

Клиентоориентированные индексы и оценка надежности сложноразветвленной системы распределения электроэнергии¹

Customer Orientated Indices and Reliability Evaluation of Meshed Power Distribution System

Адितья Тивари
Aditya Tiwary

Кафедра противопожарной техники и безопасности, Академия IPS, Институт технических и естественных наук, Раджендра Нагар, Индаур (штат Мадхья-Прадеш), Индия
Dept. of Fire Technology & Safety Engineering, IPS Academy, Institute of Engineering and science, Rajendra Nagar, Indore (M.P), India
raditya2002@gmail.com



Адитья Тивари

Резюме. Цель. Оценка надежности системы, компонента или элемента очень важна в контексте прогнозирования ее готовности и других важных показателей. Надежность – это параметр, который является свидетельством готовности системы при надлежащих условиях эксплуатации в течение заданного периода времени. Исследование различных показателей надежности очень важно, учитывая сложную и неопределенную природу энергосистемы. В настоящей работе представлена оценка надежности сложноразветвленной распределительной системы. В работе также проводится оценка основных показателей, включая среднюю интенсивность отказов, среднее время отказа и среднее время отказа в год. Наряду с основными показателями оцениваются также такие клиентоориентированные показатели системы распределения электроэнергии, как индекс средней частоты прерываний энергоснабжения, индекс средней длительности прерываний энергоснабжения и индекс средней длительности прерывания энергоснабжения потребителя. В качестве примера системы распределения электроэнергии взята сложноразветвленная распределительная система.

Abstract. Aim. Reliability evaluation of a system or component or element is very important in order to predict its availability and other relevant indices. Reliability is the parameter which tells about the availability of the system under proper working conditions for a given period of time. The study of different reliability indices are very important considering the complex and uncertain nature of the power system. In this paper reliability evaluation of the meshed distribution system is presented. This paper also evaluates basic indices such as average failure rate, average outage time and average annual outage time. Along with basic indices, customer orientated indices such as system average interruption frequency index, system average interruption duration index and customer average interruption duration index of an electrical power distribution system is also evaluated. The electrical power distribution system taken for study is meshed distribution system in nature.

Ключевые слова: надежность; готовность; сложноразветвленная распределительная система; индекс средней частоты прерываний энергоснабжения; индекс средней длительности прерываний энергоснабжения системы.

Keywords: reliability; availability; meshed distribution system; average interruption frequency index; system average interruption duration index.

Для цитирования: Адитья Тивари. Клиентоориентированные индексы и оценка надежности сложноразветвленной системы распределения электроэнергии // Надежность. 2023. №4. С. 8-14. <https://doi.org/10.21683/1729-2646-2023-23-4-8-14>

For citation: Aditya Tiwary. Customer Orientated Indices and Reliability Evaluation of Meshed Power Distribution System. Dependability 2023;4:8-14. <https://doi.org/10.21683/1729-2646-2023-23-4-8-14>

Поступила: 27.02.2023 / **После доработки:** 03.10.2023 / **К печати:** 20.11.2023

Received on: 27.02.2023 / **Upon revision:** 03.10.2023 / **For printing:** 20.11.2023

¹ Оригинальная статья опубликована: Aditya Tiwary. "Customer Orientated Indices and Reliability Evaluation of Meshed Power Distribution System" Reliability: Theory & Applications, vol. 15, no. 1, 2020, pp. 10-19. doi:10.24411/1932-2321-2020-11001

1. Введение

Оценка надежности системы, компонента или элемента очень важна в контексте прогнозирования ее готовности и других важных показателей. Надежность – это параметр, который является свидетельством готовности системы при надлежащих условиях эксплуатации в течение заданного периода времени. Сингхом и др. [1] предложен составной марковский подход на основе сечений к оценке надежности систем передачи и распределения, подверженных зависимым отказам. Биллинтоном и др. [2] определены показатели надежности в любой точке составной системы с помощью подхода на основе условной вероятности. Войчинским и др. [3] рассмотрены имитационные исследования распределительных систем, в которых изучается влияние распределений продолжительности прерывания и формы кривых стоимости на оценки стоимости прерывания. Вермой и др. [4] предложены новые показатели, отражающие интеграцию вероятностных моделей и нечетких понятий.

