

М. Й. Бурбело
 О. М. Кравець
 Ю. В. Лобода
 Р. О. Слободян

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ ЗА ВИПАДКОВОГО ХАРАКТЕРУ НАВАНТАЖЕННЯ

Вінницький національний технічний університет

Наведені результати моделювання процесу компенсації реактивної потужності в розподільних електричних мережах, які оснащені пристроями плавного регулювання реактивної потужності, за випадкового характеру навантаження. Розглянуто режим компенсації реактивної потужності за критерієм мінімуму втрат активної потужності.

Ключові слова: електрична мережа, оптимізація перетоків реактивної потужності, втрати активної потужності.

Вступ

В електричних мережах останнім часом застосовують електронні пристрої плавного регулювання реактивної потужності D-STATCOM [1-8], Soft Open Point (SOP) [8-17]. Однак методи керування такими пристроями вивчені недостатньо.

В [18] розглянуто алгоритми керування, а в [19] проаналізовано можливість керування джерелами реактивної потужності (ДРП) в однорідних та неоднорідних мережах. У випадку однорідної електричної мережі оптимальне за критерієм мінімуму втрат активної потужності значення реактивної потужності, яка має генеруватися ДРП у вузлі k , можна визначити за формулою:

$$Q_{k0} \approx \text{Im} \left(\frac{U_{\Delta k} U_{\text{ном}}}{Z_{kk}} \right) \quad (1)$$

де $U_{\Delta k}$ – комплексна напруга вузла k електричної мережі відносно балансувального вузла; Z_{kk} – власний вузловий комплексний опір вузла k електричної мережі; $U_{\text{ном}}$ – номінальна напруга мережі.

Метою роботи є моделювання оптимізації потоків реактивної потужності за випадкового характеру навантажень розподільної мережі з використанням формули (1).

Результати дослідження

Для моделювання ДРП за реактивною потужністю розглянемо лінію електропередачі з чотирма ділянками (рис. 1). Ділянки виконані проводом АС 50 (перша і друга) і АС 35 (третя і четверта). Довжина кожної ділянки 2 км. ДРП встановлено у вузлі навантаження 4.

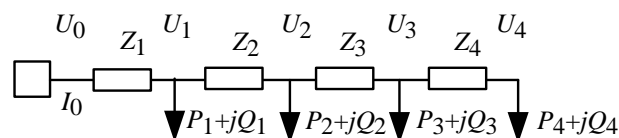


Рис. 1. Схема заміщення лінії електропередачі

Для моделювання повної потужності використано нормальний розподіл випадкових незалежних величин, а для моделювання коефіцієнта потужності – рівномірний розподіл випадкових незалежних величин в діапазоні 0,5...0,95. Функції розподілу реактивної потужності у вузлах навантаження подано на рис. 2.

