



سازمان ملی مهندسی برق، الکترونیک و فناوری



دانشگاه بوعلی سینا  
دانشکده مهندسی

# کنترل فرکانس ریز شبکه روی کشتی

گروه آموزشی برق،  
دانشکده مهندسی،  
دانشگاه بوعلی سینا،  
همدان

۱- فرهاد امیری، دانشجوی دکترا، دانشکده مهندسی برق - دانشگاه بوعلی سینا - همدان - ایران  
۲- محمد حسن مرادی، استاد، دانشکده مهندسی برق - دانشگاه بوعلی سینا - همدان - ایران



## چکیده

کنترل بار-فرکانس یکی از موضوعات مهم در بهره‌برداری و کنترل ریز شبکه‌هایی است که به صورت مستقل از شبکه اصلی بهره‌برداری می‌شوند. در این مقاله به مسئله کنترل بار-فرکانس در ریز شبکه روی کشتی پرداخته شده است: منابعی مانند باتری و چرخ طیار به عنوان منابع کنترل پذیر در مسئله کنترل بار فرکانس در نظر گرفته شده اند و از کنترل کننده پیش بین مدل به عنوان کنترل کننده برای طراحی سیستم کنترل بار-فرکانس به کار برده شده است. پارامترهای وزن کنترل کننده پیش بین مدل که نقش اساسی در تعیین عملکرد این کنترل کننده دارند به وسیله الگوریتم ازدحام ذرات (PSO) بهینه شده است. استفاده از الگوریتم پیشنهادی سبب افزایش سرعت همگرایی شده است. نتایج کنترل کننده پیشنهادی، در چند سناریو مختلف و با در نظر گرفتن عدم قطعیت پارامترها با چندین روش کنترلی مقایسه شده است. و موثر بودن روش پیشنهادی از لحاظ سرعت پاسخ و کاهش فراجهدش و فروجهش و مقاوم در برابر عدم قطعیت پارامترها نشان داده شده است. شبیه‌سازی در نرم افزار متلب (سیمولینک) انجام شده است.

کلمات کلیدی: ریز شبکه روی کشتی، کنترل پیش بین، الگوریتم ازدحام، کنترل بار-فرکانس



## مقدمه

ریزشبکه در حالت ماندگار در تعادل میان تولید و مصرف به سر می‌برد و چنانچه بنا به رخداد اغتشاشی این تعادل از بین برود، فرکانس از مقدار نامی دور خواهد شد. و اگر نوسانات فرکانس سیستم کنترل نشود، می‌تواند خسارات زیادی در برداشته باشد [۱]. اگر اغتشاشی در ریزشبکه روی دهد و سبب برهم خوردن تعادل میان تولید و مصرف شود، فرکانس نوسان می‌کند. برای مثال اگر بار به ناگاه اضافه شود، فرکانس از مقدار نامی افت خواهد کرد که اگر کنترل نشود شاهد ناپایداری فرکانس خواهیم بود. حلقه کنترلی اولیه، اولین حلقه کنترلی بوده که به محدود کردن افت فرکانس بعد از اتفاق افتادن اغتشاش اقدام می‌نماید [۲]. حلقه کنترلی اولیه، فرکانس افت کرده را محدود می‌کند اما در برگرداندن فرکانس به مقدار نامی ناتوان بوده و از این رو حلقه تعاملی دیگری با نام کنترل ثانویه فرکانس نیز استفاده می‌شود [۲]. حلقه کنترل ثانویه توسط سیستم کنترل بار-فرکانس یا سیستم کنترل بار-فرکانس<sup>۱</sup> (LFC) کنترل می‌شود. در حلقه کنترل ثانویه از کنترل کننده‌های متفاوتی استفاده می‌شود. به علت طبیعت تصادفی وزش باد و تابش خورشید، توان تولیدی منابع انرژی تجدیدپذیر متغیر است. تغییرات تصادفی توان تولیدی منابع انرژی تجدیدپذیر و همچنین تغییرات بار می‌تواند سبب عدم تعادل و در نتیجه سبب انحراف قابل توجه در فرکانس ریز شبکه-در حالت جدا از شبکه شود [۳]. برای میرا کردن نوسانات توان و فرکانس، بازگرداندن فرکانس به مقدار نامی و همچنین بازگرداندن توان خط ارتباطی به مقدار تنظیم شده، از استراتژی‌های کنترلی بار-فرکانس استفاده می‌شود.



