

## یک روش کنترل فرکانس تعاونی جدید فازی برای میکروگریدهای جزیره که از منابع انرژی تجدید پذیر استفاده می شود

### چکیده

- در این مطالعه یک روش جدید کنترل فرکانس تعاونی فازی برای میکروگریدهای جزیره حاوی منابع انرژی تجدید پذیر پیشنهاد شده است. کنترل فرکانس، که از تعادل برق بین اجزای تولید و مصرف ناشی می شود، برای حفظ ثبات سیستم نقش اساسی دارد. انحراف فرکانس نتیجه تغییر در میکرو گریدها ست. بهترین راه برای برقراری تعادل استفاده از سیستم ذخیره انرژی مانند باتری است که می تواند بلافاصله نیرو را از سیستم تزریق یا خارج کند. برای دستیابی به نتایج قابل قبول، لازم است از روش کنترل فرکانس مناسب استفاده شود که می تواند ثبات فرکانس را تضمین کند. عملکرد رویکرد جدید از طریق دو سناریو ارزیابی می شود. نتایج شبیه سازی نشان می دهد که میکروگرید می تواند به میزان مؤثر برسد.

### ۱- مقدمه

امروزه استفاده از منابع انرژی تجدید پذیر در شبکه به دلیل مزایای گسترده آنها بسیار رایج است. با توجه به این تمایل، باید در مورد ثبات سیستم در حین هرگونه تغییر در حضور منابع انرژی تجدیدپذیر، اطمینان حاصل شود. به عبارت دیگر، DG های خوشه ای که با یکدیگر همکاری می کنند می توانند یک میکروگرید را ایجاد کنند. به طور کلی، میکروگرید می تواند به صورت جزیره ای یا متصل کار کند. علاوه بر این، افزایش یا کاهش قدرت فعال تأثیر مستقیمی بر فرکانس میکروگرید دارد. تقویت میکروگرید در برابر انحراف فرکانس یکی از مهمترین نگرانی های محققان است. بنابراین، در طول تاریخ، روش های مختلف کنترل مانند کنترل مسترلاو، کنترل متمرکز و کنترل مبتنی بر افتادگی به منظور رفع این مشکل معرفی شده اند. یک روش کنترل دیگر وجود دارد که به آن روش کنترل تعاونی گفته می شود. این روش کنترل فرصتی برای میکروگریدها برای غلبه بر چندین محدودیت مانند فرکانس حالت پایدار و مقدار نامناسب قدرت واکنش پذیر فراهم می کند [۱].

این روش در مطالعات مختلف برای معرفی نتایج مختلف کاربرد دارد. به عنوان مثال، در [۲] طرح کنترل تعاونی توزیع شده به منظور زنده ماندن تمام داده های منتقل شده بین مؤلفه ها ارائه شده است. کنترل فرکانس تعاونی با کنترل پاسخ توربین بادی و قدرت فعال PV به منظور حفظ ظرفیت باتری مورد بررسی قرار گرفت [۳]. مطالعات دیگر در مورد استفاده از کنترل فرکانس تعاونی در [۴] - [۸] نشان داده شده است. روش کنترل مشارکتی این امکان را دارد که بین تمام مؤلفه های موجود در میکرو ارتباط برقرار کند.

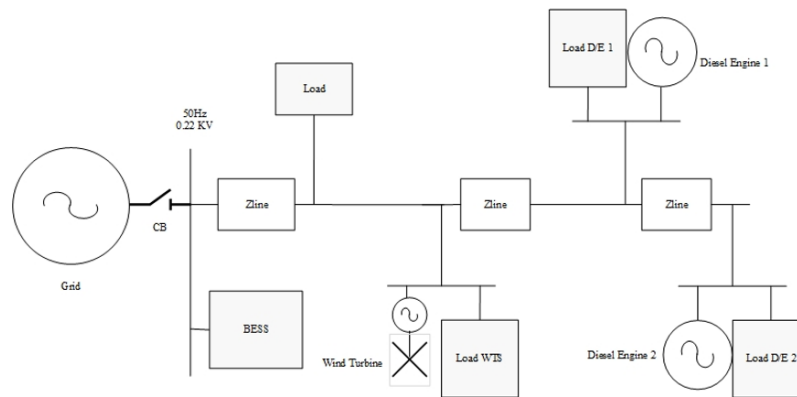
علاوه بر این، دارای یک کنترلر مرکزی گسترده برای تجزیه و تحلیل داده های جمع آوری شده از مؤلفه ها است [۹]. به طور کلی توافق شده است که کنترل کننده PI دارای معایبی مانند آسیب پذیری در کنترل دستاوردها، واکنش کند و غیر خطی بودن سیستم

