

действие нормальную схему пуска после восстановления напряжения в сети при повторном пуске.

В случае необходимости схема ресинхронизации дополняется автоматикой разгрузки механизма.

Таким образом, релейная защита самих ЭД, так и всей сети СН, а также связанной с ней основной сети энергосистемы, для обеспечения самозапуска не отключенных ЭД должна быть настроена с учетом следующих основных требований:

1) В тех случаях, когда КЗ вызывает значительное снижение напряжения в сети СН (повреждение кабеля, питающего двигатель, КЗ в обмотке статора и т.п.), основной целью релейной защиты является не столько защита самого ЭД, сколько быстрое отключение этих КЗ. Поэтому все ЭД должны иметь мгновенную защиту (токовая отсечка, отстроенная от токов пуска и самозапуска, или дифференциальная защита), которая отключала бы ЭД при указанных повреждениях с необходимой быстротой. Максимальная защита трансформатора или линии, питающие секции собственных нужд, должна быть отстроена от пускового тока всех ЭД, присоединенных к данному трансформатору или линии. Вставка времени этой защиты должна быть 0,5 - 0,6 сек. для того, чтобы обеспечить отстройку по времени от мгновенных защит ЭД.

2) Защита от перегрузки должна предусматриваться на тех двигателях, перегрузка которых возможна либо по технологии производства, либо в процесс самозапуска, если условия последнего тяжелы (например, шахтные мельницы и т. п.). Вставка времени действия такой защиты выбирается 8 - 10 сек, вставка по току - не ниже $1,25 \cdot I_n$. Защита от перегрузки действует на отключение только тех двигателей, условия пуска или самозапуска которых являются тяжелыми, а также в том случае, если двигатели не имеют постоянного обслуживающего персонала. Там, где это возможно, защита от перегрузки действует или на разгрузку механизма, или при наличии постоянного обслуживающего персонала на сигнал, выведенный на пункт управления.

3) Защита минимального напряжения применяется только на тех двигателях, которые необходимо отключать для обеспечения самозапуска ЭД механизмов, имеющих существенное значение для бесперебойной работы станции или для которых самопроизвольный пуск после перерыва питания недопустим по условиям технологии производства или техники безопасности.

Список литературы: 1. Григорьева В.А., Зорина В.М. Тепловые и атомные электрические станции. - М.: Энергоатомиздат, 1989. - 531 с. 2. Бурковский А.Н., Снопик Л.Ф. Расчет полезной мощности взрывозащищенных асинхронных двигателей серии ВВР в повторно-кратковременных режимах работы. // Электротехническая промышленность. Электрические машины. - 1998.- № 3 (85).- С.8-10. 3. Савин Б.В., Ширнин И.Г. Исследование и разработки взрывозащищенных асинхронных двигателей мощностью 0,25-2000 кВт. //Электротехническая промышленность. Электрические машины. – 1977, № 10 (80)- С.7-8.

Поступила в редколлегию 01.10.2010

УДК 621.65(085.5)

В.В. ШЕВЧЕНКО, канд. техн. наук, доц., УПА, м. Харків
Є.О. ЗАНИХАЙЛО, УПА, м. Харків

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ГЕНЕРАТОРІВ, ЯКІ ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ У ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВКАХ

Проведена оцінка впливу змінного потоку вітру на енергетичні параметри автономної енергетичної установки ВЕУ та її електричного генератора. Оцінено особливості роботи

електричних генераторів для реальних даних, зроблені пропозиції по можливості зниження значення необхідної швидкості вітру для рентабельної роботи ВЕУ та рекомендації по використанню різних типів електричних генераторів на ВЕУ.

Проведена оцінка впливу змінного потоку вітру на енергетичні параметри автономної енергетичної установки ВЭУ и ее електрического генератора. Оцінені особливості роботи електричних генераторів для реальних даних, зроблені пропозиції по можливості зниження значення необхідної швидкості вітру для рентабельної роботи ВЭУ и рекомендации по использованию разных типов електрических генераторов на ВЭУ.

