گردد. به منظور کاهش هارمونیک های تولیدی توسط اینورتر نیز یک فیلتر حذف هارمونیک به خروجی آن وصل شده است. سایر اطلاعات این ریزشبكة در جدول (4) آورده شده است.

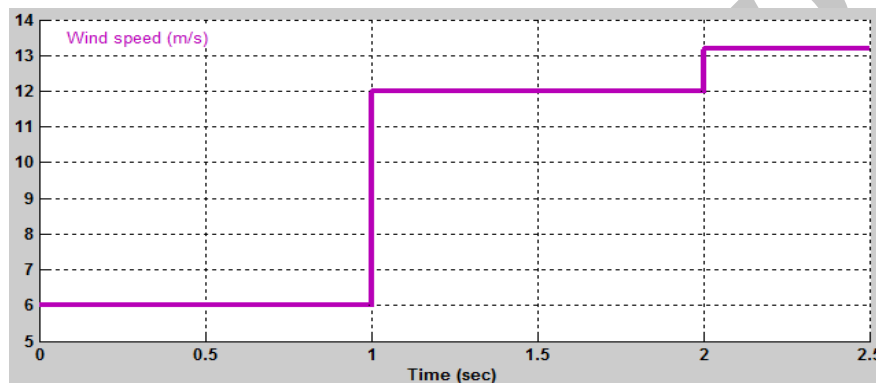
جدول 4: اطلاعات ریزشبكة تحت مطالعه

380 v	ولتاژ خط دو سر بار
50 Hz	فرکانس
615 v	ولتاژ شین DC
200 v	ولتاژ نامی باتری
$L_f=36 \text{ mH}$, $C_f=55/5 \mu\text{F}$	پارامترهای فیلتر
Model: SunPower SPR 305	پارامترهای سیستم
تعداد ماژول سری=8	فتوولتائیک
تعداد ماژول موازی=6	
نوع توربین: مغناطیس دائم	پارامترهای توربین بادی
مقاومت استاتور=0/958 اهم	
حداکثر توان=7 کیلووات	

به منظور انجام شبیه سازی تغییرات سطح تابش نور خورشید و سرعت وزش باد به ترتیب مطابق شکل های (11) و (12) در نظر گرفته شده است. تغییرات بار AC به نحوی است که در زمان 1 ثانیه از مقدار 10 کیلووات به 14 کیلووات رسیده و سپس در زمان 2 ثانیه مجدداً به مقدار 10 کیلووات برمی گردد. همچنین شارژ اولیه باتری 60 درصد می باشد.