<https://octacore.ir>

باشد [۱۰]. با این وجود، مزایای کنترل کننده های منطق فازی (FLC) از معایب آن فراتر می رود [۱۱]. مزایایی مانند ارزان تر برای توسعه، کار در شرایط گسترده و تنظیم قابل تنظیم، FLC را قابل قبول تر می کند [۱۲-۱۳]. در مقاله ذکر شده قبلی، یک کنترل کننده PID فازی مشارکتی مورد بررسی قرار گرفته است [۱۴]. همانطور که نویسندگان سعی در یافتن بهترین کنترلر تمایل دارند، آنها کنترل کننده بهتری را برای تثبیت فرکانس تشخیص می دهند. در این مطالعه، یک کنترل فرکانس تعاونی جدید فازی به عنوان یک روش کنترل ثابت استفاده می شود. شبیه سازی از طریق دو سناریو ارائه شده است. بخش دوم پیشنهادات اولیه مقاله را نشان می دهد. بخش سوم استراتژی کنترل تعاونی فازی ریز میکروگرید را نشان می دهد. نتایج شبیه سازی در بخش چهارم تجزیه و تحلیل می شود. بخش پنجم نتیجه گیری را اثبات می کند.

## ۲- مدل ریز شبکه

مدل میکروگرید در این مقاله از دو ژنراتور دیزل، یک سیستم توربین بادی، A BESS و بارهایی تشکیل شده است که در شکل ۱ نشان داده شده است. نقطه اتصال مشترک (PCC) در شکل ۱ نیز نشان داده شده است. میکروگرید های متصل به شبکه توزیع از طریق فیذر ۲۲۰ ولت و مشخصات آن در جدول نشان داده شده است. جزئیات بیشتر در مورد کنترل محلی BESS خواهد بود.



شکل ۱. میکروگرید مورد مطالعه

Microgrid Details	
<i>System Components</i>	<i>Values</i>
Diesel Engine 1	18 KVA
Diesel Engine 2	13 KVA
WTS	20 KW
BESS	560 KWh
Load WTS	6+j3K
Load DE 1	15+j8K
Load DE 2	9+j8K
Load	Variable
$Z_{line}$	0.1+0.0045j

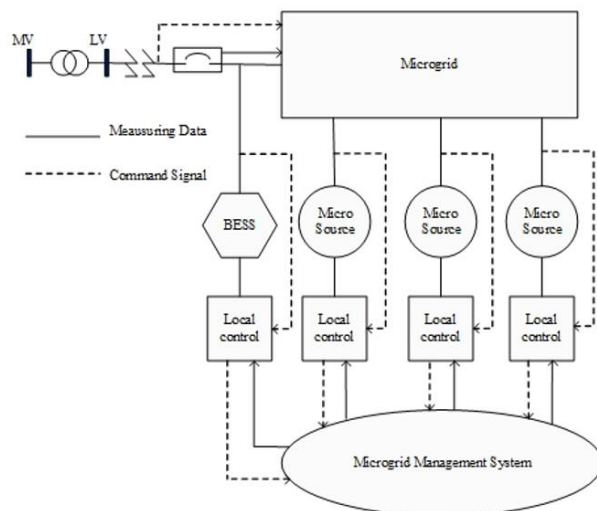
جدول ۱. ویژگی های میکروگرید

در آنچه در ادامه آمده است توضیح دهید. علاوه بر این ، توربین بادی در این مطالعه ساده شده است

