ششمین همایش بین‌المللی افق های نویـن در
مهندسی برق، کامپیوتـر و مکانیک
6th International Conference on the New Horizons in
Electrical Engineering, Computer and Mechanical
www.mhconf.ir

ارزیابی احتمالاتی پروفیل ولتاژ و جریان تزریقی با در مدار قرار گرفتن توربین های بادی در یک سیستم قدرت مبتنی بر روش تاگوچی

مجید نجارپور[۱]، بهروز طوسی[۲]

[۱] دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه ارومیه، ارومیه ؛ st_m.najjarpour@urmia.ac.ir
[۲] دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه ارومیه، ارومیه b.tousi@urmia.ac.ir

چکیده

مسئله پخش بار در مطالعه سیستم توزیع با لحاظ منابع انرژی های تجدید پذیر شامل عدم قطعیت ها بسیار مهم می باشد. از سوی دیگر لحاظ کردن عدم قطعیت ها فرایند ریاضی تصادفی و احتمالاتی را می طلبد. عدم قطعیت بار معمولا موضوع خیلی حادی نیست و می تواند توزیع یک توزیع نرمال مدل شود در حالیکه با افزایش ضریب نفوذ روز افزون منابع انرژی های تجدید پذیر چالش های جدیدی مطرح می شود برای مثال تغییر پذیری انرژی باد خیلی زیاد است و نمی تواند توسط یک توزیع نرمال مدل شود پس از یک توزیع غیر نرمال همچون توزیع ویبال استفاده می کنیم در این مقاله برای مدل سازی عدم قطعیت ها از آرایه های متعامد استفاده می شود و برای پخش بار احتمالاتی از روش آماری تاگوچی استفاده شده است. و شبکه استاندارد ۱۱۸ باسه IEEE به عنوان شبکه آزمون بکار گرفته شده است.

واژه‌های کلیدی

پخش بار احتمالاتی، عدم قطعیت، تولیدات پراکنده بادی، روش تاگوچی، آرایه های متعامد.

۱. مقدمه

منابع انرژی توزیع شده (DR) و منابع انرژی نو چالش های مختلفی از جمله تکنیک های محاسباتی و مدل سازی به منظور تحلیل مناسب از سیستم توزیع بوجود آورده اند. محاسبات پخش بار برای تعیین دامنه ولتاژ و زاویه فاز در هر باس سیستم پخش توان در هر شاخه سیستم توان تزریق شده توسط منابع تولید و تلفات سیستم مورد استفاده قرار می گیرد[۱]. روش های مختلفی برای پخش بار یک سیستم قدرت وجود دارد در اکثر این روش ها مقادیر منابع تولید و بار ها در شبکه با ساختار مشخص کاملا از پیش تعیین شده باید باشند[۲]. به عبارت دیگر هیچ گونه عدم قطعیت در توان تولیدی و مصرفی عناصر شبکه قابل لحاظ نمی باشد[۳]. در صورتی که در سیستم های قدرت امروزی با منابع انرژی ها نو توان واحد های تولید مانند توربین های بادی و سیستم های فتوولتائیک تحت تاثیر شرایط آب و هوایی متغیر است[۴]. از طرف دیگر با پیشرفت فناوری خودرو های الکتریکی قابل اتصال به شبکه می توان از ان ها به عنوان یک نیروگاه کوچک قابل جابجایی استفاده کرد[۵]. این رویداد منجر به بهبود هزینه بهره برداری و میزان آلاینده های تولیدی و قابلیت اطمینان شبکه خواهد شد خودروهای الکتریکی در زمان شارژ نیز بار های الکتریکی قابل جابجایی محسوب می شوند. به عبارت دیگر خودروهای الکتریکی یک عنصر شبکه توزیع با عدم قطعیت در زمان مکان و توان تولیدی و مصرفی می باشد[۶]. با توجه به موارد گفته شده باید تکنیک ها و مدل های توسعه یافته ای برای محاسبات پخش بار در سیستم های توزیع با نفوذ منابع انرژی های نو و بار های الکتریکی نوین در نظر گرفته شوند[۷]. بدیهی است که وجود عدم قطعیت در میزان توان خروجی مزارع بادی و بار های مورد تقاضا و تعداد خودروهای متصل به شبکه مسئله مشارکت واحد ها را نیز پیچیده تر می کند. بطور کلی روش های محاسباتی جهت انجام پخش بار شبکه های توزیع الکتریکی حاویعدم قطعیت در توان تولید به دو دسته تحلیلی و عددی تقسیم بندی می شوند[۸]. در این مقاله هدف انجام محاسبات پخش بار در حضور منابع بادی می باشد[۹]. به عبارت دیگر در این مقاله تلاش خواهد شد که با استفاده از تکنیک ها و مدل های توسعه یافته ای برای محاسبا پخش بار محاسبات مورد نظر جهت تحلیل یک شبکه الکتریکی نمونه حاوی منابع انرژی نو و بادی حاوی عدم قطعیت در توان تولیدی و مصرفی است[۱۰]. به همین منظور در این مقاله از روش تاگوچی جهت انجام پخش بار استفاده شده است که یک روش آماری و مهندسی است و بر اساس آرایه های متعامد است[۱۱].