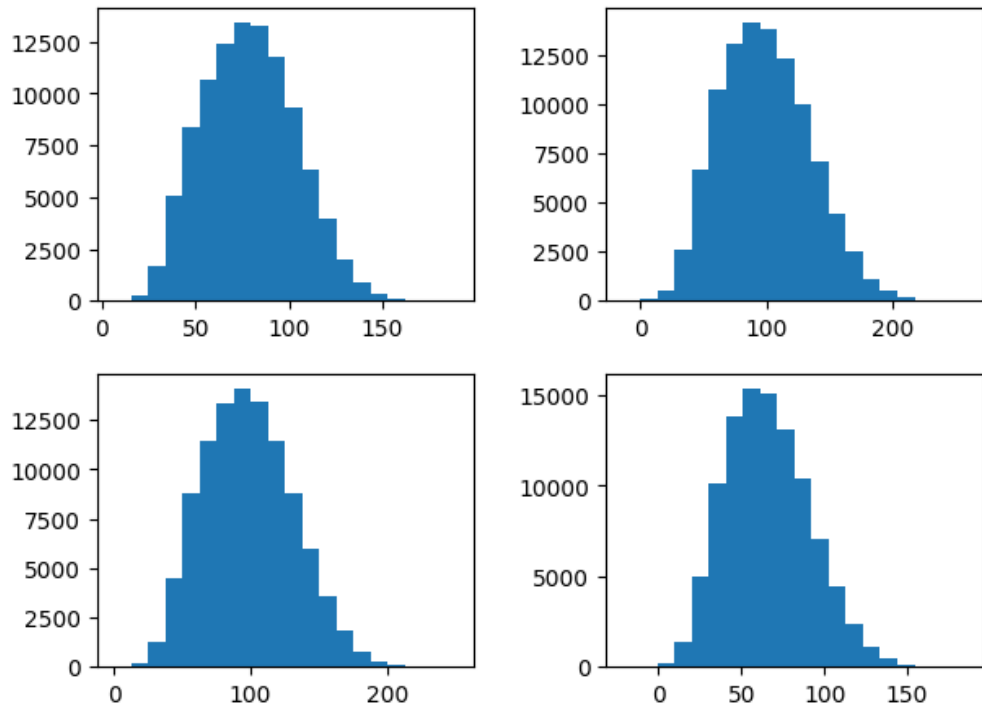


Рис. 2. Функції розподілу реактивної потужності у вузлах навантаження

Функція розподілу реактивної потужності ДРП, що забезпечують мінімальне значення втрат активної потужності в лінії електропередачі, значення яких визначені за формулою (1), показано на рис. 3. Максимальне значення реактивної потужності приблизно становить 300 кВАр.

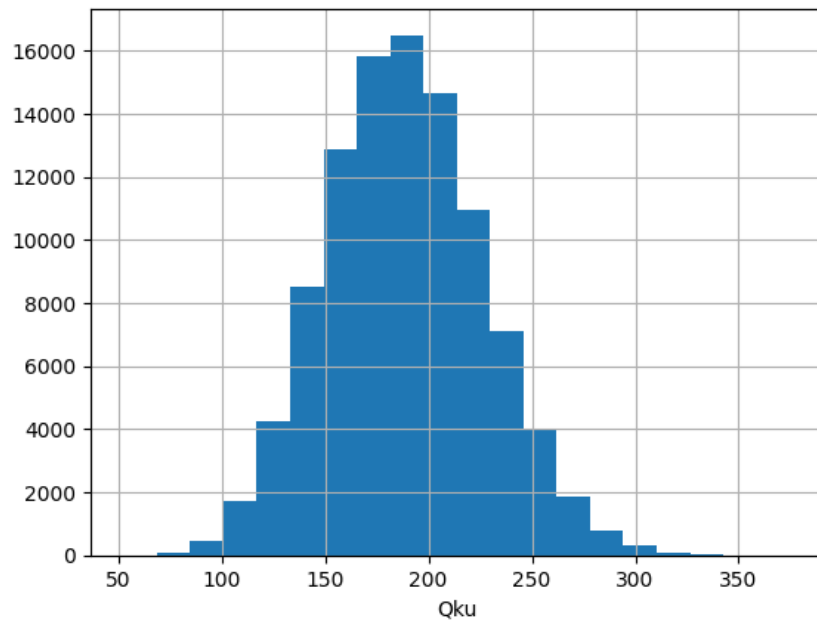


Рис. 3. Функція розподілу реактивної потужності ДРП

Функції розподілу втрат напруги в лінії до і після компенсації зображено на рис. 4. Як видно, максимальне значення втрат напруги в лінії зменшилось з 0,25 кВ до 0,2 кВ.