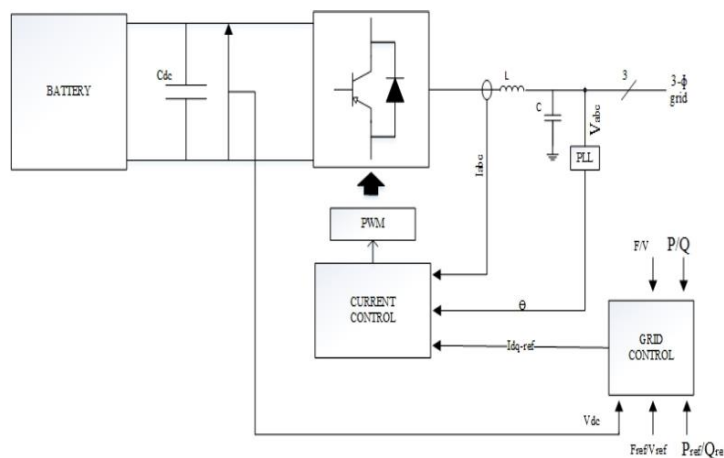
### ۳- کنترل

استراتژی مفهوم اصلی استراتژی کنترل تعاونی در حالت جزایر در مورد سیستم های ذخیره انرژی است. کنترل کننده BESS به منظور ایجاد تعادل بین قدرتهای ورودی و خروجی فوراً کار می کند. علاوه بر این ، یک میکروگرید دارای دو لایه کنترل است: کنترل اول یا کنترل محلی (LC) و سیستم ثانویه کنترل یا مدیریت میکروگرید مدیریت (MMS). کنترل اول توسط LC BESS حاصل می شود. در حالی که کنترل ثانویه نقش اصلی MMS است. همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده است ، MMS تمام اطلاعات موجود در میکروگرید از جمله داده های اندازه گیری شده و سیگنال فرمان هر مؤلفه را جمع آوری می کند. به منظور جلوگیری از خاموشی سیستم؛ این میزان توان تولیدی هر مؤلفه را تعیین می کند و آن را به LC ها معرفی می کند. در ادامه ، این دو لایه نشان داده شده است.

الف) کنترل محلی شکل ۳ BESS و سیستم کنترل محلی آن را نشان می دهد. به طور کلی ، با تغییر از حالت شبکه متصل به جزیره



شکل ۲. سیستم کنترل میکروگرید

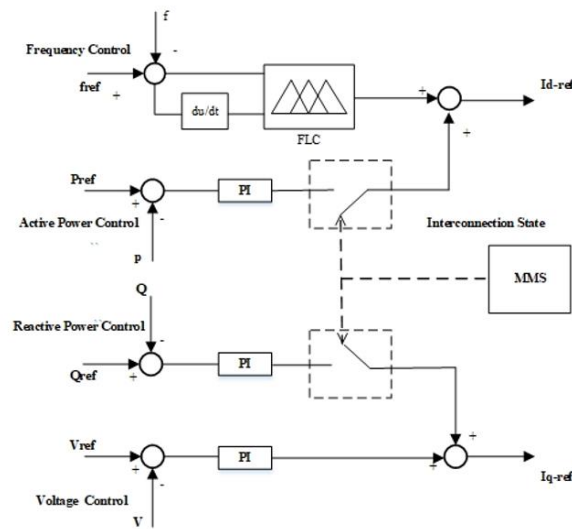


شکل ۳. کنترل محلی BESS

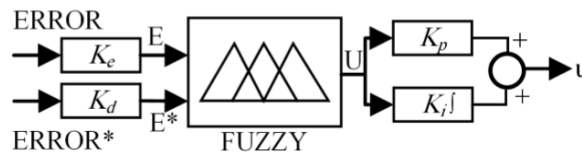
MM ، حالت کنترل میکروگرید را از PQ به Vf تغییر می دهد. با این حال ، در این مطالعه ، مطابق شکل ۴ ، یک کنترلر مشترک جدید در همکاری معرفی شده است که در آن با ورود همزمان میکروگرید به حالت جزایر ، PQ و Vf به طور همزمان کار می کنند. Id-ref و Iq-ref منابع فعلی هستند که در شکل ۴ نشان داده شده است.