۲. روش تاگوچی

روش تاگوچی یک روش آماری است که بر اساس آرایه‌های متعامد برای بهینه سازی سیستم‌ها بکار می‌رود. در این مقاله برای مدل‌سازی عدم‌قطعیت‌های بار و باد از روش تاگوچی استفاده می‌کنیم، در مسأله پخش‌بار بهینه احتمالاتی، هدف از فاکتورها همان متغیرهای تصادفی است، در این روش تعداد فاکتورها را با m و تعداد سطح از فاکتورها را با n نشان می‌دهند، و بعد از آن، به تعداد آزمایش انجام می‌شود. البته انجام همه آزمایش‌ها، اغلب دشوار و بسیار هزینه‌بر است. به کمک آرایه‌های متعامد، امکان انجام حداقل آزمایش‌ها وجود دارد. واژه (سطح) بیانگر مقداری از توزیع احتمالاتی است. گام اول در استفاده از روش تاگوچی، تعیین تعداد سطوح هر فاکتور است. روش تاگوچی با فاکتورهای دوسطحی به کمترین میزان محاسبات پخش‌بار نیاز دارد بنابراین تنها دو سطح از هر فاکتور در نظر می‌گیریم. همواره امکان تنظیم ۲ سطح از یک متغیر تصادفی با توزیع نرمال وجود دارد، زیرا این توزیع یک توزیع متقارن است. که این سطوح باید به صورت $\mu - \sigma$ و $\mu + \sigma$ بیان شود μ و σ به ترتیب نشان دهنده‌ی میانگین و انحراف از معیار است. مدل بار ارائه شده دراین مقاله توزیع نرمال است. برای یک متغیر تصادفی با توزیع ویبول مانند نیروگاه بادی، نیز می‌توان سطوح را به صورت $\mu - \sigma$ و $\mu + \sigma$در نظر گرفت. که $\mu - \sigma$ به عنوان سطح ۱ و $\mu + \sigma$ به‌عنوان سطح ۲ معرفی می‌شوند.