На сьогодні актуальним є аналіз конструкцій вітроенергетичних установок (ВЕУ) і розробка технічних рішень, направлених на підвищення їх ККД і зниження порогу мінімальної швидкості вітру для забезпечення номінального режиму роботи ВЕУ і, тим самим, розширення території їх можливого використання.

Застосування систематизованих даних по використанню різного типу електричних генераторів змінного струму у ВЕУ різної потужності залежно від умов експлуатації і роду навантаження дозволить максимальним чином використовувати потенціал вітрового потоку та ВЕУ і підвищити надійність, ККД ВЕУ і економічний ефект.

Після проведеного аналізу літератури та наукових досліджень було виявлено, що порівняльного аналізу впливу швидкості вітру на енергетичні параметри різних типів електричних генераторів проведено не було.

Для розгляду залежності роботи АГ і його енергетичних параметрів від швидкості вітру і можливості підвищення ККД скористаємося залежністю виробленої потужності генератора від швидкості вітру і інших параметрів:

$$P = C_p \frac{\rho v^3}{2} \frac{\pi D^2}{4} \eta_{el} \eta_{mex} [Bm]$$

де C_p – коефіцієнт використання енергії вітру;

ρ - щільність повітря ($\rho = 1,23 \text{ кг/м}^3$ при температурі $t=15^0 \text{ C}$ и атмосферному тиску 760 мм рт. ст.);

v – швидкість вітру, м/с;

D – діаметр вітроколеса, м;

η_{el} – ККД електричного генератора;

η_{mex} – ККД механічної частини ВЕУ.

Швидкість вітру на момент часу t носить випадковий характер і визначається на підставі спостережень і з певною точністю прогнозується. Проаналізуємо зміну енергетичних параметрів для генераторів ВЕУ різних типів в залежності від швидкості вітру.

При розгляді енергетичних співвідношень умовимося нехтувати втратами в системах і прийнемо коефіцієнт потужності постійним.

Рівняння балансу потужностей для автономної системи електропостачання з АГ, що самозбуджується при включенні конденсаторів в ланцюг обмотки статора, представимо у вигляді:

$$m_1 U_1 I_1 \cos \varphi_1 = m_1 U_1 I \cos \varphi_1$$

$$m_1 \left[\frac{I_k^2}{\omega_1 C} - I^2 \omega_1 L \right] = Q_{AG}$$

$$m_1 \frac{I_k^2}{\omega_1 C} = Q_{AG}$$

$$m_1 \frac{I_k^2}{\omega_1 C} + m_1 I^2 \left[\frac{1}{\omega_1 C_k} - \omega_1 L \right] = Q_{AG}$$

$$\frac{m_1}{\omega_1} \left[\frac{I_k^2}{C} + \frac{I_k^2}{C_k} \right] = Q_{AG}$$

де I_l, I, I_k — струми генератора, навантаження і шунтуючих конденсаторів;

ω_l — кутова частота напруги генератора;

L — індуктивність навантаження;

C, C_k — ємкість шунтуючих та компаундууючих конденсаторів;

φ_l, φ — фазові кути зрушення генератора і навантаження;

m_l — кількість фаз обмотки статора генератора;

$P_{эм} = m_l U_l I_l \cos \varphi_l$ - електромагнітна активна потужність генератора; кВт;

$Q_{AG} = m_l U_l I_l \sin \varphi_l$ - реактивна потужність генератора.

Перше рівняння системи є рівнянням балансу активних потужностей. Воно справедливе для будь-якої автономної системи з АГ, що самозбуджується. Останні рівняння виражають баланс реактивних потужностей при активно - індуктивному або активному навантаженні і при використанні у генераторній установці лише шунтуючих конденсаторів або конденсаторів, що компаундують.

Рівняння балансу реактивної потужності є доцільними для автономної системи лише в тому випадку, якщо для вирівнювання частоти у споживачів автономної системи не застосовується вставка випрямляч - інвертор. Якщо дана вставка є, то баланси реактивної потужності складаються окремо для АГ з метою його збудження і для автономної електричної мережі з метою забезпечення високої якості електроенергії шляхом компенсації реактивній потужності.