<https://octacore.ir>

در شکل ۴،  $I_d$  و  $I_q$  مقادیر اندازه گیری شده ای هستند که  $V_d\_ref$  و  $V_q\_ref$  را با اختلاف اختلاف بین جریانه‌های مرجع و ولتاژها و اندازه گیری ها ایجاد می کنند. این مقادیر ورودی مبدل d-q به abc block است و منابع ولتاژ را به ولتاژ مرجع a-، b- و c محور ( $V_a\_ref$ ،  $V_b\_ref$  و  $V_c\_ref$ ) که ورودی اصلی یک هستند تولید می کند. روش تعدیل عرض پالس (PWM) همانطور که در شکل ۳ نشان داده شده است. بلوک Phase-Lock Look (PLL) سیگنال فاز ( $\Theta$ ) تولید می کند.  $\Theta$  ورودی دیگر PWM است که زاویه تحریک اینورترها را تشخیص می دهد و در نهایت آن را به عنوان اولین کنترل برای میکروگرید در نظر می گیرد.



شکل ۴. حالت کنترل



شکل ۵. کنترل کننده فازی

الف) کنترل تعاونی فازی

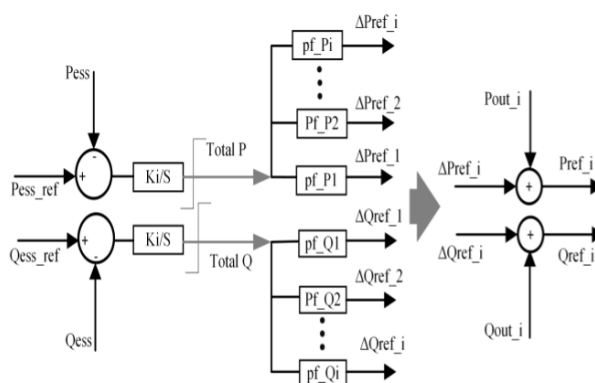
همانطور که در شکل ۴ نشان داده شده است، در این مطالعه از کنترل منطق فازی استفاده شده است. کنترل کننده PID فازی که در این مطالعه پیاده سازی شده است، دارای دو ورودی است: خطا و خطای مشتق که خطا ( $\text{Error}^*$ ) نامیده می شود (شکل ۵ را ببینید). جدول II عملکردهای عضویت را نشان می دهد. جزئیات بیشتر در مورد این کنترل منطق فازی را می توان در [۱۴] یافت.

(ب) کنترل ثانویه

MMS به منظور بازگرداندن Pout\_BESS به حداقل (برای حفظ ظرفیت باتری)، MMS با جمع آوری اطلاعات از همه DG ها و LC های آنها، همانطور که قبلاً ذکر شد، نقطه تعیین کننده خروجی های برق را تعیین کنید. همانطور که در شکل ۶ نشان داده شده است، تفاوت بین مرجع P و Q با اندازه گیری P و Q در کل دستورات P و Q است.  $pf\_Pi$  که یک عامل توان است که از MM ها برای هر DG حل می شود، میزان توان آنها را به ترتیب تولید می کند. در نهایت تثبیت فرکانس.

#### ۴- مطالعه شبیه سازی

به منظور تأیید کنترل تعاونی فازی، دو سناریو ارائه شده در این بخش. شبیه سازی در داخل MATLAB / SIMULINK انجام می شود.



شکل ۶. نقاط تعیین کننده توان خروجی از DG ها

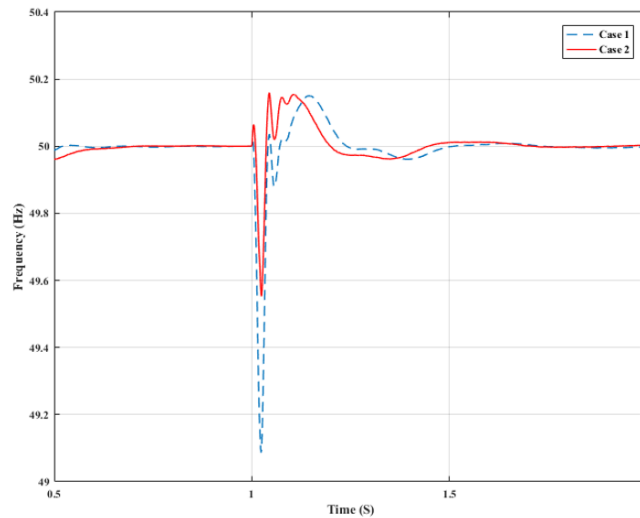
$P_{FLC}(n)$		Error*			
		N	Z	P	BP
Error	NB	N	BN	N	MN
	N	Z	Z	Z	N
	Z	Z	Z	Z	Z
	P	Z	Z	Z	P
	BP	P	BP	P	MP