طراحی یک آزمایش بهینه: می‌توان به کمک مراحل زیر، با انجام یک آزمایش برای پخش‌بار احتمالاتی با بهترین شاخص عملکرد بدست آورد و از انجام بقیه آزمایش‌ها خودداری کرد. در گام نخست باید یک شاخص عملکرد تعریف شود(۷).

$$Y_j = \sum_{\psi}^{NL} \left| f_{j\psi} - f^*_{\psi} \right| \quad , \; j = 1,2,3, \ldots \qquad (۷)$$

که در آن NL تعداد شاخه‌ها می‌باشد و $f_{j\psi}$ توان عبوری از خط ψ ام حاصل از پخش‌بار آزمایش jام است و f^*_{ψ} توان عبوری نامی از خط ψ ام است. گام دوم محاسبه‌ی میانگین تاثیر سطوح فاکتورها است. میانگین اثرات سطوح فاکتورها به صورت معادلات (۱۳-۸) تعریف می‌شود.

$$\bar{A}_1 = (Y_1 - Y_2)/2 \quad (۸)$$
$$\bar{A}_2 = (Y_3 - Y_4)/2 \quad (۹)$$
$$\bar{B}_1 = (Y_1 - Y_3)/2 \quad (۱۰)$$
$$\bar{B}_2 = (Y_2 - Y_4)/2 \quad (۱۱)$$
$$\bar{C}_1 = (Y_1 - Y_4)/2 \quad (۱۲)$$
$$\bar{C}_2 = (Y_2 - Y_3)/2 \quad (۱۳)$$

گام سوم تعریف اثر عمده‌ی هر فاکتور روی Y_j است طبق روابط (۱۶-۱۴):

$$\Delta A = \bar{A}_2 - \bar{A}_1 \quad (۱٤)$$
$$\Delta B = \bar{B}_2 - \bar{B}_1 \quad (۱٥)$$
$$\Delta C = \bar{C}_2 - \bar{C}_1 \quad (۱٦)$$

اگر تاثیر عمده‌ی فاکتوری مثبت باشد، سطح دوم این فاکتور در آزمایش بهینه لحاظ می‌شود و اگر تاثیر عمده فاکتوری منفی باشد، سطح اول این فاکتور در آزمایش بهینه لحاظ می‌شود. میانگین و انحراف ازمعیار استاندارد طبق روبط (۱۷, ۱۸) است.$Nexp$ تعداد آزمایش‌ها است.

$$\bar{x_i} = \left(\sum_{j=1}^{Nexp} x_{ij}\right)/_{Nexp}, i = 1,2,3,..,Nexp \quad (۱۷)$$

$$s_i = \left[\sum_{j=1}^{Nexp} (x_{ij} - \bar{x_i})^2 /_{Nexp}\right]^{0.5} \quad (۱۸)$$

۳. آرایه های متعامد

آرایه‌های متعامد نقش اصلی در روش تاگوچی ایفا می‌کنند، در ۱۹۴۰ معرفی گردید. این آرایه‌ها در طراحی آزمایش‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند و مقادیر بهینه متغیرهای سیستم با استفاده از تعداد کمی آزمایش، می‌یابند. مجموعه S را مجموعه‌ای از اعداد متفاوت در نظر بگیرید. ماتریس A دارای N ردیف و K ستون حاوی عناصر مجموعه S است یک آرایه متعامد با S سطح و توان t نامیده می‌شود[۸و۹].

۱،۳. ویژگی آرایه های متعامد

جدول۱ نشان می‌دهد فقط ۸ آزمایش برای به دست آوردن سطوح بهینه متغیرها نیاز است، بر خلاف دقیق ترین روش بهینه سازی که بررسی کامل ۲۵۶=$۲^۸$ ترکیب ممکن بوده و عملی نیست، در علم آمار اثبات می‌شود اگرچه تعداد آزمایش‌ها، در روش تاگوچی به شدت کاهش می‌یابد ولی مقادیر بهینه به دست آمده از این روش، به مقادیر بهینه به دست آمده از آزمایش تمام ترکیب های ممکن بسیار نزدیک است.