Чжэн и др. [5] разработали однокомпонентную модель и вывели выражение для готовности компонента с учетом допустимого времени ремонта. Джирутитижарун и Сингх [6] представили и проанализировали распределения показателей надежности, полученные с помощью двух методов выборки, а также с помощью метода Монте-Карло. Дзобо и др. [7] исследовали использование функции распределения вероятностей в анализе ценности надежности электроэнергетической системы. Пэ и Ким [8] представили аналитическую методику оценки надежности потребителей в микросети, включающей сети с распределенной генерацией. Биллинтон и Ван [9] предложили подход к оценке надежности распределительной системы на основе эквивалента сети надежности.

Оценка индексов надежности с учетом отсутствия произвольного времени восстановления для распределительных систем при помощи моделирования по методу Монте-Карло предложена в [10]. Тивари и др. [11] предложили определение оптимального периода между проверками для распределительной системы на основе готовности с учетом неопределенности времени проверки и времени восстановления. Джирутитижарун и др. [12] разработали сравнение методов моделирования показателей надежности энергосистемы и их распределение. Тивари и др. [13] предложили определение показателей надежности для распределительной системы с использованием метода выборки переходов состояний с учетом случайного отсутствия времени простоя. Тивари и др. [14] предложили методику оптимизации эксплуатационной готовности распределительных систем на основе инспекционного ремонта с использованием оптимизации на основе обучения. В работе [15] предложен метод на основе бутстрэппинга для оценки показателей надежности распределительной системы типа RBTS, не принимающий во внимание произвольное время простоя.

Волканавский и др. [16] предложили способ применения анализа дерева отказов для оценки надежности энергосистемы. Ли и др. [17] изучили влияние применения изолированных воздушных проводов на надежность и безопасность распределения. В работе Тивари и др. [18] получен способ повышения надежности распределительной системы с помощью оптимизации на основе обучения с учетом показателей, относящихся к потребителям и энергии. В работе Тивари и др. [19] получен самоприспосабливающийся многопопуляционный метод оптимизации резерва реактивной мощности на основе алгоритма Джая с учетом ограничений по пределу стабильности напряжения. Авторами [20] разработана эффективная методика на основе бутстрэппинга по оценке показателей надежности распределительной системы, пренебрегающая случайной продолжительностью перерывов. В работе [21] проведено обсуждение влияния изолированных воздушных проводов на надежность и безопасность распределения. Сарантакос и др. [22] представили метод учета состояния компонентов и надежности подстанции при реконфигурации распределительной системы. Батту и др. [23] обсудили метод планирования распределительной системы с учетом надежности с использованием моделирования по методу Монте-Карло. Тивари и др. [24] обсудили методику оценки надежности радиальной системы распределения электроэнергии. Успенский и др. [25] разработали метод оценки надежности цифровой системы релейной защиты. Шарма и др. [26] провели анализ надежности двух идентичных моделей систем с защитными и опасными отказами, переключающим устройством и перезагрузкой.

2. Оценка надежности системы распределения электроэнергии

С физической точки зрения конфигурация системы будет представлять собой последовательную сеть надежности. При этом система выходит из строя даже при отказе одного компонента, и сохраняет работоспособность, если все компоненты сохраняют работоспособность.

Система имеет постоянную интенсивность отказов, поэтому надежность системы с постоянной интенсивностью отказов оценивается с помощью следующего соотношения.

$$R(t) = \exp(-\lambda t), \quad (1)$$

где $R(t)$ – надежность каждой распределительной секции, λ – интенсивность отказов, 1/год, а t – период времени, который принимается равным одному году.

Если принять надежность каждого компонента как R_1, R_2, \dots, R_n , то надежность последовательной системы (R_s) определяется как

$$R_s = \prod_{i=1}^n R_i, \quad (2)$$

где R_i – надежность i -го компонента, $i = 1 \dots n$.

Конфигурация системы будет представлять собой параллельную сеть надежности, при которой система отказывает, если отказывают все компоненты. Система выполняет свою функцию, даже если работает лишь один компонент.