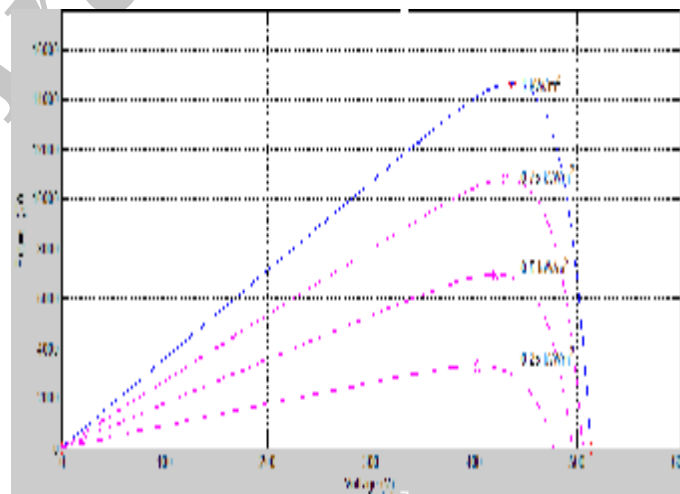


شکل 11: تغییرات تابش نور خورشید

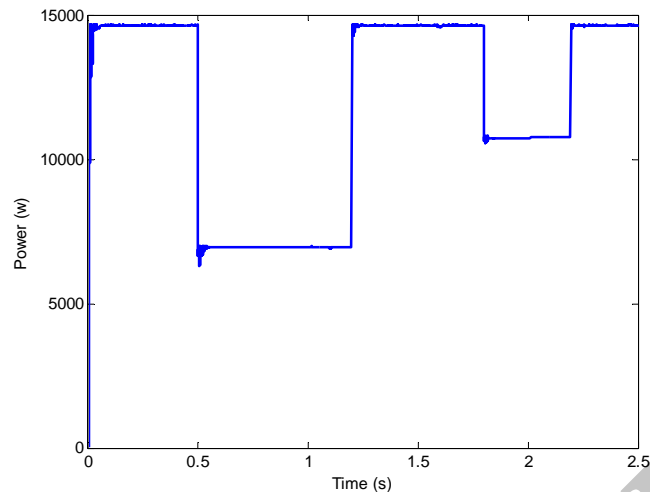


شکل 12: تغییرات سرعت باد

تغییرات بار AC به نحوی است که در زمان 1 ثانیه از مقدار 10 کیلووات به 14 کیلووات رسیده و سپس در زمان 2 ثانیه مجدداً به مقدار 10 کیلووات برمی گردد. همچنین شارژ اولیه باتری 60 درصد می باشد. در شکل های (13) و (14) به ترتیب منحنی های ولتاژ-توان سیستم فتوولتائیک و توان دریافتی از سیستم فتوولتائیک به کمک MPPT فازی در شکل (14) نشان داده شده است.



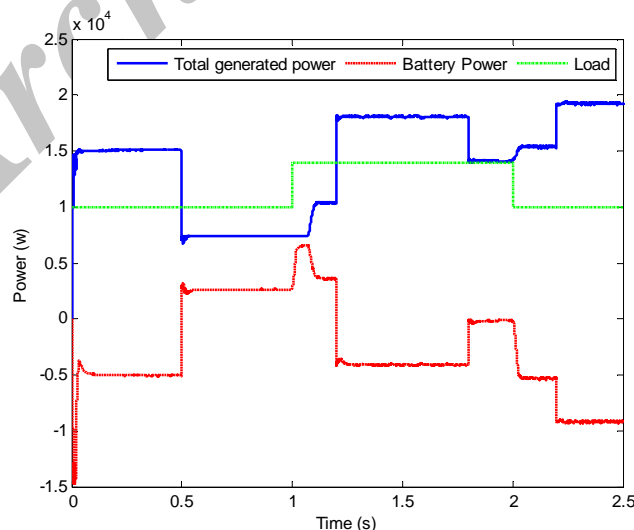
شکل 13: منحنی توان-ولتاژ سیستم فتوولتائیک



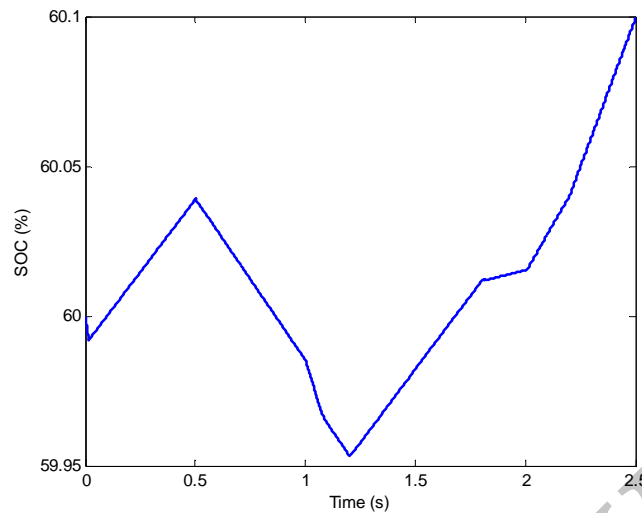
شکل 14: توان دریافتی از PV به کمک MPPT فازی

همانطور که مشاهده می‌گردد، به کمک سیستم ریداب توان به روش فازی همواره توان دریافتی از سیستم فتوولتائیک حداکثر شده است. به عنوان یک نمونه، زمانی که میزان تابش نور خورشید 1 kW/m^2 بوده است، توان دریافتی به کمک MPPT برابر $14/8$ کیلووات می‌باشد. این مقدار از توان دریافتی با منحنی توان-ولتاژ سیستم فتوولتائیک تطابق داشته و بیانگر کارایی MPPT فازی است.

