

УДК 621.316.1.017

А.О. ОЗЕРЯНСЬКИЙ, канд. техн. наук, О.А. БЛИК (Інститут загальної енергетики НАН України, Київ)

ВИЗНАЧЕННЯ КІЛЬКОСТІ ПРЯМИХ ВИМІРІВ ДЛЯ ЗАДАЧ МЕТРОЛОГІЧНОГО СУПРОВОДУ РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖ У НЕТИПОВИХ СИТУАЦІЯХ

Обґрунтовано висновки про мінімально необхідну кількість прямих вимірів при метрологічному супроводі розподільних мереж для ситуацій з особливими режимами завантаження, екстремальними з огляду на мінімум витрат.

Повідомлення про використання якісного метрологічного забезпечення в окремих розподільних мережах (РМ) енергосистем, що з'являються в деяких джерелах [1, 2], дозволяють зробити припущення щодо можливості зникнення в майбутньому міфу про наявність «...надзвичайно високих технологічних витрат електроенергії... в Україні в цілому...» [3]. Проте замість цього в числі очікуваних постають не лише питання розширення метрологічного забезпечення, а й технологій використання останніх, зокрема потрібної мінімальної кількості вимірів енергії N_{min} , що передається лінією, для визначення згаданих технологічних витрат електроенергії (ТВЕ) в нових умовах. Тут потрібно уникати не виправданого завищення N_{min} через досить високу вартість вимірів з урахуванням наступної багатоланкової передачі, зберігання та обробки інформації. Але так само неприпустиме і заниження кількості останніх, оскільки унеможливується наявність досить інформативних, багатоступінчастих універсальних графіків навантаження, що є обов'язковою умовою для повноцінних розрахунків ТВЕ і досягнення економічного прибутку від зменшення необґрунтованого їх завищення.

Питання визначення кількості вимірів для ліній електропередач раніше розроблялось при створенні ще загальносоюзних норм [4], але у вигляді рекомендацій (авторам невідомі законодавчі постанови з цієї задачі), та й практичної реалізації подібний документ не міг отримати через відсутність технічних засобів для повноцінної реалізації вимірів. Є публікація з розрахунку N_{min} , де потрібну кількість запропоновано знаходити як кінцевий результат вирішення задачі неприпустимості перевищення ТВЕ заданого вище рівня [5] при співставленні двох полярних, але найбільш розповсюджених у практиці використання РМ, режимів, \min і \max , по приростам ТВЕ. Втім, можлива (і це також підкреслюється в публікації [5]) наявність інших режимів заванта-

ження (їх треба визначити як нетипові), коли використане співставлення $\min - \max$ потрібно формулювати іншим чином. З точки зору обґрунтування мінімальної достатності кількості вимірів для локалізації таких режимів у даному матеріалі представлено відповідні рекомендації та наведено аналіз отриманих результатів.

Обмежувальний перелік. Наведені далі висновки справедливі за таких умов:

- дія висновків стосується тільки розподільних електричних мереж і лише для завдань визначення величини технологічних витрат електроенергії ΔW_n в них;

- для застосування метрологічного забезпечення роботи РМ у вигляді апаратури для автоматичного контролю режимів завантаження мереж, у т.ч. в системах АСКОЕ, тобто конкретно при використанні витратних технологій;

- для наступного застосування детермінованих методів розрахунку втрат (проте питання про вибір методів чи особливостей у них, так само як і отримання переваг від наявності в якості початкової інформації даних специфічних результатів знаходяться поза межами цього матеріалу);

- для умови відхилення (через принципову неможливість отримання високої точності) розрахунку на основі ймовірнісних методів або заснованих на базі орієнтовних співвідношень: типових, сезонних, галузевих тощо;

- для використання як базового методу розрахунку ΔW_n – метода максимальних втрат, з основною розрахунковою формулою

$$\Delta W_n = 3 \left(\frac{P_{max}}{\sqrt{3}U} \right)^2 \cdot R_n \cdot \tau = 3I_{max}^2 \cdot R_n \cdot \tau,$$

причому отримані результати направлені на уточнення значення \max -інтервалу τ . Вплив на кінцевий результат неточностей, пов'язаних з похибками визначення інших величин, тобто максимального струму навантаження I_{max} , або внут-

рішнього опору лінії R_n , у т.ч. наявність реактивної складової також не розглядаються. Слід лише зазначити, що точність визначення max-інтервалу досить часто і є найбільш проблематичною;

– для умов використання вимірів з дотриманням таких принципових особливостей:

- виміри проводяться через рівні, i -ті, $i=1, n$, проміжки часу ΔT протягом усього розрахункового часу T_Y ;
- між найближчими вимірами величина потужності в лінії припускається незмінною;
- вимірюється кількість переданої від $(i-1)$ -го до i -го виміру енергії, тобто ΔW_i , а обчислюються значення струму в лінії, або потужності

$$I(i) = \frac{\Delta W_i}{\Delta T \cdot \sqrt{3} \cdot U_n}, \quad P(i) = I^2(i) \cdot (R_n + Z_n);$$

– за даними $P(i)$ або $I(i)$ будується універсальний графік навантаження для подальшого розрахунку ΔW_n .