При спільній паралельній роботі генераторів на активно - індуктивне навантаження їх активні потужності складаються, а реактивна потужність системи дорівнює сумарній реактивній потужності шунтуючих конденсаторів та конденсаторів, що компаундують. З вираження балансу реактивній потужності для активно-індуктивного навантаження можна знайти залежність кутової частоти напруги:

$$m_1 \left[\frac{I_k^2}{\omega_1 C} - I^2 \omega_1 L \right] = Q_{AG}$$

$$\frac{m_1 (I_k^2 - I^2 \omega_1^2 LC)}{\omega_1 C} = Q_{AG}$$

$$\frac{\omega_1 m_1 (I_k^2 - I^2 \omega_1^2 LC)}{\omega_1 C} = Q_{AG} \omega_1$$

$$m_1 I_k^2 - m_1 I^2 \omega_1^2 LC = Q_{AG} \omega_1 C$$

$$- m_1 I^2 \omega_1^2 LC - Q_{AG} \omega_1 C + m_1 I_k^2 = 0$$

$$m_1 I^2 \omega_1^2 LC + Q_{AG} \omega_1 C - m_1 I_k^2 = 0$$

$$m_1 I^2 LC = A \quad Q_{AG} C = B \quad - m_1 I_k^2 = K$$

$$A \omega_1^2 + B \omega_1 + K = 0$$

$$D = b^2 - 4ac = B^2 - 4AK$$

$$\omega_{1,2} = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AK}}{2A}$$

$$\omega_{1,2} = \frac{-Q_{AG} C + \sqrt{(Q_{AG} C)^2 + 4m_1 I^2 LC m_1 I_k^2}}{2m_1 I^2 LC} = \frac{-Q_{AG}}{2m_1 I^2 L} + \sqrt{\frac{Q_{AG}^2}{4m_1^2 I^4 L^2} + \frac{4m_1^2 I^2 LC I_k^2}{4m_1^2 I^4 L^2 C^2}} =$$

$$= \frac{-Q_{AG}}{2m_1 I^2 L} + \sqrt{\frac{Q_{AG}^2}{4m_1^2 I^4 L^2} + \frac{I_k^2}{I^2 LC}} = \frac{-Q_{AG}}{2m_1 I^2 L} + \frac{1}{I} \sqrt{\frac{Q_{AG}^2}{4m_1^2 I^2 L^2} + \frac{I_k^2}{LC}}$$

$$f = \frac{\omega_1}{2\pi}$$

де f – частота мережі.

З рівняння електромагнітного моменту M_{em} для АГ знайдемо залежність вихідної напруги від активної потужності, що виробляється генератором:

$$M_{em} = \frac{m_1 p R_2' U_{1H}^2}{2\pi f S ((R_1 + \frac{R_2'}{S}) + (X_1 + X_2')^2)}$$

$$U_{1H} = \sqrt{\frac{M_{em} 2\pi f S ((R_1 + \frac{R_2'}{S}) + (X_1 + X_2')^2)}{m_1 p R_2'}} \quad M_{em} = \frac{P_{em}}{2\pi f}$$

$$U_{1H} = \sqrt{\frac{P_{em} S ((R_1 + \frac{R_2'}{S}) + (X_1 + X_2')^2)}{m_1 p R_2'}}$$

де p – число пар полюсів;

S – ковзання ($S_H = 0,05-0,08$);

M_{em} – електромагнітний момент на валу генератора;

R_1 – активний опір обмотки статора;

R_2' – приведений активний опір обмотки ротора;

X_1 – реактивний опір обмотки статора ;

X_2' - приведений реактивний опір обмотки ротора.

Для роботи будь-якої АМ в генераторному режимі необхідне джерело реактивної потужності. Значення ємкості, необхідної для збудження генератора при даній частоті:

$$C = \frac{1}{[(2\pi f_1)^2 (L_1 + L_m)]}$$

де L_1 і L_m - відповідно індуктивність обмотки статора і контуру генератора, що намагнічує, Гн.