## مقدمه

کنترل کننده‌های متعددی مانند PI معمولی [۴,۵]، PID معمولی [۶]، PID مبتنی بر تعیین ضرائب با روش زیگلر- نیکولز [۷]، PI مبتنی بر ژنتیک الگوریتم [۸]، PID مبتنی بر جغرافیای زیستی [۹]، PID مبتنی بر مرتبه کسری [۱۰]، fuzzy-PID مبتنی بر مرتبه کسری [۱۱]، PI مبتنی بر منطق فازی نوع ۲ در ترکیب با الگوریتم بهبود یافته جستجوی هارمونی [۱۲] برای کنترل بار-فرکانس در ریز شبکه‌ها ارائه شده است. همچنین از روش‌های کنترل مقاوم مبتنی بر کنترل اچ-بینهایت ( $H_\infty$ ) [۱۳]، از کنترل مبتنی بر الگوریتم یادگیری عاطفی مغز برای کنترل بار-فرکانس در ریز شبکه استفاده شده است. اثر تاخیر زمانی سیستم‌های مخابراتی بر پایداری کنترل بار-فرکانس در یک سیستم مشتمل بر ریز شبکه چند ناحیه‌ای بررسی شده است [۱۴]. استراتژی کنترل نظارت ثالثیه برای کنترل بار-فرکانس در یک سیستم مشتمل بر ریز شبکه چند ناحیه‌ای ارائه شده است [۱۵]. در روشهای مطرح شده [۴-۱۵]، کنترل کننده‌های به کار برده شده در سیستم کنترل بار-فرکانس در برابر اغتشاشات بار و اغتشاشات منابع تولید پراکنده و عدم قطعیت‌ها قوی نیست. در این مقاله، برای سیستم کنترل بار- فرکانس ریز شبکه روی کشتی سیار از کنترل کننده پیش بین مدل بهینه شده استفاده شده است. روش پیشنهادی مبتنی بر کنترل پیش‌بین مدل - که پارامترهای وزن آن با روش الگوریتم ازدحام ذرات بهینه شده (PSO) پیشنهاد شده است.



# روش انجام تحقیق

معادلات حالت ریزشبه:

فرم معادلات حالت ریزشبه روی کشتی بر اساس رابطه (۱) و رابطه (۲) نوشته شده است.

$$\begin{bmatrix} \Delta \dot{X}_g \\ \Delta \dot{P}_{dg} \\ \Delta \dot{P}_{fess} \\ \Delta \dot{P}_{bess} \\ \Delta \dot{f} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{-1}{T_g} & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{R \times T_g} \\ \frac{1}{T_d} & \frac{-1}{T_d} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{-1}{T_{fess}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{-1}{T_{fess}} & 0 \\ 0 & \frac{1}{M} & \frac{1}{M} & \frac{1}{M} & \frac{-D}{M} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta X_g \\ \Delta P_{dg} \\ \Delta P_{fess} \\ \Delta P_{bess} \\ \Delta f \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{T_g} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{T_{fess}} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{T_{fess}} \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta u_{dg} \\ \Delta u_{fess} \\ \Delta u_{bess} \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$+ \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ \frac{1}{M} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta P_{wr} + \Delta P_{swe} + \Delta P_{pv} - \Delta P_L \end{bmatrix}$$

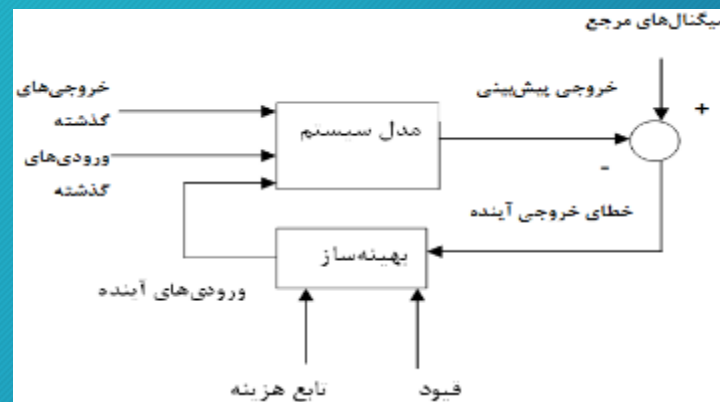
$$y = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta X_g \\ \Delta P_{dg} \\ \Delta P_{fess} \\ \Delta P_{bess} \\ \Delta f \end{bmatrix} \quad (2)$$



# روش انجام تحقیق

کنترل کننده پیش بین مدل (MPC):