Визначення числа вимірів. Отриманий графік навантаження, рис. 1, після нормування як універсального може набути будь-якої форми, але більшою чи меншою мірою ГН можна звести до одного з трьох виглядів, рис. 1, у т.ч. з випуклою, $\lambda > 1$, увігнутою, $\lambda < 1$, або лінійною, $\lambda = 1$, формою міжступеневої зміни алгоритму.

$$P(i) = P_{max} - \Delta P \cdot \left((i-1) \frac{\Delta T}{T_Y} \right)^\lambda, \quad \lambda \geq 1,$$

$$P(i) = P_{min} + \Delta P \times$$

$$\times \left[1 - \left(\frac{(i-1)\Delta T}{T_Y} \right) \right]^{1/\lambda}, \quad \lambda < 1,$$

$$P(i) = P_{max} - \Delta P \cdot (i-1) \frac{\Delta T}{T_Y}, \quad \lambda = 1,$$

де
$$\lambda = \frac{P_{av} - P_{min}}{P_{max} - P_{av}} = \frac{\sigma_{av} - \sigma_{min}}{1 - \sigma_{av}},$$

$$\Delta P = P_{max} - P_{min};$$

$$P_{av} = \frac{W_{del}}{T_Y}, \quad \sigma_{av} = P_{av} / P_{max}, \quad \sigma_{min} = P_{min} / P_{max},$$

W_{del} – кількість енергії, переданої за розрахунко-

вий період T_Y , σ_{av} , σ_{min} – коефіцієнт заповнення, загальний та мінімально можливий.

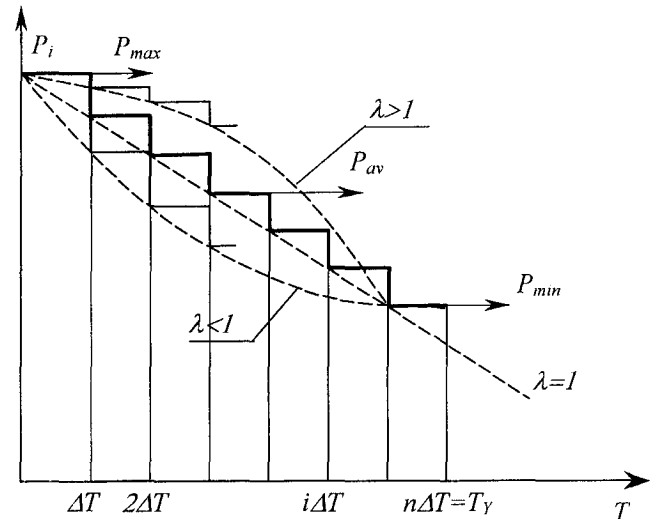


Рис. 1

Аналіз можливих форм кривих, що поєднують кінці чи початки окремих i -тих ділянок ГН, дає можливість наперед передбачати ймовірні значення величин ТВЕ, отже і межі можливих їх коливань. У цьому відношенні як такі, що найбільш розходяться, min-max, треба назвати три можливі типи ГН, рис. 1 (решта матиме проміжні значення), у т.ч.:

- з незмінною амплітудою $P(i) = P_{max}$ на всьому max-інтервалі ($P_1(T)$ на рис. 1);
- τ_1 , з лінійною зміною $P_2(T)$;
- з проблисковими значеннями на двох рівнях P_{max} та P_{min} , $P_3(T)$.