Надежность параллельной системы (R_p) задается как

$$R_p = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i), \quad (3)$$

где R_i – надежность i -го компонента, $i = 1 \dots n$.

3. Оценка основных показателей надежности последовательной и параллельной систем

При проведении исследований надежности используются три основных параметра надежности: средняя интенсивность отказов, среднее время отказа и среднее (на один компонент) время отказа в год, которые далее рассматриваются применительно к последовательной системе:

$$\lambda_s = \sum_{i=1}^n \lambda_i, \quad (4)$$

$$U_s = \sum_{i=1}^n (\lambda_i r_i), \quad (5)$$

$$r_s = \frac{\sum_{i=1}^n (\lambda_i r_i)}{\sum_{i=1}^n (\lambda_i)}, \quad (6)$$

где λ_i – интенсивность отказов i -го компонента, 1/ч, r_i – среднее время восстановления i -го компонента, ч.

Для параллельной системы три основных показателя надежности могут быть оценены следующим образом¹:

$$\lambda_p = \frac{\lambda_1 \lambda_2 (r_1 + r_2)}{8760}, \quad (7)$$

$$r_p = \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2}, \quad (8)$$

$$U_p = \lambda_p r_p, \quad (9)$$

где λ_1, λ_2 – частота отказов в год первого и второго элементов системы соответственно; r_1, r_2 – среднее время восстановления в часах первого и второго элементов системы соответственно.

4. Оценка клиентоориентированных показателей

Клиентоориентированные показатели, связанные с исследованием надежности – это индекс средней ча-

¹ Примечание переводчика: в случае размерности λ 1/ч в формуле (7) знаменатель принимается равным 1.

стоты прерываний энергоснабжения, индекс средней длительности прерываний энергоснабжения и индекс средней длительности прерывания энергоснабжения потребителя, которые рассмотрены ниже.

Индекс средней частоты прерываний энергоснабжения (System average interruption frequency index, SAIFI)

$$SAIFI = \frac{\text{общее число прерываний энергоснабжения потребителя}}{\text{общее число обслуживаемых потребителей}} \quad (10)$$

Индекс средней длительности прерываний энергоснабжения (System average interruption duration index, SAIDI)

$$SAIDI = \frac{\text{сумма продолжительностей прерывания энергоснабжения потребителя}}{\text{общее число потребителей}}. \quad (11)$$

Индекс средней длительности прерывания энергоснабжения потребителя (Customer average interruption duration index, CAIDI)

$$CAIDI = \frac{\text{сумма продолжительностей прерывания энергоснабжения потребителя}}{\text{общее число прерываний энергоснабжения потребителя}}. \quad (12)$$

5. Результаты и обсуждение

Сложнозамкнутая распределительная система состоит из 18 распределительных сегментов и 4 точек нагрузки от LP-1 до LP-4 (рис. 1) [10].

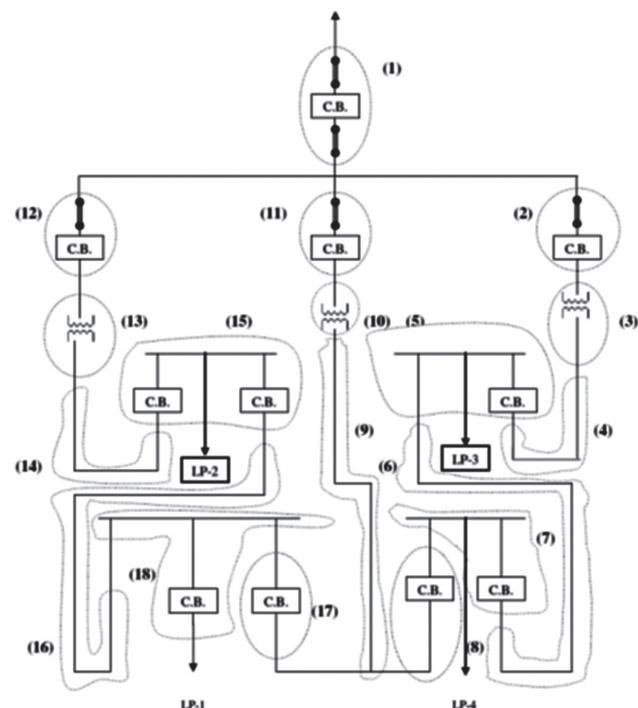


Рис. 1. Образец сложнозамкнутой распределительной системы

В табл. 1 [10] приведены исходные данные для сложноразветвленной распределительной системы. В табл. 1 приведена частота отказов в год и времени восстановления в часах для каждой распределительной секции от 1 до 18