ساختار کلی کنترل کننده پیش بین در شکل (۱) نشان داده شده است. همانطور که در شکل زیر ملاحظه می شود، در کنترل کننده مذکور، با استفاده از مدلی از سیستم، رفتار آینده آن پیش بینی و کنترل می شود. در این کنترل کننده، با حداقل کردن یک تابع هزینه، سیگنال کنترلی بدست می آید. مقادیر سیگنال کنترلی در افق کنترل طوری تعیین می شوند که خروجی سیستم در آینده بر روی افق معین، مسیر مرجع تعیین شده را دنبال کند. برای این منظور باید تابع هزینه، که عموماً به صورت مربع انحراف متغیرهای کنترل شونده از مقدار مطلوب و مجموع مربعات سیگنال های کنترلی در نظر گرفته می شود، حداقل شود.



ساختار کلی کنترل کننده پیش بین



# روش انجام تحقیق

کنترل کننده پیش بین مدل (MPC):

رابطه (۳) تابع هزینه و رابطه (۴) قیودی اعمالی روی سیگنال‌های کنترلی و خروجی در کنترل کننده پیش بین را نشان می‌دهد

$$J(N_1, N_2, N_u) = \min \sum_{j=N_1}^{N_2} ([y(k+j) - r(k+j)]^T W_y [y(k+j) - r(k+j)] + [u(k) - u(k-1)]^T W_u [u(k) - u(k-1)]) \quad (۳)$$

$$\begin{aligned} u_{\min} &\leq u(k) \leq u_{\max} \\ y_{\min} &\leq y(k) \leq y_{\max} \end{aligned} \quad (۴)$$



## روش انجام تحقیق

الگوریتم ازدحام ذرات مبتنی بر دیوانگی:

الگوریتم ازدحام ذرات (PSO) اولین بار توسط کندی و ابر هارت با الهام از حرکت دسته جمعی پرندگان معرفی گردید که یک مدل تکاملی محاسباتی و تکنیک جستجوی تصادفی بر اساس هوش ازدحام است که موقعیت و سرعت هر ذره توسط روابط (۵) و (۶) به روز می‌شود.

$$v_i^{k+1} = v_i^k + c_1 r_1 (P_{Besti} - x_i^k) + c_2 r_2 (g_{Besti} - x_i^k) \quad (۵)$$

$$x_i^{k+1} = x_i^k + v_i^{k+1} \quad (۶)$$





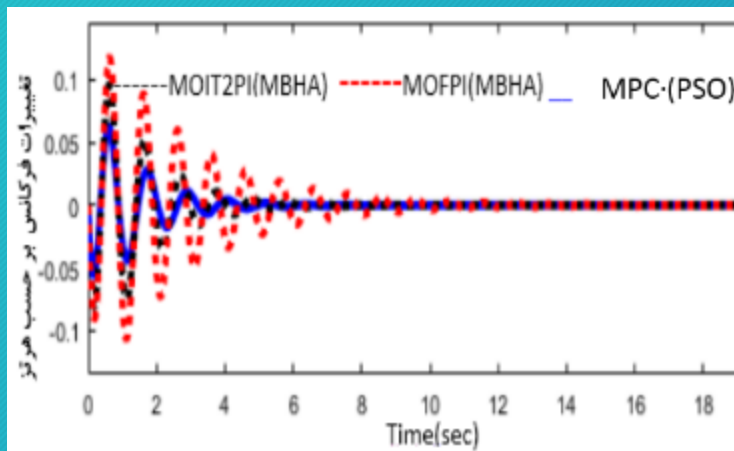
## فرضیه‌ها

پارامترهای ریزش‌بکه در روی کشتی و نیز پارامترهای کنترل کننده های MPC نشان داده شده است. بهینه سازی پارامترهای وزن کنترل کننده‌های MPC با استفاده الگوریتم ازدحام ذرات مبتنی بر دیوانگی (PSO) انجام شده است.