Після інтегрування усіх трьох кривих, розрахованих, для прикладу, за варіантом $\sigma_{av} = 0,5$, max-інтервали τ_i для заданих P_{av} , P_{max} та T_Y , дорівнюватимуть

$$\tau = \int_{T=0}^{T_Y} \left(\frac{P_i(T)}{P_{max}} \right)^2 dT, \quad (1)$$

$$\tau_1 = \sigma_{av} = \tau_{max}$$

$$\tau_2 = \frac{1}{3} (1 - 2\sigma_{av} + 4\sigma_{av}^2) \cdot T_Y = \tau_{min1} \quad (2)$$

$$\tau_3 = \sigma_{av}^2 \cdot \left[1 - (2 - 1/\sigma_{av}^2) \cdot T_0^* \right] \cdot T_Y = \tau_{min2} \quad (3)$$

$$t_0^* = \Delta T / T_Y,$$

тобто за однакової кількості переданої енергії W_{del} величина \max -інтервалу може набути значення або у вигляді явного максимуму τ_{max} , або одного з двох мінімумів τ_{min1} або τ_{min2} .

Обґрунтування мінімально необхідної кількості вимірів N_{min} , що спирається на результат співставлення першого та другого алгоритмів, виконане для задачі локалізації саме другого алгоритму [5], тобто при τ , заданому у відсотках, степені відхилення \max -інтервалу. Як виявилось, перевага тут досить відчутна, оскільки можливе завищення витрат за даною ознакою зменшується з $\pm 25\%$ до $\pm 4\%$ (13 вимірів) або $\pm 2\%$ (25 вимірів), і доцільність додаткових витрат на введення таких технологій стає очевидною.

Однак, є і такі сфери використання з точки зору завантаження, коли стане виграшним застосування третього алгоритму, тобто коли другий мінімум τ_{min2} виявиться більш результативним. Для локалізації таких режимів потрібно визначити зону використання, мінімально потрібну кількість вимірів для визначення зони і, як позитивну ознаку – зменшення степеня помилки при визначенні ТВЕ.

Зона використання. Область зміни \max -інтервалу τ_{min2} визначиться на межі рівності обох мінімумів, тобто коли $\tau_{min1}^* = \tau_{min2}^*$, $\tau^* = \tau / T_Y$ або

$$0.33 \cdot (1 - 2\sigma_{av} + 4\sigma_{av}^2) = t_0^* + \sigma_{av}^2 (1 - 2t_0^*), \quad (4)$$

рішення якого, після нескладних спрощень, дозволяє одержати кінцевий результат або в загальному вигляді:

$$0.32\sigma_{av}^2 - 0.66\sigma_{av} - t_0^* + 2t_0^* \cdot \sigma_{av}^2 + 0.33 = 0, \quad (5)$$

або (при $\sigma_{av}=0.5$ для прикладу) в конкретному

$$4t_0^* - 2t_0^* - 0.32 = 0; \quad t_0^* = t_{0\ max}^* = 0.16;$$

$$t_{0\ max}^* = \Delta T_{max} / T_Y.$$

Зона використання третього алгоритму буде, таким чином, обмежена для даного варіанту $\sigma_{av}=0.5$ границями

$$0.16T_Y \geq \Delta T > \Delta T_{min} \approx (4 \div 5)\%T_Y. \quad (6)$$

Значення ΔT_{min} авторами визначається по різному, але у вказаних межах, тобто $(4 \div 5)\%$, встановлюються для умови річного інтервалу, $T_Y = 8760$ год., та розподільних мереж [5].

Число вимірів. Для того, щоб забезпечити локалізацію режиму, обмеженого умовою 6, для границь \max -інтервалу необхідно за допомогою вимірів побудувати графік навантаження з зада-

ною максимальною похибкою. Тобто, коли приріст \max -інтервалу, $\Delta(\Delta T)$ на рис. 2 не перевищить заданих границь, обмежених, у загальному випадку, деякою величиною, що дорівнює $k(\%)$.

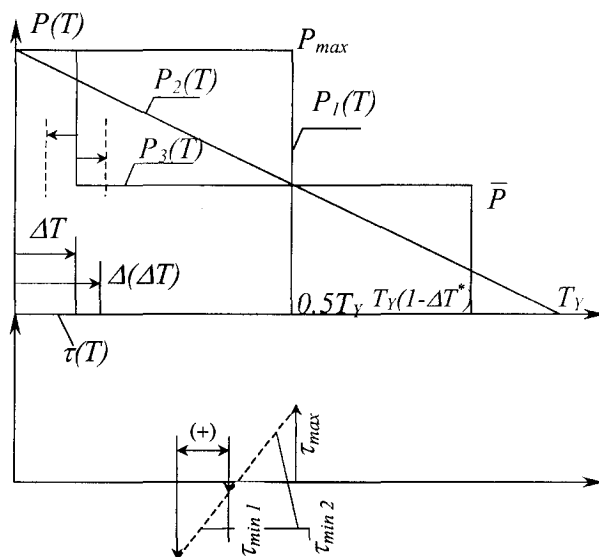


Рис. 2

Очевидно ця умова повинна забезпечуватися для першого інтервалу, $\Delta(\Delta T)$ на рис. 2, тобто

$$\delta(\tau) = \frac{\tau[\Delta T_{max} + \Delta(\Delta T_{max})] - \tau(\Delta T_{max})}{\tau(\Delta T_{max})} \cdot 100\% = k(\%). \quad (7)$$