У загальному випадку, ємкість, яка необхідна для здобуття напруги на генераторі при значенні навантаження, визначається:

$$Q_C = m_1 U_C^2 / X_C = Q_G + Q_H = P_2 \operatorname{tg} \varphi_2 + P_H \operatorname{tg} \varphi_H, \text{ вар};$$

Приймемо

$$P_2 = P_H = P_{ном}$$

$$X_C = 1 / (\omega_1 C) = 1 / (2\pi f_1 C), \text{ Ом};$$

Тоді остаточне значення ємкості, необхідної для роботи АГ з змінною частою обертання приводного двигуна:

$$C = P_{ном} (\operatorname{tg} \varphi_2 + \operatorname{tg} \varphi_H) / (2\pi f_1 m_1 U_C^2), \text{ Ф}$$

де $P_{ном}$ - потужність, що віддається генератором, Вт;

U_C - напруга на конденсаторах, В;

f_1 - частота струму, що виробляється, Гц;

φ_2 і φ_H - кути зрушення фаз між напругою

$U_2 = U_C$ струми генератора і навантаження.

Дослідження показали, що автономні АГ доцільно використовувати при значеннях $n_2 / n_{ном} \geq 0,9$. При менших n_r необхідна ємкість швидко зростає і генератор майже повністю завантажується реактивним струмом.

Розглянемо енергетичні характеристики синхронного генератора з постійними магнітами (СГПМ) по аналогічній методиці.

Рівняння балансу потужностей для автономної системи електропостачання з синхронним генератором на постійних магнітах представлені нижче:

$$m_1 U_1 I_1 \cos \varphi_1 = m_1 U_{ген} I_{ген} \cos \varphi_{ген}$$

$$m_1 I_1 \omega_1 L = Q_{ген}$$

Перше рівняння це рівняння балансу активних потужностей. Воно справедливе для будь-якої автономної системи з синхронним генератором (СГ). Друге рівняння показує баланс реактивної потужності в автономній системі з активно - індуктивним навантаженням. З формули балансу активних потужностей витікає залежність напруги від їх коливань:

$$U_1 = \frac{P_{ем}}{m_1 I \cos \varphi}$$

З формули балансу реактивної потужності для активно-індуктивного навантаження можна знайти залежність кутової частоти напруги:

$$m_1 I^2 \omega_1 L = Q_{AG}$$

$$\omega_1 = \frac{Q_{AG}}{m_1 I^2 L} \quad f = \frac{\omega_1}{2\pi}$$

Подальші розрахунки зроблено на базі статистичних даних Українського гідрометеорологічного центру для географічного району міста Сімферополя Автономної Республіки Крим. На підставі змодельованої швидкості вітру були зроблені розрахунки основних енергетичних параметрів автономної мережі. Дана математична модель була реалізована в середовищі математичної програми MathCad. Після проведених розрахунків залежності енергетичних параметрів АГ з к.з. ротором і СГПМ по методиках, які були описані вище, отримані графіки залежностей для однієї доби, місяця, кварталу і року. На рисунках 1, 5, 9 і 13 показано зміну швидкості вітру протягом доби, місяцю (червень 2009 р.), кварталу (весна 2009 р.) і 2009 року відповідно, на рисунках 2 - 4, 6 - 8, 10 - 12 і 14 - 16 наведено значення активної потужності, що виробляється, значення напруги та її частоти в залежності від швидкості вітру.

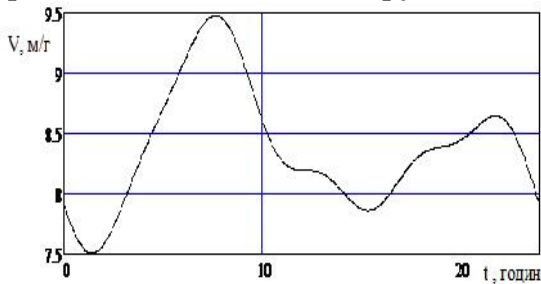


Рис. 1 - Швидкість вітру протягом доби (16.01.2009)