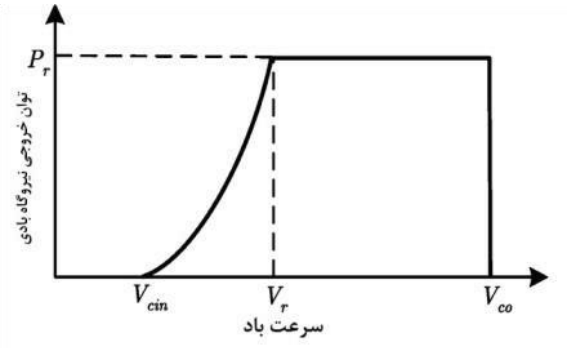
جدول ۱: آرایه متعامد

شماره آزمایش	ستون						
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۲	۱	۱	۱	۲	۲	۲	۲
۳	۱	۲	۲	۱	۱	۲	۲
۴	۱	۲	۲	۲	۲	۱	۱
۵	۲	۱	۲	۱	۲	۱	۲
۶	۲	۱	۲	۲	۱	۲	۱

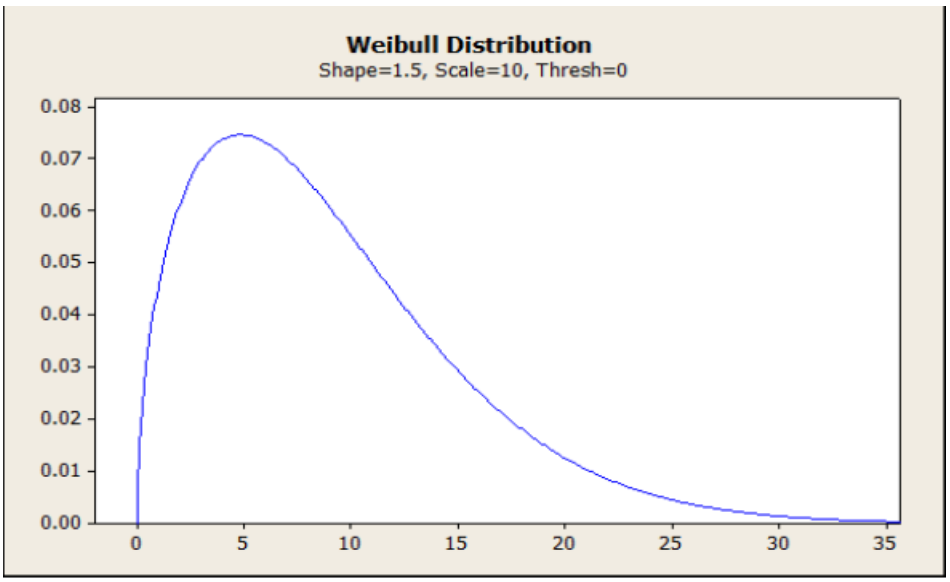
۷	۲	۲	۱	۱	۲	۲	۱
۸	۲	۲	۱	۲	۱	۱	۲

۴. مدل سازی نیروگاه بادی

رفتار تصادفی باد سبب شده است نیروگاه‌های بادی دارای مشخصه پیوسته باشند[۲]. نیروگاه بادی یکی از مهم‌ترین منابع عدم قطعیت در سیستم قدرت است. در مطالعات سیستم قدرت در حضور نیروگاه‌های بادی ابتدا می‌بایست توان خروجی آن مشخص شود . توان تولیدی نیروگاه بادی به سرعت باد و مشخصه توربین‌های بادی وابسته است. بنابراین ابتدا باید سرعت باد در منطقه مورد مطالعه و مدل توربین بادی مشخص شود. در یک توربین بادی توان اکتیو خروجی متأثر از سرعت باد بوده و یک رابطه غیرخطی بین این دو پارامتر وجود نام دارد[۱۰]، این مشخصه در شکل (۲) قابل مشاهده است. V_{ci}, V_r, V_{co} به ترتیب سرعت وصل، سرعت نامی و سرعت قطع بالا هستند.



شکل ۱: منحنی توان (مگاوات) – سرعت (متر برثانیه)



شکل ۲ توزیع ویبال

۱،۴. تابع PDF , CDF

تابع توزیع احتمال یا probability distribution function تابعی است که احتمال انکه متغیر تصادفی X برابر یا کوچکتر مساوی x شود را نشان می دهد.