<https://octacore.ir>

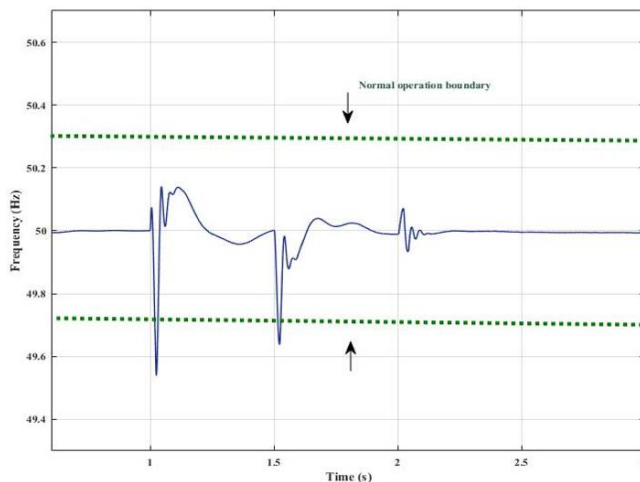
در این مقاله منابع انرژی باد و ژنراتورهای دیزلی به طور کامل تمام توان بارهای میکروگرید را تولید می کنند.

الف) سناریوی اول در این سناریو دو مورد ارائه شده است. در حالت اول ، روشهای کنترل عادی تعاونی مورد بررسی قرار گرفت و در مورد دوم یک روش ترکیبی جدید. در هر دو حالت ، در  $t = 15$  ، میکروگرید از شبکه فوقانی جدا شده و در حالت جزیره کار می کند. همانطور که در شکل ۷ نشان داده شده است

در هر دو مورد ، ضربان ساز فرکانس به خوبی کار کرده است. فراوانی دو مورد به ترتیب به  $42/49$  (هرتز) و  $49,54$  (هرتز) کاهش می یابد. با این وجود ، کاملاً واضح است که انحراف فرکانس در پرونده دو بیشتر از مورد کنترل می شود. بنابراین ، روش جدید کنترل مشارکتی به منظور کنترل فراوانی ریزگردها با موفقیت انجام شد. با توجه به تأیید کنترل جدید فرکانس کنترل ، سناریوی دیگری معرفی می شود.



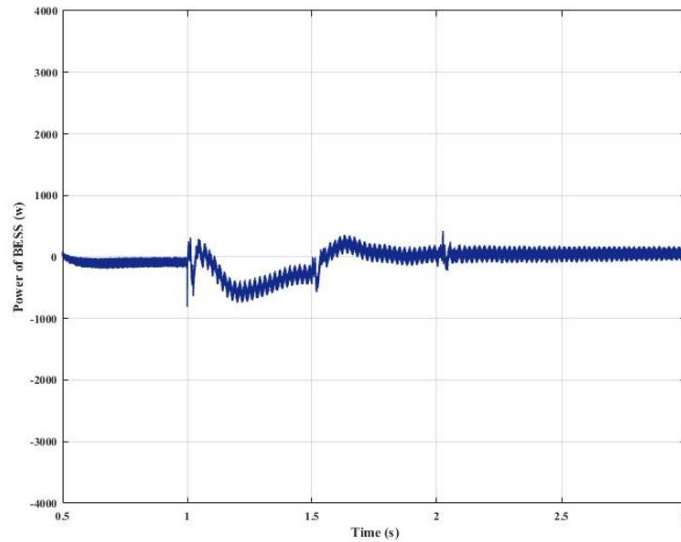
شکل ۷. کنترل فرکانس در دو مورد سناریوی اول



