

## МЕЖІ ДОПУСТИМИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ГЕНЕРАТОРА ВІТРОЕЛЕКТРИЧНОЇ УСТАНОВКИ

Пекур П.П., к.т.н., ст. викл., Степасюк В.Ю., магістрант  
НТУУ «КПІ», кафедра електричних мереж та систем

**Вступ.** Розрахунки та аналіз навантажувальних режимів роботи вітроелектричних установок (ВЕУ) мають важливе значення для вирішення дослідних, проектних та експлуатаційних задач. Вагомість цих розрахунків визначається тією обставиною, що саме ефективність роботи ВЕУ у навантажувальному режимі впливає на її економічні показники. Крім того, вони мають самостійне значення по визначенню механічних зусиль на лопатях та електричних навантажень генератора ВЕУ, а також є вихідними при оцінці надійності обладнання, розробці систем керування, вирішенні задач оптимізації параметрів обладнання та режимів функціонування.

**Постановка задачі.** Непередбачуваність змін вітру у часі і просторі поєднується з великим діапазоном швидкостей вітру. Ця особливість посилюється тим, що механічні навантаження пропорційні квадрату швидкості вітру, а його потужність – кубу швидкості. Таким чином, якщо швидкість вітру змінюється в два рази, що нерідко трапляється, то механічні навантаження змінюються в 4 рази, а потужність – у 8 разів. Тому обмеження електричних та механічних навантажень допустимими значеннями є однією з найбільш загальних і складних задач, що вирішуються при проектуванні ВЕУ. Надійність, довговічність та продуктивність установки безпосередньо залежать від надійності і динамічних якостей електромеханічної системи ВЕУ. Вивчення механічних та електричних навантажень на ланки ВЕУ, аналіз впливу її параметрів на величину цих навантажень, а також розробка надійних і досконалих систем автоматичного обмеження навантажень має важливе практичне значення.

**Матеріали досліджень.** Основною величиною, що визначає область допустимих режимів роботи ВЕУ, є генерована потужність. Потужність, що фактично генерується в електричну мережу, не повинна перевищувати номінальної потужності генератора. Враховуючи, що у навантажувальному режимі роботи швидкість обертання вала синхронного генератора є постійною, а асинхронних – зазнає незначних змін, то потужність генератора буде обумовлена змінами обертового моменту ротора ВЕУ. Допустимий діапазон зміни відносного обертового моменту ротора визначається обмеженнями у формі нерівностей

$$\inf \bar{M}_p(z) \leq \bar{M}_p(z) \leq \sup \bar{M}_p(z),$$

де  $\inf \bar{M}_p(z)$  і  $\sup \bar{M}_p(z)$  - нижня та верхня межі робочої області на аеродинамічних характеристиках ротора ВЕУ,  $\bar{M}_p(z)$  - відносний обертовий момент ротора ВЕУ.

Координати межі робочої області залежать від геометричних розмірів ротора, параметрів генератора та передавального числа мультиплікатора. Нижня межа визначається рівнянням

$$\inf \bar{M}_p(z) = \frac{2M_{\text{CH}} k_M^2}{\pi \rho R^5 \omega_0^2} z^2, \quad (1)$$

де  $M_{\text{CH}}$  - момент сил опору у трансмісії та генераторі на холостому ході,  $k_M$  - передавальне число мультиплікатора,  $\rho$  - питома густина повітря,  $R$  - радіус ротора ВЕУ,  $\omega_0$  - синхронна кутова швидкість вала генератора,  $z$  - швидкохідність ротора ВЕУ.

Верхня межа робочої області задається рівнянням

- ВЕУ з асинхронним генератором

$$\sup \bar{M}_p(z) = \frac{2 k_M^2}{\pi \rho R^5 \omega_0^2 (1-s_H)^2} \left[ \frac{(1+a_H)P_H k_M}{\omega_0 (1-s_H)} + M_{\text{CH}} \right] z^2, \quad (2)$$

де  $s_H$  - номінальне ковзання генератора,  $a_H$  - коефіцієнт, що враховує збільшення моменту сил опору від навантаження генератора,  $P_H$  - номінальна потужність генератора;

- ВЕУ з синхронним генератором

$$\sup \bar{M}_p(z) = \frac{2 k_M^2}{\pi \rho R^5 \omega_0^2} \left[ \frac{(1+a_H)P_H k_M}{\omega_0} + M_{\text{CH}} \right] z^2. \quad (3)$$

Вирази (1), (2) і (3) є рівняннями парабол з вершиною в точці (0,0). Область допустимих навантажувальних режимів роботи ВЕУ знаходиться між цими параболою і робоча точка не повинна виходити за її межі. У відповідності з цим для ВЕУ можливі три режими роботи.

Область  $\bar{M}_p(z) \leq \inf \bar{M}_p(z)$  відповідає режиму, при якому момент, що розвивається ротором ВЕУ, менше моменту опору в трансмісії та генераторі і електрична машина працює в режимі двигуна покриваючи різницю між моментом опору і моментом ротора. Причому, кутова швидкість обертання вала генератора стає менше синхронної і машина споживає електричну енергію з мережі.

Область  $\inf \bar{M}_p(z) \leq \bar{M}_p(z) \leq \sup \bar{M}_p(z)$ , відповідає генераторному режиму, при якому момент ротора ВЕУ покриває всі втрати в трансмісії та генераторі і віддає в мережу потужність  $0 \leq P \leq P_H$ . Кутова швидкість вала генератора перевищує синхронну і змінюється в межах  $\omega_0 \leq \omega \leq \omega_H$ .

Область  $\bar{M}_p(z) \geq \sup \bar{M}_p(z)$ , теж відповідає генераторному режиму. У цій області момент ротора ВЕУ перевищує сумарний момент опору та номінальний момент генератора. Кутова швидкість валу генератора перевищує номінальну і електрична машина працює з перевантаженням.

**Висновок.** Область допустимих електричних навантажень генератора ВЕУ обмежується двома параболою, координати яких залежать від геометричних розмірів ротора, параметрів генератора та передавального числа мультиплікатора.