تابع چگالی احتمال یا pdf تابعی است که احتمال انکه متغیر تصادفی X دقیقا برابر x شود را نشان می دهد. Pdf در واقع مشتق تابع توزیع احتمال می باشد. تابع توزیع احتمال را تابع توزیع تجمعی یا cumulative distribution function یا CDF نیز می نامند.

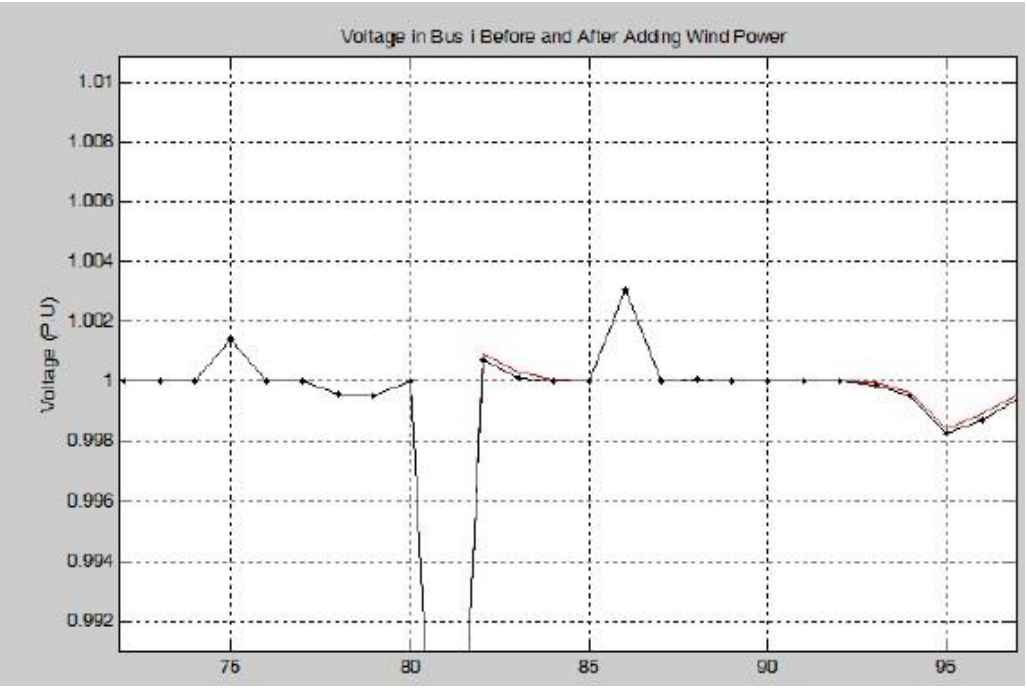
۲و۴. PDF های توان ورودی تزریق شده

توان تزریق شده جدا از توربین های بادی است که توسط انواع مختلف نیروگاه های بادی دیگر تولید شده است به منظور معرفی توان تولیدی در پخش بار احتمالی می توان از یک توزیع ناپیوسته استفاده کرد مطابق آنچه که در منابع آورده شده است در آن هر یک از توان های تزریق شده توسط یک سری اعداد ثابت محدود از خروجی های ممکن(m) به دست می ایند پس PDF توان تزریق شده بدون حضور توربین بادی توسط رابطه (۱۹) ارائه می شود که در آن X بیان گر توان تزریق شده و a_i بیانگر احتمال برابر بودن توان با c_i می باشد.