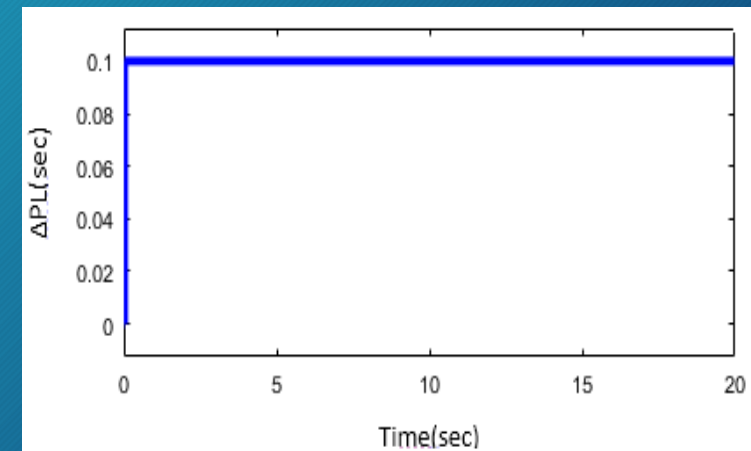


# شبیه‌سازی

سناریو (۱): تغییرات منابع تولید پراکنده در ریزشبکه روی کشتی در نظر گرفته نشده است و فقط اغتشاشات بار به صورت تابع پله مطابق شکل (۲) به ریزشبکه روی کشتی در نظر گرفته شده است. اغتشاشات بار به ریزشبکه روی کشتی مطابق شکل (۲) اعمال شده است. در شکل (۳) پاسخ فرکانسی ریزشبکه روی کشتی به اغتشاش بار نشان داده شده است. همانطور که از نتایج شبیه‌سازی مشخص است، که کنترل کننده پیشنهادی ((MPC(PSO)) نسبت کنترل کننده تناسبی-انتگرالی چند هدفه بهینه شده با الگوریتم سیاه چاله ((MOFPI (MBHA)) و کنترل کننده تناسبی-انتگرالی فازی نوع دو چند هدفه بهینه شده با الگوریتم سیاه چاله ((MOIT2PI (MBHA)) مقایسه شده است و دارای عملکرد مطلوبی از نظر سرعت پاسخ، کاهش فراجهدش و فروجهش می‌باشد.



شکل (۳): پاسخ فرکانسی ریزشبکه

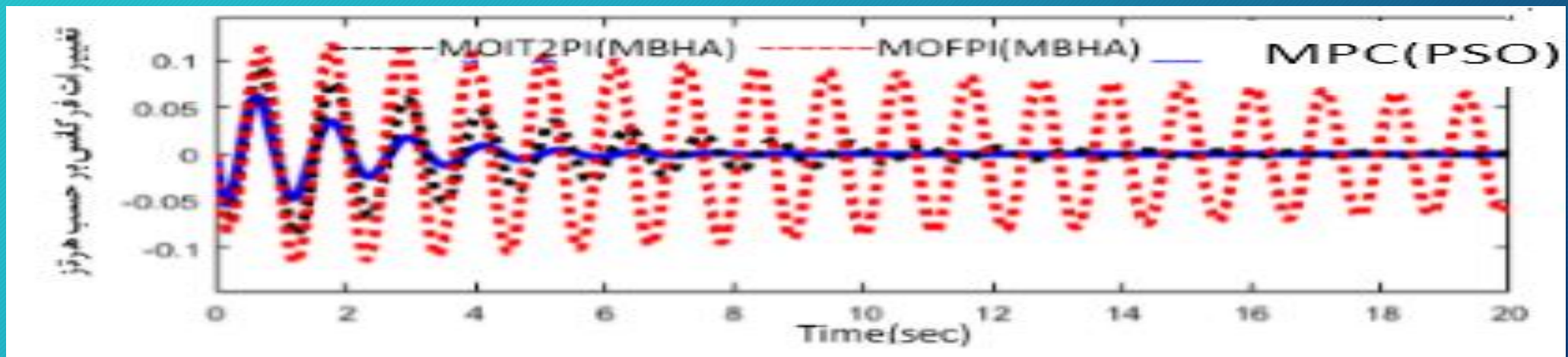


شکل (۲): اغتشاشات بار اعمال شده به ریزشبکه



## شبیه‌سازی

سناریو (۲): در این سناریو اغتشاش بار مطابق شکل (۲) با عدم قطعیت پارامتر اینرسی (+35%) در نظر گرفته شده است. تغییرات منابع تولید پراکنده در ریزشبه روی کشتی در نظر گرفته نشده است. شکل (۴) پاسخ فرکانسی ریزشبه به اغتشاشات بار و به عدم قطعیت پارامترها را نشان می‌دهد. همانطور که از نتایج شبیه‌سازی مشخص است، که کنترل کننده پیشنهادی (MPC(PSO) دارای عملکرد مطلوبی نسبت به اغتشاشات بار و عدم قطعیت پارامترها در مقایسه با سایر روشهای کنترلی ذکر شده می‌باشد