در شکل (15) مجموع توان تولیدی، توان عرضه شده توسط باتری و توان درخواستی بار نشان داده شده است. به عنوان نمونه تا زمان $0/5$ ثانیه مجموع توان تولیدی توسط سیستم فتوولتائیک و توربین بادی بیش از بار است. بنابراین این مازاد انرژی در باتری ذخیره شده است. در زمان‌های $0/5$ تا 1 ثانیه مجموع توان تولیدی از بار شبکه کمتر است، بنابراین در این زمان باتری تخلیه شده است. این تغییرات در شکل (16) نشان داده شده است. در این شکل منحنی تغییرات درصد شارژ باتری آورده شده است.

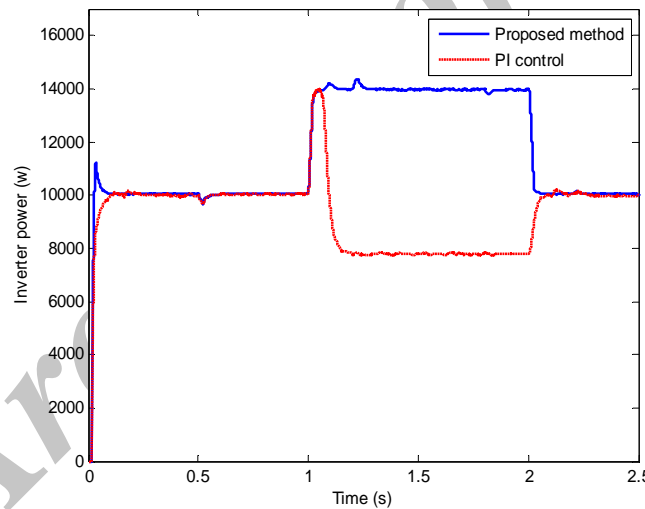


شکل 15: مجموع توان تولیدی، توان عرضه شده توسط باتری و توان درخواستی بار



شکل 16: منحنی تغییرات درصد شارژ باتری

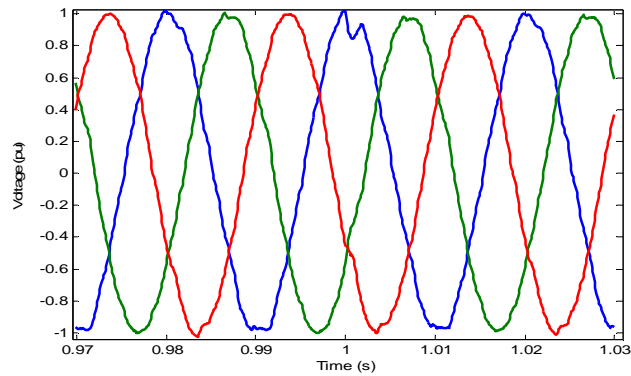
مقایسه توان مبادله شده توسط اینورتر به کمک کلیدزنی به روش پیشنهادی و کنترل کننده PI در شکل (17) آورده شده است.