Табл. 1. Системные данные для образца сложноразветвленной распределительной системы [10]

Распределительная секция, i	λ_i^0 , отказов в год	Среднее время восстановления, r_{i2}^0 , ч
#1	0,310400	10,280412
#2	0,127600	5,010658
#3	0,070000	33,985714
#4	0,013520	14,335503
#5	0,084600	10,557447
#6	0,017640	13,555102
#7	0,008460	10,557447
#8	0,078000	11,023077
#9	0,008460	15,800000
#10	0,069000	27,565217
#11	0,155200	6,865979
#12	0,155200	6,865979
#13	0,070000	33,985714
#14	0,013520	14,335503
#15	0,156600	10,714943
#16	0,017640	13,555100
#17	0,078000	11,023077
#18	0,084600	10,557447

Табл. 2. Исходные данные для точек нагрузки

Точка нагрузки	1	2	3	4
Число клиентов	1000	800	600	700

Табл. 3. Оценка надежности на каждом распределительном участке

Распределительный участок	Надежность
1	0,7331
2	0,8802
3	0,9324
4	0,9866
5	0,9189
6	0,9825
7	0,9916
8	0,9250
9	0,9916
10	0,9333
11	0,8562
12	0,8562
13	0,9324
14	0,9866
15	0,8550
16	0,9825
17	0,9250
18	0,9189

сложноразветвленной распределительной системы. В табл. 2 приведены числа потребителей в каждой точке нагрузки с LP-1 по LP-4.

Оценка надежности по каждой распределительной секции представлена в табл. 3. Надежность по каждой распределительной секции оценивается с помощью уравнения (1). На рис. 2 показана величина надежности для различных распределительных секций. В табл. 4 приведено расчетное значение надежности в каждой точке нагрузки сложноразветвленной распределительной системы. Надежность в каждой точке нагрузки получена с помощью уравнений (2) и (3). На рис. 3 показана величина надежности в различных точках нагрузки распределительной системы.

Основные показатели надежности в каждой точке нагрузки, т.е. средняя интенсивность отказов, среднее время отказа и среднее время отказа в год, оценены и приведены в табл. 5. На рис. 4 показана величина средней интенсивности отказов в различных точках нагрузки

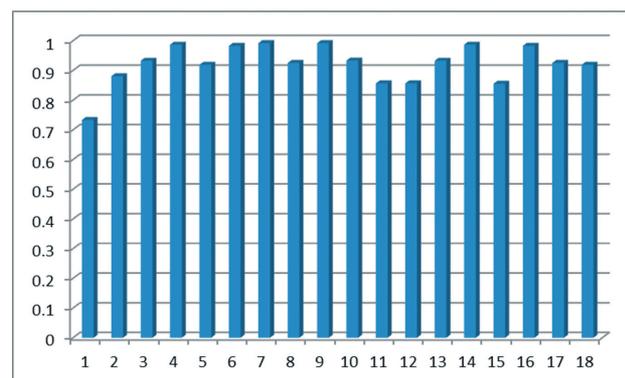


Рис. 2. Величина надежности для распределительных секций с 1 по 18.