شکل (۴): پاسخ فرکانسی ریزشبه



## بحث و نتیجه گیری

در این مقاله از کنترل پیش بین مدل (MPC) که پارامترهای وزن آن با استفاده از الگوریتم ازدحام ذرات بهینه شده (PSO)، برای کنترل بار-فرکانس در ریزشبکه روی کشتی استفاده شد. از الگوریتم ازدحام ذرات برای بهینه کردن پارامترهای کنترل کننده پیش بین مدل به دلیل سرعت همگرایی مناسب استفاده شده است. طبق نتایج کنترل کننده پیشنهادی، و مقایسه آن با کنترل کنندهای مختلف، موثر بودن روش پیشنهادی از لحاظ عملکرد (سرعت پاسخ و کاهش فراجهدش و فرجهش) و مقاوم در برابر عدم قطعیت پارامترها نشان داده شد.

## منابع



- [1] P. Fereidoon Distributed generation and its implications for the utility industry, Academic Press, Jun 2014.
- [2] Pandey, S. Kishor, N. A literature survey on load–frequency control for conventional and distribution generation power systems, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 25, pp. 318-334, 2013.
- [3] F.Tedesco, A. Casavola, Fault-tolerant distributed load/frequency coordination strategies for multi-area power microgrids, *IFAC-PapersOnLine*, Vol. 48 ,pp.54-59, Jan.2015.
- [4] R. Dhanalakshmi, Load frequency control of wind diesel hydro hybrid power system using conventional PI controller, *European J. Scient. Res.*, Vol. 60, no. 4, pp. 630-641, 2011.
- [5] D. I. Makrygiorgou and A. T. Alexandridis, "Nonlinear modeling, control and stability analysis of a hybrid ac/dc distributed generation system," *2017 25th Mediterranean Conference on Control and Automation (MED)*, Valletta, 2017, pp. 768-773.
- [6] B. Kumar and S. Bhongade, Load Disturbance Rejection based PID controller for frequency regulation of a microgrid, *2016 Biennial International Conference on Power and Energy Systems: Towards Sustainable Energy (PESTSE)*, Bangalore, 2016, pp. 1-6.
- [7] G. Mallesham, S. Mishra and A. N. Jha, Ziegler-Nichols based controller parameters tuning for load frequency control in a microgrid, *2011 International Conference on Energy, Automation and Signal*, Bhubaneswar, Odisha, 2011, pp. 1-8.
- [8] Das, D. Roy, A. Sinha, N. GA based frequency controller for solar thermal diesel-wind hybrid energy generation/energy storage system, *Int J Electr Power Energy*, Vol. 43, no. 1, pp. 262–79, Syst 2012
- [9] D. C. Das, A. K. Roy and N. Sinha, PSO based frequency controller for wind-solar-diesel hybrid energy generation/energy storage system, *2011 International Conference on Energy, Automation and Signal*, Bhubaneswar, Odisha, 2011, pp. 1-6.
- [10] R. H. Kumar and S. Ushakumari, Biogeography based tuning of PID controllers for Load Frequency Control in microgrid, *2014 International Conference on Circuits, Power and Computing Technologies [ICCPCT-2014]*, Nagercoil, 2014, pp. 797-802.
- [11] A. Kumar and G. Shankar, Quasi-oppositional harmony search algorithm based optimal dynamic load frequency control of a hybrid tidal–diesel power generation system, in *IET Generation, Transmission & Distribution*, vol. 12, no. 5, pp. 1099-1108, 13 3 2018.
- [12] I. Pan and S. Das, Fractional Order AGC for Distributed Energy Resources Using Robust Optimization, in *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 7, no. 5, pp. 2175-2186, Sept. 2016.
- [13] I. Pan and Saptarshi, D. Fractional order fuzzy control of hybrid power system with renewable generation using chaotic PSO, *ISA transactions*, Vol.62, pp. 19-29, 2016.
- [14] M. H. Khooban, T. Niknam, F. Blaabjerg, P. Davari and T. Dragicevic, A robust adaptive load frequency control for micro-grids, *ISA transactions*, Vol. 65, pp. 220-229, 2016.
- [15] M. H. Khooban, T. Niknam, F. Blaabjerg, P. Davari and T. Dragicevic A new load frequency control strategy for micro-grids with considering electrical vehicles, *Electric Power Systems Research*, Vol. 143, pp. 585-598, 2017.