

## Вероятностен подход при определяне на напреженията във възлите на разпределителните мрежи

Стефка Неделчева, Мишо Мацанков, Светослав Мартон

*Probabilistic approach for computing of the voltages in the nodes of distribution networks: This paper presents a probabilistic algorithm for computing of the voltages in the nodes of a distribution network. A comparison is made between the computed values with the proposed probabilistic method and with a baseline deterministic one.*

**Key words:** probabilistic algorithm, distribution network, voltage.

### ВЪВЕДЕНИЕ

Данните за изчисленията на установените режими в електрическите мрежи съдържат систематични и случайни грешки, които се дължат на измерванията или изчисленията и се отразят на резултатите. Поради това изходните данни са случайни величини или функции на времето [1], [2]. В [3] са установени границите, в които се получават стойностите на параметрите на заместващите схеми на елементите на електрическите мрежи, а в [4] - възможният диапазон на изменение на грешките при прогнозиране на електрическите товари във възлите. Точността на детерминираният подход за определяне на напреженията във възлите на разпределителните мрежи зависи от големината на грешките, с които се намират параметрите на заместващите схеми и се получават пренасяните мощности.

Целта на изследването е разработка на математичен апарат и алгоритъм за определяне на напреженията във възлите на разпределителни мрежи при вероятностен подход. От поставената цел произлизат следните основни задачи:

- Разработка на математичен апарат и алгоритъм за определяне на напреженията във възлите на потребителите в разпределителните мрежи при вероятностен подход.
- Сравняване на изчислителните резултати за напреженията във възлите при прилагане на детерминиран и вероятностен подход.
- Съпоставяне на допусканата грешка от прилагане на вероятностния подход, спрямо грешката от детерминирания при вариране на изходните данни в техния възможен диапазон на изменение.

### АЛГОРИТЪМ ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА НАПРЕЖЕНИЯТА във възлите на РАЗПРЕДЕЛИТЕЛНА МРЕЖА ПРИ ВЕРОЯТНОСТЕН ПОДХОД

Равномерната плътност на разпределение на активната мощност има вида:

$$f(P, t) = \begin{cases} \frac{1}{P_n(t) - P_1(t)}, & P_1(t) \leq P(t) \leq P_n(t); \\ 0, & P(t) < P_1(t); P(t) > P_n(t). \end{cases} \quad (1)$$

Отделните реализации в случайния процес се изчисляват по граничните стойности  $P_1(t)$  и  $P_n(t)$ .

$$P_k(t) = P_1(t) + (k-1) \frac{P_n(t) - P_1(t)}{n-1} = P_1(t) + (k-1) \Delta P(t); \quad (2)$$

$$k = 1, 2, \dots, n; \quad t = 1, 2, \dots, 24 / \Delta t,$$

където  $n$  е продължителността на случайния процес;  $\Delta t$  - интервалът на дискретизация на товаровия график.

Средноквадратичната стойност на активната мощност се определя чрез :

$$M[P^2(t)] = M[P(t)]^2 + D[P(t)] = M[P(t)]^2 [1 - v_p^2(t)], \quad (3)$$

където  $M[P(t)]$ ,  $D[P(t)]$ ,  $v_p(t)$  са съответно математическото очакване, дисперсията и коефициентът на вариация на активната мощност:

$$v_p(t) = \frac{\sqrt{D[P(t)]}}{M[P(t)]}. \quad (4)$$

Съгласно закона за равномерната плътност на разпределението на товарите, за коефициента на вариация се получава:

$$v_p(t) = \frac{\sqrt{n(n-1)} [P_1(t) - P_n(t)]}{\sqrt{3(n-1)} [P_1(t) + P_n(t)]}. \quad (5)$$

Със средноквадратичната стойност на мощността  $M[P^2(t)]$  се определя математическото очакване на тока  $M[I]$  и неговата дисперсия  $D[I]$ , математическо очакване  $M[\Delta P]$  и дисперсията  $D[\Delta P]$  на загубите на мощност в клоновете:

$$M[\Delta P] = 3R \left\{ (M[I])^2 + D[I] \right\}; \quad (6)$$

$$D[\Delta P] = (3R)^2 \left\{ 2(D[I]^2) + 4(M[I]^2 D[I]) \right\}. \quad (7)$$

Изчисляват се математичните очаквания на активната  $M[U'] = M_{U'}$  и реактивна съставка  $M[U''] = M_{U''}$  на напрежението и съответните средно квадратични отклонения  $\sigma_{U'}$  и  $\sigma_{U''}$ . Модулът на напрежението се изчислява с израза [1], [2]:

$$U = \sqrt{U'^2 + U''^2}. \quad (8)$$

Първите производни на модула на напрежението  $U$  по  $U'$  и  $U''$  се изразяват с:

$$\frac{\partial U}{\partial U'} = \frac{U'}{\sqrt{U'^2 + U''^2}}, \quad \frac{\partial U}{\partial U''} = \frac{U''}{\sqrt{U'^2 + U''^2}}. \quad (9)$$