Табл. 4. Оценка надежности в каждой точке нагрузки

Точка нагрузки	Надежность
1	0,6421
2	0,5973
3	0,6504
4	0,6958

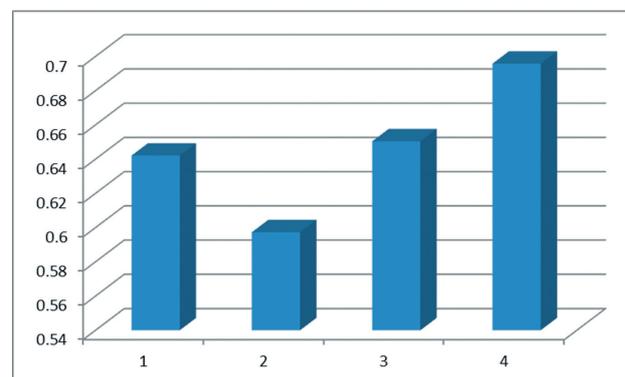


Рис. 3. Величина надежности в различных точках нагрузки с 1 по 4

Табл. 5. Оцененные основные показатели надежности в каждой точке нагрузки

Точка нагрузки	1	2	3	4
Средняя интенсивность отказов	0,3951	0,4671	0,3951	0,3189
Средняя длительность отказа	10,3384	10,4247	10,3381	10,2875
Средняя длительность отказов за год	4,0847	4,8697	4,0846	3,2807

распределительной системы. На рис. 5 и 6 показаны величины среднего времени отказа и среднего времени отказа в год в различных точках нагрузки сложноразветвленной распределительной системы.

Получены следующие значения клиентоориентированных показателей сложноразветвленной распределитель-

ной системы: индекс средней частоты прерываний энергоснабжения (System average interruption frequency index, SAIFI) – 0,3965, индекс средней длительности прерываний энергоснабжения (System average interruption duration index, SAIDI) – 4,1057 и индекс средней длительности прерывания энергоснабжения потребителя (Customer average interruption duration index, CAIDI) – 10,3556.

6. Заключение

Оценка надежности системы распределения электроэнергии крайне важна. В настоящей работе рассматривается сложноразветвленная распределительная система. Расчету подлежит надежность каждой распределительной секции. Также определяется надежность каждой точки нагрузки сложноразветвленной распределительной системы. Для рассматриваемых точек нагрузки получены три основных параметра надежности: средняя интенсивность отказов, среднее время отказа и среднее время отказа в год. Также оцениваются такие важные клиентоориентированные показатели сложноразветвленной распределительной системы, как индекс средней частоты прерываний энергоснабжения, индекс средней длительности прерываний энергоснабжения и индекс средней длительности прерывания энергоснабжения потребителя.

Библиографический список

1. Singh C. Markov cut-set approach for the reliability evaluation of transmission and distribution systems // IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems. 1981. Vol. 100. Pp. 2719-2725.
2. Billinton R. Composite system reliability evaluation // IEEE Trans. On Power Apparatus and Systems. 1969. Vol. 88. Pp. 276-281.
3. Wojczynski E., Billinton R. Effects of distribution system reliability index distributions upon interruption cost/reliability worth estimates // IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, 11:3229-3235.
4. Verma A.K., Srividya A., Kumar H.M.R. A framework using uncertainties in the composite power system reliability evaluation // Electric Power Components and Systems. 2002. Vol. 30. Pp. 679-691.
5. Zheng Z., Cui L., Hawkes A.G. A study on a single-unit Markov repairable system with repair time omission // IEEE Trans. on Reliability. 2006. Vol. 55. Pp. 182-188.
6. Jirutitijaroen P., Singh C. Comparison of simulation methods for power system reliability indexes and their distributions // IEEE Trans. on Power Systems. 2008. Vol. 23. Pp. 486-493.

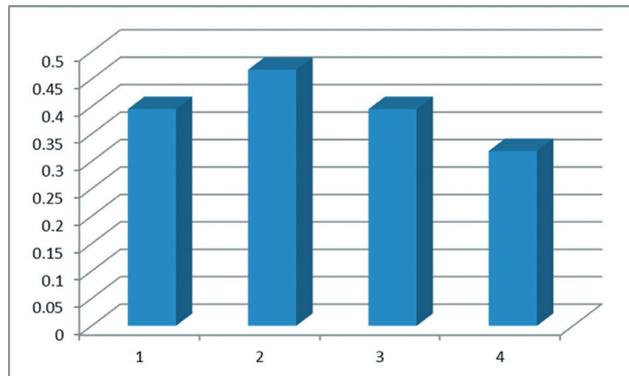


Рис. 4. Величина средней интенсивности отказов в различных точках нагрузки от 1 до 4