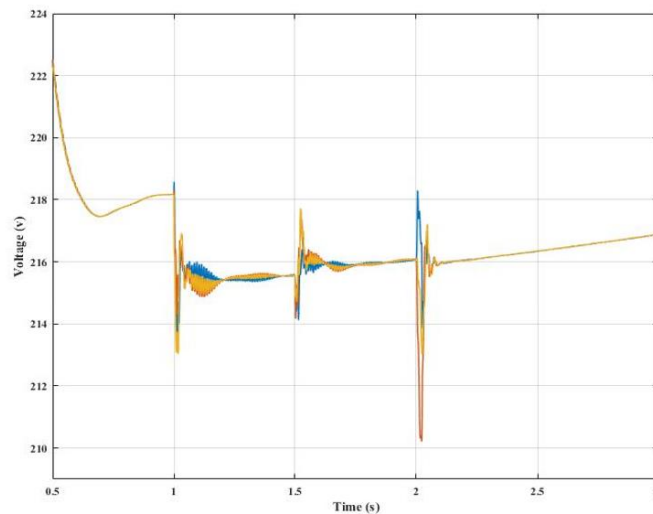
شکل ۸. فرکانس سناریوی دوم

ب) سناریوی دوم در این سناریو با همکاری استراتژی کنترل پیشنهادی جدید، مانند یک سناریوی تخریب در  $t = 1s$ ، میکروگرید از شبکه فوقانی جدا می شود. بنابراین، همانطور که در شکل ۸ نشان داده شده است، فرکانس به  $49,57$  (هرتز) کاهش یافته است. سپس، BESS همانطور که در شکل ۹ نشان داده شده است، قدرت فعال را به میکروگرید تزریق می کند و فرکانس به مرز اسمی آن باز می گردد. پس از آن در  $t = 1,5$  ثانیه، بار از  $1$  (kW) به  $4$  (kW) افزایش می یابد و در نتیجه فرکانس به  $49,62$  (هرتز) کاهش می یابد. فرکانس مانند آشکار، دوباره به  $50$  (هرتز) برمی گردد. در  $t = 2s$ ، بار WTS از  $6 + j3$  (kvar) به  $2 + j3$  (kvar) تغییر می یابد. در نتیجه، مقدار فرکانس  $50,07$  (هرتز) افزایش یافته است. به عبارت دیگر، BESS قدرت فعال را از میکروگرید خارج می کند و تثبیت فرکانس به دست می آید. علاوه بر این، مطابق شکل ۱۰، ولتاژهای میکروگرید، در  $t = 1s$  و  $t = 1,5$  ثانیه کاهش می یابد و در  $t = 2s$  ولتاژ بزرگ می شود. با کمک از کنترلر تعاونی فازی، ولتاژ به مرز عادی خود باز می گردد. در واقع، این سناریوها به وضوح اثربخشی کنترل کننده رمان در فرکانس کنترل میکروگرید را نشان می دهند.





شکل ۹. سناریوی دوم PBESS



شکل ۱۰. ولتاژ سناریوی دوم

## ۵- نتیجه گیری

این مقاله به بررسی اعتبار یک کنترل فرکانس تعاونی فازی رمان برای میکروگریدهای جزیره ای می پردازد. برای ارزیابی کنترل فرکانس تعاونی پیشنهادی ، دو سناریو مورد بررسی قرار می گیرند. در سناریوی اول تفاوت بین این مورد که کنترل فراوانی تعاونی پیشنهادی و موردی که کنترل فرکانس تعاونی متعارف مشاهده می شود. نتیجه گرفته شد که این روش جدید نتایج بسیار بهتری نسبت به روش گذشته دارد. بدین ترتیب ، تثبیت فرکانس ، به راحتی حاصل می شود. فراوانی در مورد ۱ در حدود ۴۹،۵۲ (هرتز)

<https://octacore.ir>

بود. با این حال فراوانی در مورد ۲ حدود ۴۹,۴۲ (هرتز) بود. بدیهی است که این واقعیت نشان می دهد که روش جدید باعث بهبود انحراف فرکانس ، کارآیی بیشتر می شود. در سناریوی دوم ، برای تأیید پیش فرض روش ، شبیه سازی در شرایط تغییر در بارها در نظر گرفته شده است. با این معنی ، نتایج نشان می دهد که کنترل کننده پیشنهادی می تواند با دقت از پایداری میکروگرید ها استفاده کند و گزینه مناسبی برای کنترل فرکانس است.