Вторите производни на  $U$  по  $U'$  и  $U''$  са съответно:

$$\frac{\partial^2 U}{\partial U'^2} = \frac{U'^2}{(U'^2 + U''^2)^{\frac{3}{2}}}, \quad \frac{\partial^2 U}{\partial U''^2} = \frac{U''^2}{(U'^2 + U''^2)^{\frac{3}{2}}}. \quad (10)$$

Математичното очакване за модула на напрежението е:

$$M[U] = \sqrt{M_{U'}^2 + M_{U''}^2} + \frac{1}{2} \left( \frac{M_{U'}^2}{(M_{U'}^2 + M_{U''}^2)^{\frac{3}{2}}} \cdot D_{U'} + \frac{M_{U'} M_{U''}}{(M_{U'}^2 + M_{U''}^2)^{\frac{3}{2}}} \cdot \text{cov}_{U'U''} + \frac{M_{U''}^2}{(M_{U'}^2 + M_{U''}^2)^{\frac{3}{2}}} \cdot D_{U''} \right) \quad (11)$$

$$\text{cov}_{U'U''} = 0,92 \sqrt{D_{U'} D_{U''}}. \quad (12)$$

Дисперсията на модула на напрежението се намира с уравнението:

$$D_U = \left( \frac{M_{U'}}{\sqrt{M_{U'}^2 + M_{U''}^2}} \right)^2 D_{U'} + \left( \frac{M_{U''}}{\sqrt{M_{U'}^2 + M_{U''}^2}} \right)^2 D_{U''} + \frac{M_{U'}}{\sqrt{M_{U'}^2 + M_{U''}^2}} \frac{M_{U''}}{\sqrt{M_{U'}^2 + M_{U''}^2}} \text{cov}_{U'U''} \quad (13)$$

Границите на доверителният интервал на напреженията в  $i$ -ти възел се определят с изразите:

$$\left. \begin{aligned} U_{\min i} &= U_i (1 - \sigma \Delta_i) \\ U_{\max i} &= U_i (1 + \sigma \Delta_i) \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

където  $U_i$  е изчислителната стойност на напрежението във възел  $i$ ;  $\sigma$  - параметърът, който определя големината на интервала и съответства на неговата вероятност;  $\Delta_i = \sqrt{D_{U_i}} / M_{U_i}$  - относителната изчислителна грешка;  $D_{U_i}, M_{U_i}$  - съответно дисперсията и математическото очакване на напрежението в  $i$ -ти възел.

### СРАВНЯВАНЕ НА РЕЗУЛТАТИТЕ ЗА НАПРЕЖЕНИЯТА ВЪВ ВЪЗЛИТЕ ПРИ ПРИЛАГАНЕ НА ДЕТЕРМИНИРАН И ВЕРОЯТНОСТЕН ПОДХОД

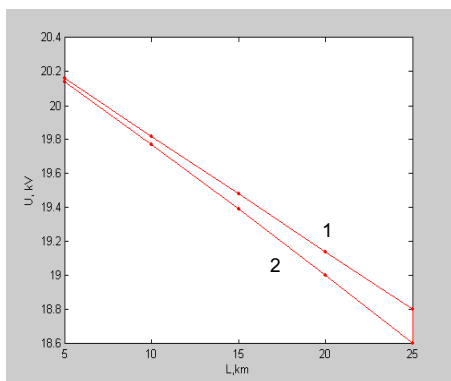
Числените експерименти за определяне на напреженията във възлите на разпределителна мрежа при детерминиран и вероятностен подход са проведени със специално разработена програма на MATLAB Изчисленията са извършени за радиални линии, отворени разклонени мрежи с различни дължини и плътности на товара при зададено напрежение на захранващия възел 20,5 kV за граничните пренасяни активни мощности 2,5 и 4,5 MW.. Получените резултати са обобщени за проводник АС 3x95 mm<sup>2</sup> при мощност 2,5 MW в табл.1, а при 4,5 MW – в табл.2 и на фиг.1÷4. Аналогичните изчисления за проводник АС 3x35 и мощност 2,5 MW са представени на фиг.5÷6. От получените резултати се правят изводи за допустимостта на режима по напрежение (при допустима загуба на напрежение 1600 V).