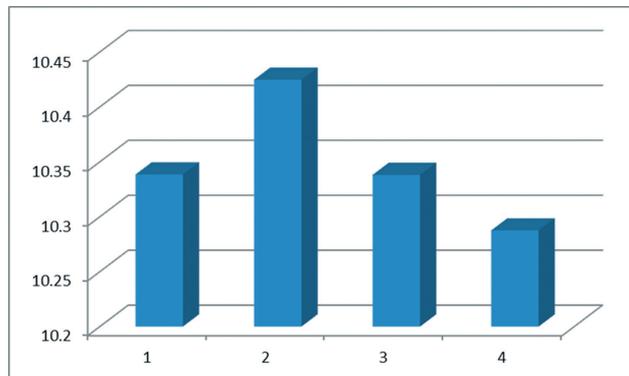


Рис. 5. Величина среднего времени отказа в различных точках нагрузки с 1 по 4

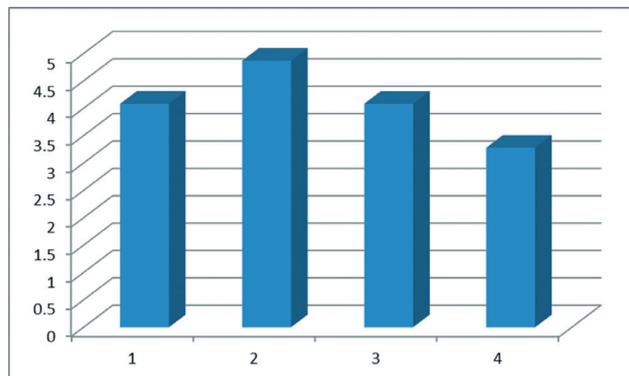


Рис. 6. Величина среднего времени отказов в год в различных точках нагрузки с 1 по 4

7. Dzobe O., Gaunt C.T., Herman R. Investigating the use of probability distribution functions in reliability-worth analysis of electric power systems // *Int. J. of Electrical Power and Energy Systems*. 2012. Vol. 37. Pp. 110-116.

8. Bae I.S., Kim J.O. Reliability evaluation of customers in a microgrid // *IEEE Trans. on Power Systems*. 2008. Vol. 23. Pp. 1416-1422.

9. Billinton R., Wang P. Reliability-network-equivalent approach to distribution-system-reliability evaluation. *IEE Proc. generation, transmission and distribution*. 1998. Vol. 145. Pp. 149-153.

10. Arya L.D., Choube S.C., Arya R. et al. Evaluation of Reliability indices accounting omission of random repair time for distribution systems using Monte Carlo simulation // *Int. J. of Electrical Power and Energy System (ELSEVIER)*. 2012. Vol. 42. Pp. 533-541.

11. Tiwary A., Arya R., Choube S.C. et al. Determination of Optimum period between Inspections for Distribution system based on Availability Accounting Uncertainties in Inspection Time and Repair Time // *Journal of The Institution of Engineers (India): series B (Springer)*. 2012. Vol. 93. Pp. 67-72.

12. Jirutitijaroen P., Singh C. Comparison of simulation methods for power system reliability indexes and their distribution // *IEEE Trans. Power Syst.* 2008. Vol. 23. Pp. 486-492.

13. Tiwary A., Arya R., Choube S.C. et al. Determination of reliability indices for distribution system using a state transition sampling technique accounting random down time omission // *Journal of The Institution of Engineers (India): series B (Springer)*. 2013. Vol. 94. Pp. 71-83.

14. Tiwary A., Arya L.D., Arya R. et al. Inspection repair based availability optimization of distribution systems using Teaching Learning based Optimization // *Journal of The Institution of Engineers (India): series B (Springer)*. 2016. Vol. 97. Pp. 355-365.

15. Tiwary A., Arya R., Arya L.D. et al. Bootstrapping based technique for evaluating reliability indices of RBTS distribution system neglecting random down time // *The IUP Journal of Electrical and Electronics Engineering*. 2017. Vol. X. Pp. 48-57.

16. Volkanavski A., Cepin M., Mavko B. Application of fault tree analysis for assessment of the power system reliability // *Reliab. Eng. Syst. Safety*. 2009. Vol. 94. Pp. 1116-1127.