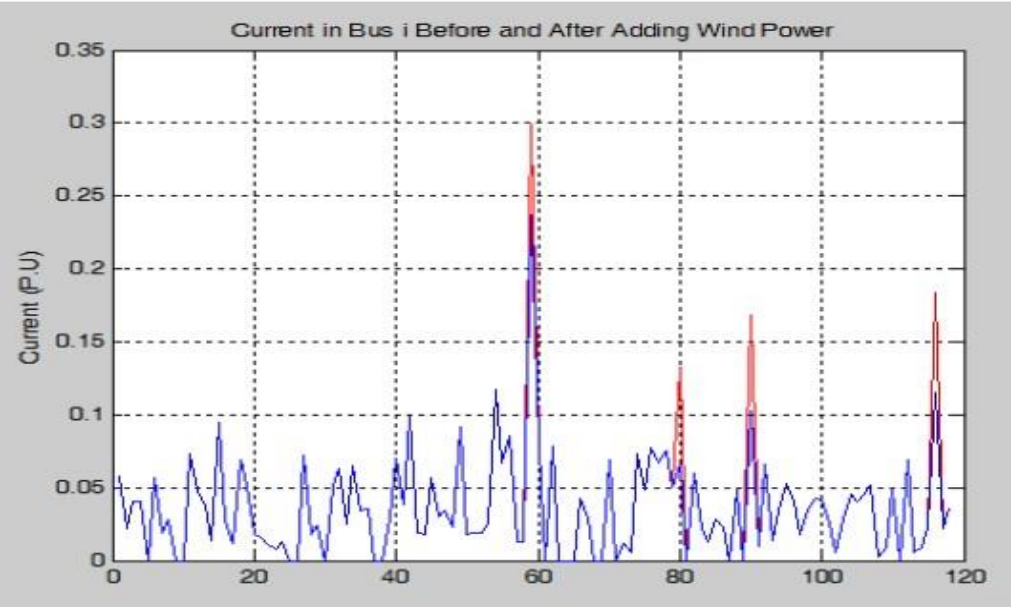
$$f(x) = \sum_{i=1}^{m} a_i \, \delta(x - c_i) \qquad (۱۹)$$

۵. مطالعه موردی شبکه ۱۱۸ شینه IEEE

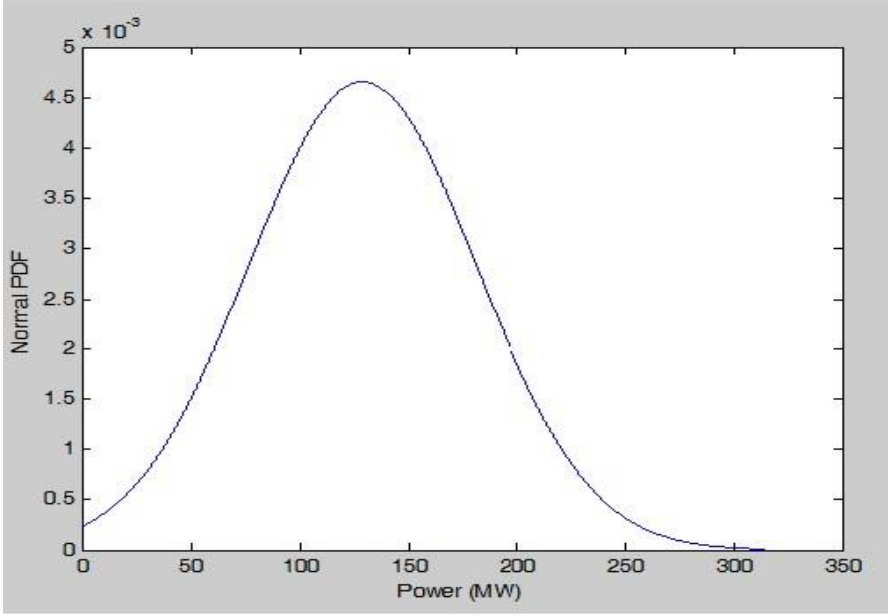
یکی از مواردی که روش های مختلف را به چالش می کشد بزرگ شدن ابعاد مسئله مورد مطالعه است.به همین منظور روش پیشنهادی برای سیستم ۱۱۸ شینه اعمال شده است. در شکل های ۳ تا ۵ مطالعات انجام شده بر روی سیستم ۱۱۸ شینه را نشان می دهند.