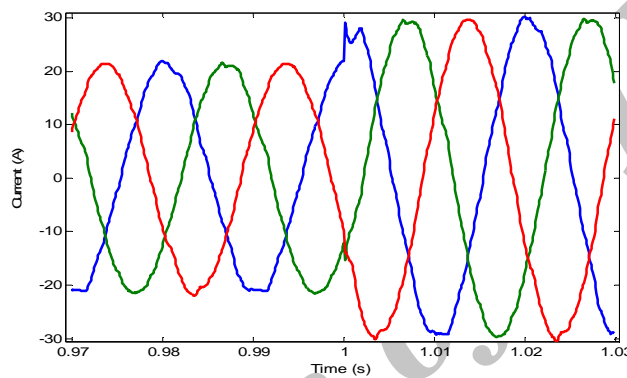
شکل 17: مقایسه توان مبادله شده توسط اینورتر به کمک کلیدزنی به روش پیشنهادی و کنترل کننده PI

با توجه به شکل فوق، مقایسه دو روش پیشنهادی و کنترل PI نشان می‌دهد که روش پیشنهادی به خوبی قادر به ردیابی توان بار بوده است. اما با تغییر سریع بار کنترل کننده PI نتوانسته است توان درخواستی بار را دنبال کند.

در شکل‌های (5-13) و (5-14) ولتاژ دو سر بار و جریان آن به کمک روش پیشنهادی نشان داده شده است. به منظور وضوح بیشتر و بیان تأثیر تغییرات بار این شکل موج‌ها در زمان بین $0/97$ تا $1/03$ ثانیه نشان داده شده است.

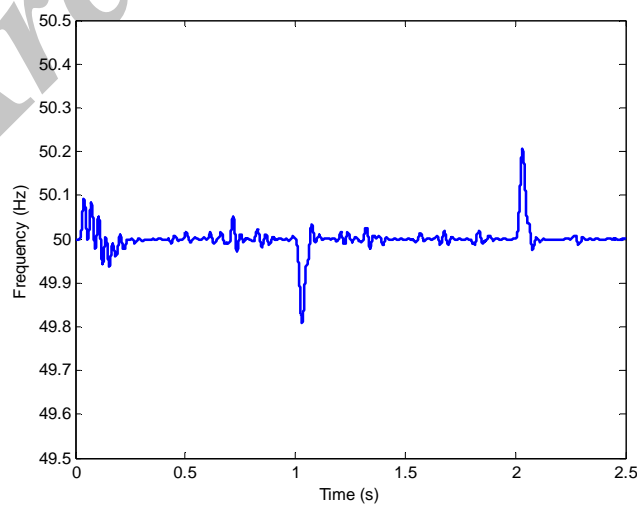


شکل 18: ولتاژ بار به کمک روش پیشنهادی



شکل 19: جریان بار به کمک روش پیشنهادی

همانطور که مشاهده می‌شود، به کمک روش پیشنهادی ولتاژ دو سر بار حتی پس از تغییرات باری که در زمان 1 ثانیه رخ داده است، همواره در محدوده مجاز آن (بین 0/95 تا 1/05 پریونیت) حفظ شده است. منحنی تغییرات فرکانس ریزشکه در شکل (20) نشان داده شده است.



شکل 20: فرکانس ریزشکه به کمک روش پیشنهادی



همانطور که در شکل فوق مشاهده می‌شود، به کمک روش پیشنهادی همواره فرکانس ریزشبه در محدوده مجاز لحاظ شده برای آن (49/5 تا 50/5 هرتز) قرار گرفته است. علاوه بر این مطابق این شکل با وجود تغییرات بار و توان تولیدی توسط منابع تولید پراکنده، همواره فرکانس پایه ریزشبه (50 هرتز) رديابی شده است.

5- نتیجه‌گیری

در این مقاله یک روش برای کنترل ریزشبه‌های مستقل (جزیره‌ای) ارائه گردید تا ولتاژ و بار کنترل گردد. این ریزشبه شامل سلول‌های خورشیدی، توربین بادی و باتری ذخیره‌ساز است. با توجه به رفتار غیرخطی سیستم فتوولتائیک از یک سیستم ردياب حداکثر توان به منظور استیصال حداکثر توان از آن استفاده شد. این سیستم ردياب توان بر پایه منطق فازی عمل کرده و به کمک آن توان رديافتی از منابع نیز در شرایط محیطی مختلف همواره حداکثر گردید.