Таблица 1

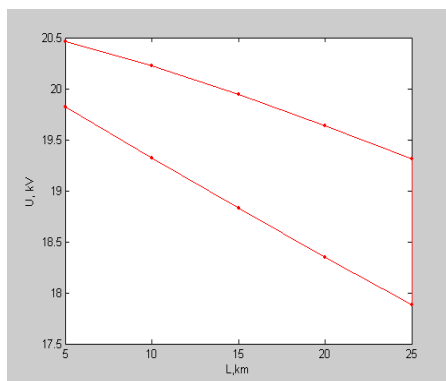
L,km	Детерминиран подход	Вероятностен подход					
	U,kV	$M_{U'}$ , kV	$M_{U''}$ ,kV	$D_U$ , kV <sup>2</sup>	M(U),kV	$U_{\max}$ ,kV	$U_{\min}$ , kV
5	20,16	0,3152	0,1251	0,1026	20,14	20,46	19,82
10	19,82	0,6304	0,2502	0,2051	19,77	20,22	19,32
15	19,48	0,9457	0,3753	0,3077	19,39	19,94	18,83
20	19,14	1,260	0,500	0,4102	19,0	19,64	18,35
25	18,80	1,576	0,6255	0,5128	18,6	19,31	17,88

Таблица 2

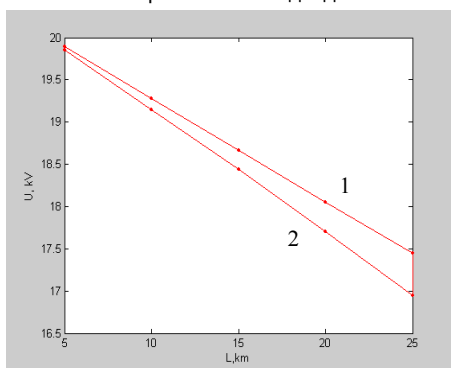
L,km	Детерминиран подход	Вероятностен подход					
	U,kV	$M_{U'}$ , kV	$M_{U''}$ ,kV	$D_U$ , kV <sup>2</sup>	M(U),kV	$U_{\max}$ ,kV	$U_{\min}$ , kV
5	19,89	0,5674	0,225	0,1846	19,85	20,27	19,42
10	19,28	1,135	0,45	0,3692	19,15	19,76	18,55
15	18,66	1,70	0,68	0,5538	18,44	19,18	17,69
20	18,05	2,27	0,90	0,7984	17,70	18,56	16,84
25	17,45	2,84	1,126	0,9230	16,95	17,91	15,99



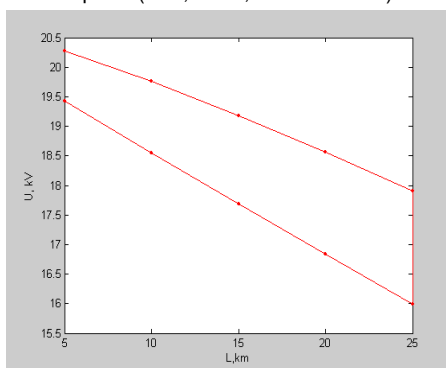
Фиг.1. Напряжения във възлите ( $P=2,5$  MW, АС  $3 \times 95$  mm<sup>2</sup>): 1 – детерминиран; 2 – вероятностен подход



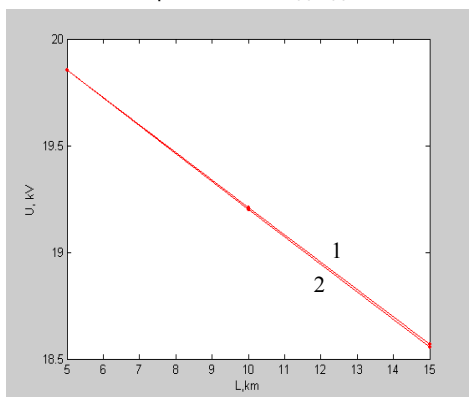
Фиг.2. Горна и долна граница на напрежения във възлите на разпределителната мрежа ( $P=2,5$  MW, АС  $3 \times 95$  mm<sup>2</sup>)