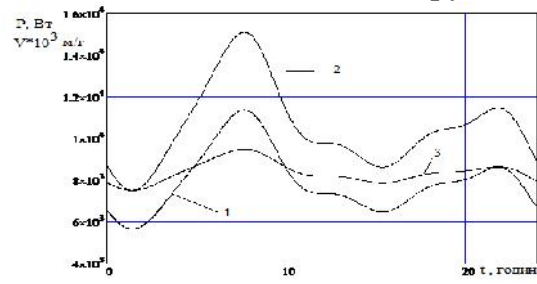


Рис. 2 - Активна потужність генератора залежно від зміни швидкості вітру протягом доби: 1 – АГ з к.з. ротором, 2 – СГПМ, 3 – швидкість вітру

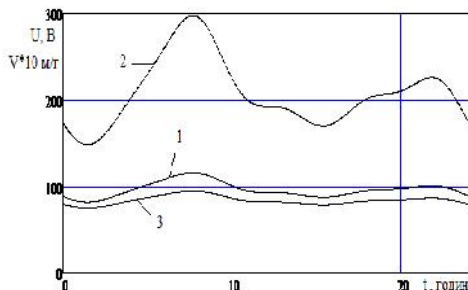


Рис. 3 - Напруга, що виробляється генератором, залежно від зміни швидкості вітру протягом доби: 1 – АГ з к.з. ротором, 2 – СГПМ, 3 – швидкість вітру

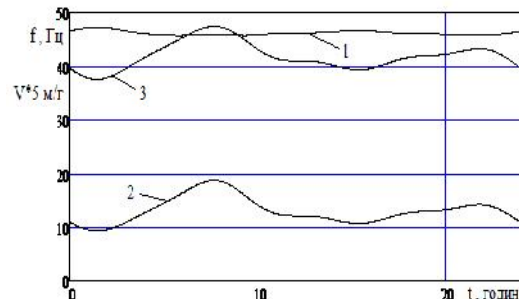


Рис. 4 - Частота напруги, що виробляється генератором, залежно від зміни швидкості вітру протягом доби: 1 – АГ з к.з. ротором, 2 – СГПМ, 3 – швидкість вітру

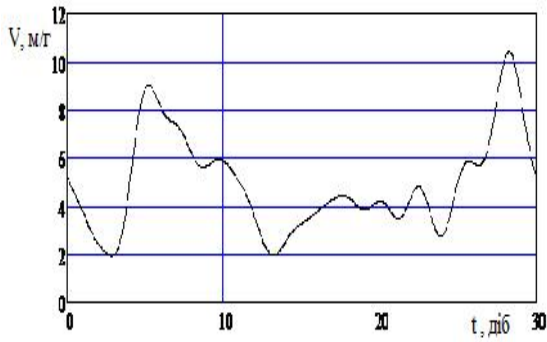


Рис. 5 - Швидкість вітру протягом місяця (червень 2009 р.)

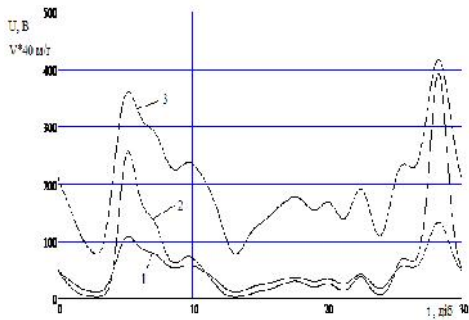


Рис. 7 - Напруга генератора в залежності від зміни швидкості вітру протягом місяця: 1 – АГ з к.з. ротором, 2 – СГПМ, 3 – зміна швидкості вітру

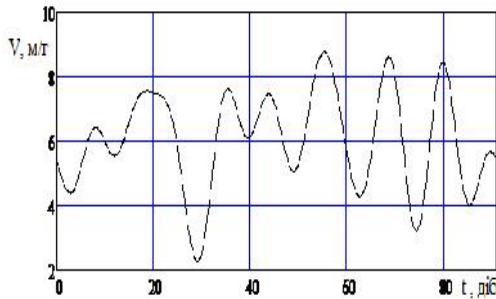


Рис. 9 - Швидкість вітру протягом кварталу (весна 2009)