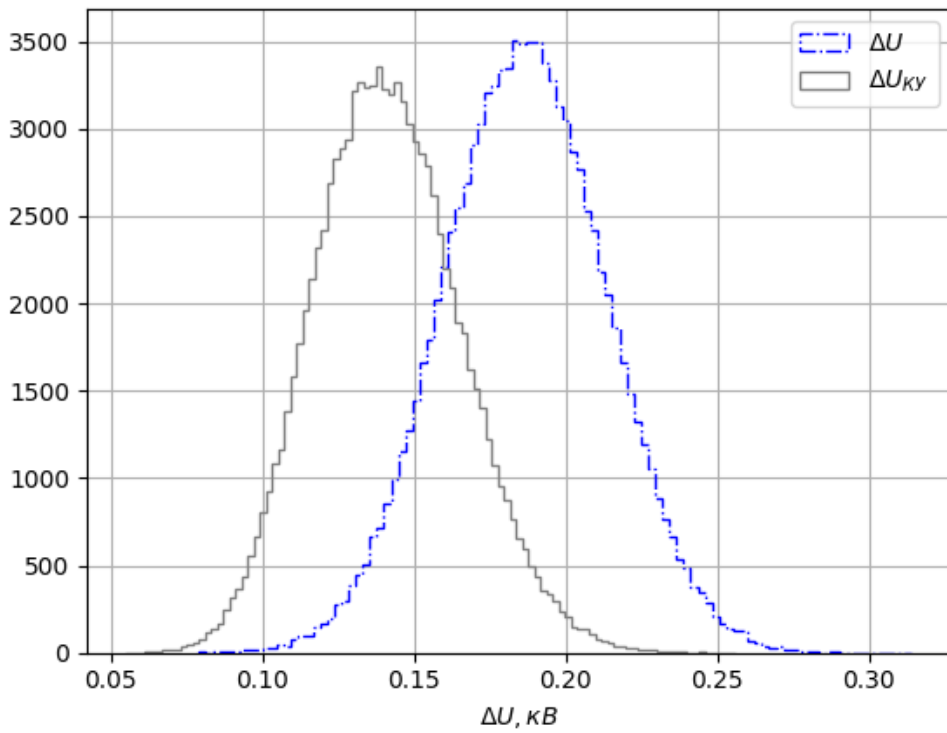


Рис. 4. Функції розподілу втрат напруги до і після компенсації

Функції розподілу втрат активної потужності в лінії до і після компенсації реактивної потужності зображено на рис. 5. Середнє значення втрат потужності в лінії зменшилось з 4,04 кВт до 3,56 кВт.

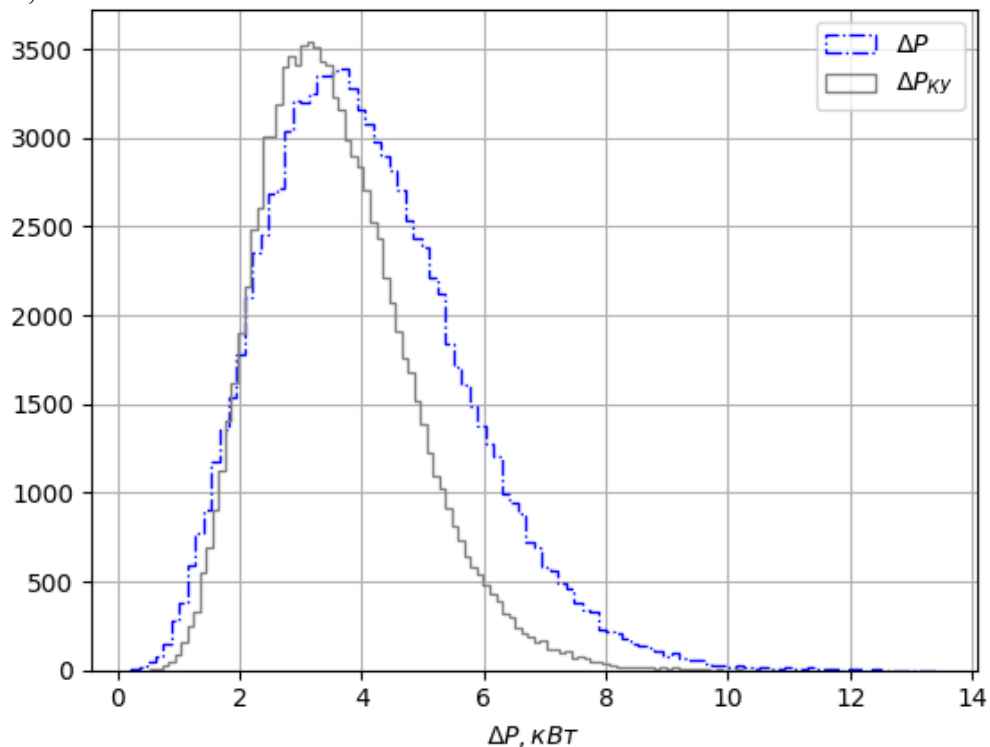


Рис. 5. Функції розподілу втрат активної потужності в лінії до і після компенсації

Функції розподілу втрат активної потужності в лінії, що зумовлені перетоком реактивної потужності, до і після компенсації реактивної потужності зображено на рис. 6.