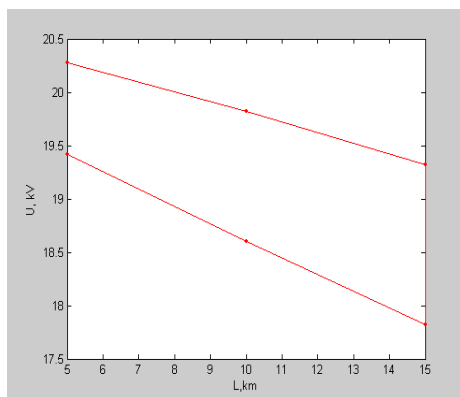
Фиг.3. Напряжения във възлите ( $P=4,5$  MW, АС  $3 \times 95$  mm<sup>2</sup>): 1 – детерминиран; 2 – вероятностен подход



Фиг.4. Горна и долна граница на напрежения във възлите на разпределителната мрежа ( $P=4,5$  MW, АС  $3 \times 95$  mm<sup>2</sup>)



Фиг.5. Напряжения във възлите ( $P=2,5$  MW, АС  $3 \times 35$  mm<sup>2</sup>): 1 – детерминиран; 2 – вероятностен подход



Фиг.6. Горна и долна граница на напрежения във възлите на разпределителната мрежа ( $P=2,5$  MW, АС  $3 \times 35$  mm<sup>2</sup>)

Границите, в които варират грешките при получаване на активното  $R$  и индуктивното съпротивление  $X$  са  $\pm 8\%$ , за мощността  $P$  - до  $\pm 6\%$  и за измереното захранващо напрежение  $U_0$  до  $\pm 1,7\%$  [3], [4]. Изменението на параметрите в посочените граници при прилагането на детерминираният подход за определяне на напреженията във възлите дава резултатите, представени в табл.3. Сравнението се извършва спрямо изчисления с детерминирания подход при  $R$ ,  $X$ ,  $P$  и  $U_0$ .

Таблица 3

Проводник	Грешка в % спрямо детерминирания подход на		
	детерминиран подход при увеличаване на $R$ и $X$ с $8\%$ , на $P$ с $6\%$ и намаляване на $U_0$ с $1,4\%$	детерминиран подход при намаляване на $R$ и $X$ с $8\%$ , на $P$ с $6\%$ и увеличаване на $U_0$ с $1,4\%$	Вероятностен подход
АС 3x95	+ 4	- 4	+ 0,5
АС 3x35	+ 3	- 3	+ 0,15

От проведените изчисления се установява, че относителните грешки в двата гранични случаи, когато се отчитат грешките, с която са определени входните величини при детерминираният подход достигат  $\pm 4\%$ . Прилагането на вероятностния подход за същите изчислителни условия дава грешка до  $0,5\%$  спрямо резултатите от детерминирания подход.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработеният математичен апарат позволява да се приложи вероятностен подход при оценка на напрежението във възлите на разпределителните мрежи и да се правят изводи за допустимостта на режима.

Със съставеният алгоритъм непосредствено се прави сравнение на резултатите от прилагане на вероятностния и детерминирания подход за конкретна разпределителна мрежа.

Относителните грешки достигат до  $\pm 4\%$  в граничните случаи, когато се отчитат максималните и минимални стойности на грешките, с която са определени входните величини при детерминираният подход, докато прилагането на статистическия подход дава грешка до  $0,5\%$ .

### ЛИТЕРАТУРА

[1] Гамм А. Статистически методи оценявания състояние електроенергетических систем., М., Наука, 1979.

[2] Лыкин А., Режимы электроенергетических систем, Новосибирск, 2000

[3] Неделчева, С., М.Мацанков. Анализ на грешките при определяне на параметрите на заместващите схеми на електрическите мрежи, Известия на ТУ-Сливен, 2010, 2, 41-49.

[4] Неделчева С., М.Мацанков, Статистически подход при оценка на измерванията при изчисляване на установените режими в електроенергийните системи, Известия на ТУ-Сливен, 2006, 4, 26-31.

Научните изследвания, резултатите от които са представени в настоящата публикация, са финансирани от Вътрешния конкурс на ТУ-София-2010 г

### За контакти:

Доц. д-р Стефка Неделчева, Катедра "Електротехника, електроника и автоматика", Технически университет – София, ИПФ - Сливен, тел.: 0887-691227, e-mail: stefned@yahoo.com

Докладът е рецензиран.