شکل ۳ ولتاژ باس ها قبل و بعد نصب DG



شکل ۴ جریان تزریق شده به باس ها قبل و بعد نصب DG ها



شکل ۵ تابع PDF برای توان چهار واحد بادی در باس های ۵۹ و ۸۰ و ۹۰ ۱۱۶

نکته قابل ذکر این است که دلیل نصب واحد های بادی در این باس ها توان بار زیاد بوده است به عبارت دیگر چون سیستم ۱۱۸ باسه دارای ابعاد بسیار بزرگی است اضافه نمودن واحد های تولیدی پراکنده مشکلی در تزریق جریان در باس ها به وجود نمی آورد اما پروفیل ولتاژ بهبود می یابد.

۶. نتیجه گیری

از آنجایی که توان خروجی منابع تجدید پذیر مانند توربین بادی و سلول خورشیدی به عوامل طبیعی چون سرعت وزش باد و میزان تابش خورشید بستگی داشت، مساله پخش بار دارای عدم قطعیت بوده و با روش های معمول قابل حل نیست.در مسآله پخش بار بهینه برای بررسی پروفیل ولتاژ، جریان خطوط و عدم قطعیت ها با حل تصادفی و آمار و احتمالی که همراه با تخصیص توابع چگالی احتمال مناسب به عوامل عدم قطعیت می باشد قابل مدل سازی است.شبیه سازی های مساله برای یک سیستم نمونه نسبتا بزرگ حاکی از آنست که واحدهای بادی با توان های کم و متوسط به کل قدرت سیستم تاثیر چندانی روی پروفیل ولتاژ نخواهد داشت.

منابع

[1] B. Borkowska, “Probabilistic load flow,” IEEE Trans. Power App. Syst., vol. PAS-93, no. 3, pp. 752–755, May–Jun. 1974.
[2] R. N. Allan, B. Borkowska, and C. H. Grigg, “Probabilistic analysis of power flows,” Proc. Inst. Elect. Eng. (London), vol. 121, no. 12, pp. 1551–1556, Dec. 1974.
[3] R. N. Allan, C. H. Grigg, and M. R. G. Al-Shakarchi, “Numerical techniques in probabilistic load flow problems,” Int. J. Numer. Meth. Eng., vol. 10, pp. 853–860, Mar. 1976.
[4] N. D. Hatziargyriou, T. S. Karakatsanis, and M. Papadopoulos, “Probabilistic load flow in distribution systems containing dispersed wind power generation,” IEEE Trans. Power Syst., vol. 8, no. 1, pp. 159–165, Feb. 1993.
[5] P. Caramia, G. Carpinelli, M. Pagano, and P. Varilone, “Probabilistic three-phase load flow for unbalanced electrical distribution systems with WFs,” IET Renew. Power Gen., vol. 1, no. 2, pp. 115–122, Jun. 2007.
[6] M. Abdelaziz, “GPU-OpenCL accelerated probabilistic power flow analysis using Monte-Carlo simulation”, Electric Power Systems Research, Volume 147, June 2017, Pages 70-72
[7] W. Wu, K. Wang, G. Li, “A multivariate dimension-reduction method for probabilistic power flow calculation”, Electric Power Systems Research, Volume 141, December 2016, Pages 272-280.
[8] X. Fu, H. Sun, Q. Guo, “Probabilistic power flow analysis considering the dependence between power and heat”, Applied Energy, Volume 191, 1 April 2017, Pages 582-592.
[9] L. L. Freris, Wind Energy Conversion Systems. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1990.
[10] IEC 61400-1: Wind Turbine Generator Systems. Part 1: Safety Requirements, IEC Standards, 1994
[11] H. Pham, Handbook of Engineering Statistics. New York: Springer, 2006.