۶-منابع

- [۱] X. Wu, Ch, Shen, and R. Iravani, "A Distributed, Cooperative Frequency and Voltage Control for Microgrids" IEEE Transactions on Smart Grid, vol. ۹, Issue. ۴, pp. ۲۷۶۴ – ۲۷۷۶, July, ۲۰۱۸.
- [۲] M. S. Darup, A. Redder, D. E. Quevedo, "Encrypted Cooperative Control Based on Structured Feedback" IEEE Control Systems Letters, vol. ۳, Issue ۱, pp. ۴۲-۳۷, January, ۲۰۱۹.
- [۳] J. Qi, T. Tsuji, "Frequency Control in Microgrid Based on Inertial Response of Wind Turbine and Curtailment of Photovoltaic Generation" ۲۰۱۷ IEEE Manchester PowerTech, July, ۲۰۱۷.
- [۴] A. M. Amini, N. Gaeini, M. Jalili, X. Yu, "A new metric for measuring influence of nodes in cooperative frequency control of distributed generation systems" ۲۰۱۶ IEEE Innovative Smart Grid Technologies - Asia (ISGT-Asia), December, ۲۰۱۶.
- [۵] Q. Shafiee, J. C. Vasquez, J. M. Guerrero, V. Nasirian, A. Davoudi, "Cooperative frequency control for autonomous AC Microgrids" ۲۰۱۵ IEEE Eindhoven PowerTech, September, ۲۰۱۵.
- [۶] M. Ma, A. Lahmadi, "On the Impact of Synchronization Attacks on Distributed and Cooperative Control in Microgrid Systems" ۲۰۱۸ IEEE International Conference on Communications, Control, and Computing Technologies for Smart Grids (SmartGridComm), December, ۲۰۱۸.
- [۷] K. Dehghanpour, H. Nehrir, "An Agent-Based Hierarchical Bargaining Framework for Power Management of Multiple Cooperative Microgrids" IEEE Transactions on Smart Grid, vol. ۱۰, Issue ۱, pp. ۵۱۴۵-۲۲, January, ۲۰۱۹.
- [۸] M. Zeraati, M. E. Hamedani Golshan, J. M. Guerrero, "A ConsensusBased Cooperative Control of PEV Battery and PV Active Power Curtailment for Voltage Regulation in Distribution Networks" IEEE Transactions on Smart Grid, vol. ۱۰, issue ۱, January, ۲۰۱۹.
- [۹] J. Kim, J. Jeon, S. Kim, Ch. Cho, J. Ho Park, H. Kim, K. Nam, "Cooperative Control Strategy of Energy Storage System and Microsources for Stabilizing the Microgrid during Islanded Operation," IEEE Transactions on Power Electronics, ۲۰۱۰.
- [۱۰] J. Lopes, C. Moreira, and A. Madureira, "Defining Control Strategies for Microgrids Islanded Operation," IEEE Transaction on Power System, vol. ۲۱, no. ۲, pp. ۹۲۴-۹۱۶, May, ۲۰۰۶.



<https://octacore.ir>

[۱۱] J. Lai, H. Zhou, X. Lu, X. Yu, and W. Hu, "Droop-Based Distributed Cooperative Control for Microgrids With Time-Varying Delays," IEEE Transactions on Smart Grid, vol. ۷, no. ۴, pp. ۱۷۸۹-۱۷۷۵, April, ۲۰۱۶.

[۱۲] X. Yinliang, W. Zhang, G. Hug, S. Kar, and Zh. Li, "Cooperative Control of Distributed Energy Storage Systems in a Microgrid," IEEE Transactions on Smart Grid, ۲۰۱۵.

[۱۳] A. Al-Odient, A. A. Al-Lawama, "The Advantages of PID Fuzzy Controllers Over The Conventional Types" American Journal of Applied Sciences, pp. ۶۵۸-۶۵۳, June, ۲۰۰۸. [۱۴] J. Kim, H. Kim, S. Kim, J. Jeon, and H. Choi, "Designing an Energy Storage System Fuzzy PID Controller for Microgrid Islanded Operation," Energies, vol. ۴, no. ۹, pp. ۱۴۶۰-۱۴۴۳, September, ۲۰۱۱.

گردآورنده : هما زارعی زهدی

در صورت هر گونه سوال می توانید به ایمیل

[homazarei97@gmail.com](mailto:homazarei97@gmail.com)

پیام دهید .