Рішення рівняння 7 для варіанту $\sigma_{av}=0.5$ та $\Delta T = \Delta T_{max}$ дає потрібну відповідь про допустимий приріст \max -інтервалу $\Delta(\Delta T) = 0.66k/100$, та обернене приросту мінімальне необхідне число вимірів, тобто

$$N_{min} = \frac{1}{\Delta(\Delta T)} = \frac{100}{1.51 \cdot k} = 33 \text{ (для } k \leq 2\%) \dots \quad (8)$$

$$= 17 \text{ (для } k \leq 4\%) \dots = 7 \text{ (} k \leq 10\%).$$

Степінь похибки. Для визначення останньої необхідно співставити у відносному вигляді значення \max -інтервалів для варіантів $\tau = \tau_{max}$, тобто коли $\Delta T \Rightarrow \Delta T_{max} = 0.5T_Y$ (за ще більшого збільшення скважності реалізація розглянутого алгоритму стає неможливою, дане співставлення втрачає сенс), і $\tau = \tau_{min2}$, для крайнього випадку, коли $\Delta T = 0.05\Delta T_Y$

$$\Delta T = \Delta T_{min} = 0.05T_Y, \quad t_{0\ min}^* = 0.05$$

$$\tau_{min2} = 0.5(t_0^* + 0.5) = 0.275T_Y.$$

Перший режим потрібно вважати як помилково, через тільки один вимір, локалізованим, а другий як фактичний, виконаний у відповідності до умови 8. Після співставлення можливо отри-

мати, що похибка визначення величини ТВЕ за всіх інших рівних умов може бути досить істотною, навіть більшою по відношенню до першої [5] вимоги

$$\delta(\tau) \geq \frac{\tau_{max} - \tau_{min2}}{\tau_{min2}} \cdot 100\% \geq \pm 50\%.$$

Якщо назвати умову 8 другою (перша умова, як уже зазначалося, використовувалась при аналізі варіанту з першим мінімумом), то з точки зору корисності потрібно прийняти такі висновки.

Дана умова відображає ситуацію появи обмеженого числа режимів (3), що складають приблизно п'яту частину з можливих. За даною ознакою їх можливо визначити нетиповими, коли появу інтервалу максимального завантаження всередині усього інтервалу перевірки T_y , обмежено границями $(0.05 \div 0.16)T_y$. Але в таких си-

туаціях, зона (+) на рис. 2, може бути досягнута максимально можлива перевага від використання прямих вимірів.

Висновки

В обмеженому числі режимів використання розподільних мереж, коли появи інтервалів максимального завантаження обмежуються границями $(0.05 \div 0.16)T_y$, можливо отримати максимально досяжні переваги від використання прямих вимірів струму (потужності), що проходить лінією.

Невикористання в таких випадках контрольно-вимірної апаратури з автоматичним відліком для складання фактичного графіка навантаження може призвести, тільки за даною ознакою, тобто через неточність форми графіка, до похибки у визначенні величини технологічних витрат електроенергії, що сягає $\pm 50\%$.

1. Щербина Ю.В. та ін. Електронний облік витрат енергії в електричних мережах // *Енергоінформ.* – 2002. – №12. – С. 6-11.
2. Американская система тарифообразования в Украине // *Энергетическая политика Украины.* – 2001. – №10. – С. 60-62.
3. Кирик С.В., Костин Ю.Д. Анализ причин потери электроэнергии в Украине и пути их снижения // *Энергетика и электрификация.* – 2000. – №7. – С. 15-19.
4. Временная инструкция по расчету и анализу потерь электроэнергии в электрических сетях энергосистем. – М., 1976.
5. Аналіз використання прямих вимірів для визначення технологічних витрат електроенергії у розподільних мережах / А.О. Озерянський, О.А. Білик // *Проблеми загальної енергетики.* – 2003. – №9. – С. 63-66.
6. Д.А. Арзамасцев, А.В. Липек. Снижение технологического расхода электроэнергии в электрических сетях. – М.: Высшая школа, 1986. – 125 с.