17. Li B.M., Su C.T., Shen C.L. The impact of covered overhead conductors on distribution reliability and safety // *Int. J. Electr. Power. Energy Syst.* 2010. Vol. 32. Pp. 281-289.

18. Tiwary A. Reliability enhancement of distribution system using Teaching Learning based optimization considering customer and energy based indices // *International Journal on Future Revolution in Computer Science & Communication Engineering*. 2017. Vol. 3. Pp. 58-62.

19. Tiwary A. Self-Adaptive Multi-Population Jaya Algorithm based Reactive Power Reserve Optimization

Considering Voltage Stability Margin Constraints // *International Journal on Future Revolution in Computer Science & Communication Engineering*. 2018. Vol. 4. Pp. 341-345.

20. Arya R., Tiwary A., Choube S.C. et al. A smooth bootstrapping based technique for evaluating distribution system reliability indices neglecting random interruption duration // *Int. J. of Electrical Power and Energy System (ELSEVIER)*. 2013. Vol. 51. Pp. 307-310.

21. BinLi M., TzongSu C., LungShen C. The impact of covered overhead conductors on distribution reliability and safety. *Int. J. of Electrical Power and Energy System (ELSEVIER)*. 2010. Vol. 32. Pp. 281-289.

22. Sarantakos I., Greenwood D.M., Yi J. et al. A method to include component condition and substation reliability into distribution system reconfiguration // *Int. J. of Electrical Power and Energy System (ELSEVIER)*. 2019. Vol. 109. Pp. 122-138.

23. Battu N.R., Abhyankar A.R., Senroy N. Reliability Compliant Distribution System Planning Using Monte Carlo Simulation // *Electric power components and systems*. 2019. Vol. 47. Pp. 985-997.

24. Tiwary A. Reliability evaluation of radial distribution system – A case study // *Int. J. of Reliability: Theory and Applications*. 2019. Vol. 14. No. 4(55). Pp. 9-13.

25. Uspensky M. Reliability assessment of the digital relay protection system // *Int. J. of Reliability: Theory and Applications*. 2019. Vol. 14. No. 3. Pp. 10-17.

26. Sharma A., Kumar P. Analysis of reliability measures of two identical unit system with on switching device and imperfect coverage. *Int. J. of Reliability: Theory and Applications*. 2019. Vol. 14. Pp. 44-52.

References

1. Singh C. Markov cut-set approach for the reliability evaluation of transmission and distribution systems. *IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems* 1981;100:2719-2725.

2. Billinton R. Composite system reliability evaluation. *IEEE Trans. On Power Apparatus and Systems* 1969;88:276-281.

3. Wojczynski E., Billinton R. Effects of distribution system reliability index distributions upon interruption cost/reliability worth estimates. *IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems* 1985;11:3229-3235.

4. Verma A.K., Srividya A., Kumar H.M.R. A framework using uncertainties in the composite power system reliability evaluation. *Electric Power Components and Systems* 2002;30:679-691.

5. Zheng Z., Cui L., Hawkes A.G. A study on a single-unit Markov repairable system with repair time omission. *IEEE Trans. on Reliability* 2006;55:182-188.

6. Jirutitijaroen P., Singh C. Comparison of simulation methods for power system reliability indexes and their distributions. *IEEE Trans. on Power Systems* 2008;23:486-493.