ریزشبه از طریق یک اینورتر باری متغیر را تغذیه می‌نماید. با توجه به تغییرات ریزشبه کیفیت ولتاژ و فرکانس بار تغییر می‌کنند. این مشکلات با کنترل مناسب اینورتر حل گردید. روش پیشنهادی برای کنترل کلیدزنی اینورتر ریزشبه جزیره‌ای بر پایه طراحی دو کنترل کننده ولتاژ و جریان بود. این کنترل کننده‌ها همگی بر اساس روش منطق فازی عمل می‌کنند. نتایج حاصل از روش پیشنهادی و مقایسه آن با کنترل کننده مرسوم PI نشان دادند که ولتاژ و فرکانس ریزشبه حتی با وجود تغییرات منابع تولید پراکنده و بارها در محدوده مجاز خود قرار گرفتند.

مراجع

- [1] Li, F., Li, R., and Zhou, F. *Microgrid technology and engineering application*: Elsevier, 2015.
- [2] Gonen T., *Electric power distribution engineering*: CRC press, 2016.
- [3] Malla, S., and Bhende, C.: 'Voltage control of stand-alone wind and solar energy system', *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 2014, 56, pp. 361-373
- [4] Tofighi, A., and Kalantar, M.: 'Power management of PV/battery hybrid power source via passivity-based control', *Renewable Energy*, 2011, 36, (9), pp. 2440-2450
- [5] Onar, O., Uzunoglu, M., and Alam, M.: 'Modeling, control and simulation of an autonomous wind turbine/photovoltaic/fuel cell/ultra-capacitor hybrid power system', *Journal of Power Sources*, 2008, 185, (2), pp. 1273-1283
- [6] Chen, Z., Luo, A., Wang, H., Chen, Y., Li, M., and Huang, Y.: 'Adaptive sliding-mode voltage control for inverter operating in islanded mode in microgrid', *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 2015, 66, pp. 133-143
- [7] Dursun, E., and Kilic, O.: 'Comparative evaluation of different power management strategies of a stand-alone PV/Wind/PEMFC hybrid power system', *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 2012, 34, (1), pp. 81-89
- [8] Ahmad, S., Albatsh, F.M., Mekhilef, S., and Mokhlis, H.: 'Fuzzy based controller for dynamic Unified Power Flow Controller to enhance power transfer capability', *Energy Conversion and Management*, 2014, 79, pp. 652-665
- [9] MENGI, O.Ö., and ALTAŞ, İ.H.: 'Fuzzy logic control for a wind/battery renewable energy production system', *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, 2012, 20, (2), pp. 187-206



- [10] Hannan, M., Ghani, Z.A., Mohamed, A., and Uddin, M.N.: 'Real-time testing of a fuzzy-logic-controller-based grid-connected photovoltaic inverter system', *IEEE Transactions on Industry Applications*, 2015, 51, (6), pp. 4775-4784
- [11] Jena, D., and Ramana, V.V.: 'Modeling of photovoltaic system for uniform and non-uniform irradiance: A critical review', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2015, 52, pp. 400-417
- [12] Saravanan, S., and Babu, N.R.: 'Maximum power point tracking algorithms for photovoltaic system—A review', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016, 57, pp. 192-204
- [13] Ebrahimi, M.J., "General overview of maximum power point tracking methods for photovoltaic power generation systems," *30th International Power System Conference (PSC)*, 2015, pp. 228-233.
- [14] Gupta, A., Chauhan, Y.K., and Pachauri, R.K.: 'A comparative investigation of maximum power point tracking methods for solar PV system', *Solar Energy*, 2016, 136, pp. 236-253
- [15] Iov, F., Hansen, A., and Blaabjerg, F.: 'Simulation platform to model, optimize and design wind turbines', 2004
- [16] Kousksou, T., Bruel, P., Jamil, A., El Rhafiki, T., and Zeraouli, Y.: 'Energy storage: Applications and challenges', *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 2014, 120, pp. 59-80

Archive of SID