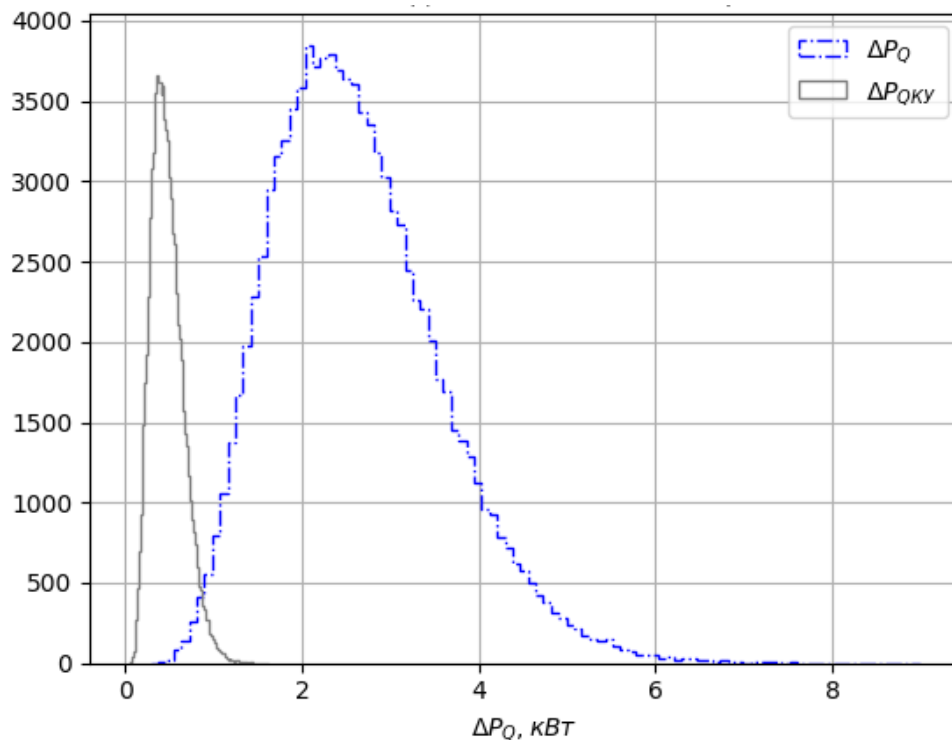


Рис. 6. Функції розподілу втрат активної потужності в лінії, що зумовлені перетоком реактивної потужності, до і після компенсації

Висновки

В результаті моделювання розподільних електричних мереж, що оснащені ДРП, за випадкового характеру навантаження показано, що максимальні втрати напруги зменшилися з 0,25 кВ до 0,2 кВ, а середні значення втрат потужності – з 4,04 кВт до 3,56 кВт.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Ertay, M. M., & Zengin, A. (2014). Analysis of the discontinuous PWM controlled D-STATCOM for reactive power compensation applications. *Tehnički vjesnik*, 21(4), 825-833.
- [2] Ertay, M. M., & Zengin, A. (2014). Analysis of the discontinuous PWM controlled D-STATCOM for reactive power compensation applications. *Tehnički vjesnik*, 21(4), 825-833.
- [3] Mahyavanshi, A., Mulla, M. A., & Chudamani, R. (2012). Reactive power compensation by controlling the DSTATCOM. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 2(11), 212-218.
- [4] Rohouma, W., Balog, R. S., Peerzada, A. A., & Begovic, M. M. (2018, April). Capacitor-less D-STATCOM for reactive power compensation. In 2018 IEEE 12th international conference on compatibility, power electronics and power engineering (CPE-POWERENG 2018) (pp. 1-6). IEEE.
- [5] Valderrama, G. E., Mattavelli, P., & Stankovic, A. M. (2001). Reactive power and imbalance compensation using STATCOM with dissipativity-based control. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 9(5), 718-727.
- [6] Qi, J., Zhao, W., & Bian, X. (2020). Comparative study of SVC and STATCOM reactive power compensation for prosumer microgrids with DFIG-based wind farm integration. *IEEE Access*, 8, 209878-209885.
- [7] El-Moursi, M. S., & Sharaf, A. M. (2005). Novel controllers for the 48-pulse VSC STATCOM and SSSC for voltage regulation and reactive power compensation. *IEEE Transactions on Power systems*, 20(4), 1985-1997.
- [8] X. P. Zhang, C. Rehtanz, B. Pal, *Flexible AC Transmission Systems: Modelling and Control*, 2nd edition, Berlin: Springer Verlag, 2012. 552 p.
- [9] Wang C., Wu J., Ekanayake J., and Jenkins N., *Smart Electricity Distribution Networks*. CRC Press. 2017. 416 p.
- [10] Bloemink J. M., and Green T. C., Benefits of Distribution-Level Power Electronics for Supporting Distributed Generation Growth. *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 28, no. 2, April. 2013. P. 911-919.
- [11] Cao W., Wu J., Jenkins N., Wang C., Green T., Operating principle of Soft Open Points for Electrical Distribution Network Operation. *Applied Energy*, 164, 2016. P. 245-257.
- [12] Cao W., Wu J., Jenkins N., Wang C., Green T., Benefits Analysis of Soft Open Points for Electrical Distribution Network Operation. *Applied Energy*, 165, 2016. P. 36-47.
- [13] Qi Q., Wu J., Long C., Multi-objective Operation Optimization of an Electrical Distribution Network with Soft Open Point. *Applied Energy*, 2017. 208, 734-744.
- [14] Popov V., Yarmoliuk O., Tkachenko V., Frolov I., Natalych V., Feature of Optimal Network Reconfiguration Problem Statement in Distribution Systems with Local Energy Sources. *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського*. Випуск 4 (135).