7. Dzobe O., Gaunt C.T., Herman R. Investigating the use of probability distribution functions in reliability-worth analysis of electric power systems. *Int. J. of Electrical Power and Energy Systems* 2012;37:110-116.
8. Bae I.S., Kim J.O. Reliability evaluation of customers in a microgrid. *IEEE Trans. on Power Systems* 2008;23:1416-1422.
9. Billinton R., Wang P. Reliability-network-equivalent approach to distribution-system-reliability evaluation. *IEE Proc. generation, transmission and distribution* 1998;145:149-153.
10. Arya L.D., Choube S.C., Arya R. et al. Evaluation of Reliability indices accounting omission of random repair time for distribution systems using Monte Carlo simulation. *Int. J. of Electrical Power and Energy System (ELSEVIER)* 2012;42:533-541.
11. Tiwary A., Arya R., Choube S.C. et al. Determination of Optimum period between Inspections for Distribution system based on Availability Accounting Uncertainties in Inspection Time and Repair Time. *Journal of The Institution of Engineers (India): series B (Springer)* 2012;93:67-72.
12. Jirutitjaroen P., Singh C. Comparison of simulation methods for power system reliability indexes and their distribution. *IEEE Trans. Power Syst.* 2008;23:486-92.
13. Tiwary A., Arya R., Choube S.C. et al. Determination of reliability indices for distribution system using a state transition sampling technique accounting random down time omission. *Journal of The Institution of Engineers (India): series B (Springer)* 2013;94:71-83.
14. Tiwary A., Arya L.D., Arya R. et al. Inspection repair based availability optimization of distribution systems using Teaching Learning based Optimization. *Journal of The Institution of Engineers (India): series B (Springer)* 2016;97:355-365.
15. Tiwary A., Arya R., Arya L.D. et al. Bootstrapping based technique for evaluating reliability indices of RBTS distribution system neglecting random down time. *The IUP Journal of Electrical and Electronics Engineering* 2017;X:48-57.
16. Volkanavski A., Cepin M., Mavko B. Application of fault tree analysis for assessment of the power system reliability. *Reliab. Eng. Syst. Safety* 2009;94:1116-1127.
17. Li B.M., Su C.T., Shen C.L. The impact of covered overhead conductors on distribution reliability and safety. *Int. J. Electr. Power. Energy Syst.* 2010;32:281-289.
18. Tiwary A. Reliability enhancement of distribution system using Teaching Learning based optimization considering customer and energy based indices. *International Journal on Future Revolution in Computer Science & Communication Engineering* 2017;3:58-62.
19. Tiwary A. Self-Adaptive Multi-Population Jaya Algorithm based Reactive Power Reserve Optimization Considering Voltage Stability Margin Constraints. *International Journal on Future Revolution in Computer Science & Communication Engineering* 2018;4:341-345.
20. Arya R., Tiwary A., Choube S.C. et al. A smooth bootstrapping based technique for evaluating distribution system reliability indices neglecting random interruption duration. *Int. J. of Electrical Power and Energy System (ELSEVIER)* 2013;51:307-310.
21. BinLi M., TzongSu C., LungShen C. The impact of covered overhead conductors on distribution reliability and safety. *Int. J. of Electrical Power and Energy System (ELSEVIER)* 2010;32:281-289.
22. Sarantakos I., Greenwood D.M., Yi J. et al. A method to include component condition and substation reliability into distribution system reconfiguration. *Int. J. of Electrical Power and Energy System (ELSEVIER)* 2019;109:122-138.
23. Battu N.R., Abhyankar A.R., Senroy N. Reliability Compliant Distribution System Planning Using Monte Carlo Simulation. *Electric power components and systems* 2019;47:985-997.
24. Tiwary A. Reliability evaluation of radial distribution system – A case study. *Int. J. of Reliability: Theory and Applications* 2019;14;4(55):9-13.
25. Uspensky M. Reliability assessment of the digital relay protection system. *Int. J. of Reliability: Theory and Applications* 2019;14(3):10-17.
26. Sharma A., Kumar P. Analysis of reliability measures of two identical unit system with on switching device and imperfect coverage. *Int. J. of Reliability: Theory and Applications* 2019;14:44-52.

Сведения об авторе

Адितья Тивари – доктор философии (PhD), доцент (Associate Professor) кафедры противопожарной техники и безопасности, Академия IPS, Институт технических и естественных наук, Раджендра Нагар, Индаур (штат Мадхья-Прадеш), Индия, e-mail: raditya2002@gmail.com

About the author

Aditya Tiwary, PhD, Associate Professor, Dept. of Fire Technology & Safety Engineering, IPS Academy, Institute of Engineering and science, Rajendra Nagar, Indore (M.P), India, e-mail: raditya2002@gmail.com

Вклад автора в статью

Адитья Тивари выполнил обзор библиографических источников, постановку задачи, анализ исходных данных и оценку основных показателей надежности сложноразветвленной системы распределения электроэнергии, включая клиентоориентированные показатели системы электроснабжения.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.