2022. P. 53-62.

[15] Farzamnia A., Marjani S., Galvani S. and Kin K. T. T. Optimal Allocation of Soft Open Point Devices in Renewable Energy Integrated Distribution Systems. IEEE Access. Vol. 10. 2022.

[16] Shamam Alwash, Sarmad Ibrahim, and Azher M. Abed, Distribution System Reconfiguration with Soft Open Point for Power Loss Reduction in Distribution Systems Based on Hybrid Water Cycle Algorithm. Energies 2023, 16, 199. 22 p.

[17] Ferry A. Viawan, Voltage Control and Voltage Stability of Power Distribution Systems in the Presence of Distributed Generation. Thesis for the Degree of Doctor of Philosophy, Chalmers University of Technology. Göteborg, Sweden. 2008. 157 p.

[18] Ю. В. Лобода, Р. О. Слободян, «Застосування *Soft Open Point* для оптимізації втрат електроенергії в розподільних електричних мережах,» *Вісник Хмельницького національного університету*. Технічні науки, № 2, с. 166–170, 2024.

[19] М. Й. Бурбело, Р. О. Слободян, «Стратегія керування джерелами реактивної потужності в розподільних електричних мережах для оптимізації втрат електроенергії,» *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*, № 1, с. 209–214, 2024.

Бурбело Михайло Йосипович – д.т.н., професор, завідувач кафедри ЕСЕЕМ, e-mail: burbelomj@gmail.com;

Кравець Олександр Миколайович – к.т.н., доцент кафедри ЕСЕЕМ, e-mail: omkravec@gmail.com;

Лобода Юрій Васильович – Ph. D., доцент кафедри ЕСЕЕМ, e-mail: lobodaeseem@gmail.com;

Слободян Руслан Олександрович – аспірант кафедри ЕСЕЕМ, ruslan.slobodyan@gmail.com.

Вінницький національний технічний університет

M. J. Burbelo

O. M. Kravec

Y. V. Loboda

R. O. Slobodian

SIMULATION OF THE REACTIVE POWER COMPENSATION PROCESS UNDER THE RANDOM CHARACTER OF LOADING

Vinnitsia National Technical University

The results of modeling the process of compensation of reactive power in distribution electric networks, which are equipped with devices for smooth regulation of reactive power, under the random nature of the load, are presented. The mode of compensation of reactive power based on the criterion of minimum loss of active power is considered.

Keywords: electric network, optimization of reactive power flows, active power losses.

Burbelo Michailo Josephovich - Doctor of Technical Sciences, Professor of Department of Electrical Systems of Power and Energy Management, e-mail: burbelomj@gmail.com;

Kravets Oleksandr Mykolayovych - candidate of technical sciences, associate professor of the ESEEM department, e-mail: omkravec@gmail.com;

Loboda Yurii Vasylovych – Ph. D., Associate Professor of the Department of Electrical Systems of Power and Energy Management, e-mail: lobodaeseem@gmail.com;

Slobodian Ruslan Oleksandrovych – graduate student of the department, e-mail: ruslan.slobodyan@gmail.com