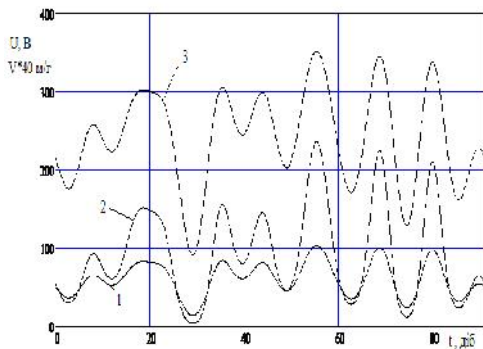


Рис. 11 - Напруга, що виробляється генератором, залежно від зміни швидкості вітру протягом кварталу: 1 – АГ з к.з. ротором, 2 – СГПМ, 3 – швидкість вітру

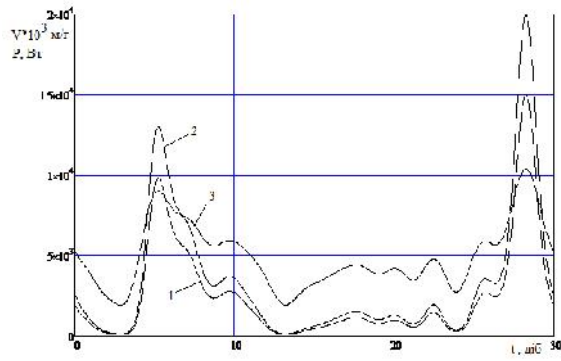


Рис. 6 - Активна потужності, що виробляється генератором, залежно від зміни швидкості вітру протягом місяця: 1 – АГ з к.з. ротором, 2 – СГПМ, 3 – зміна швидкості вітру

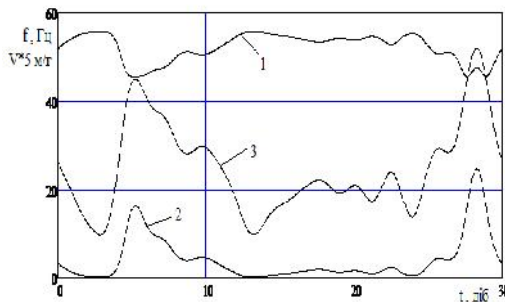


Рис. 8 - Частоти напруги генератора залежно від зміни швидкості вітру протягом місяця: 1 – АГ з к.з. ротором, 2 – СГПМ, 3 – зміна швидкості вітру.

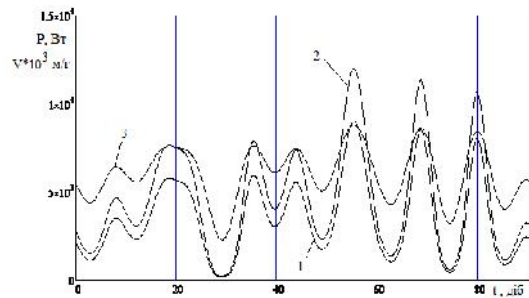


Рис. 10 - Активна потужності, що виробляється генератором залежно від зміни швидкості вітру протягом кварталу: 1 – АГ з к.з. ротором, 2 – СГПМ, 3 – зміна швидкості вітру

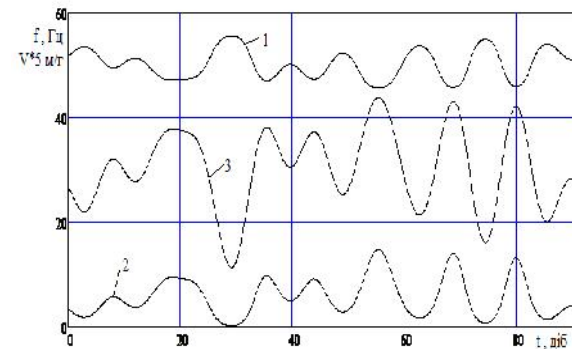


Рис. 12 - Напруга, що виробляється генератором, залежно від зміни швидкості вітру протягом кварталу: 1 – АГ з к.з. ротором, 2 – СГПМ, 3 – швидкість вітру

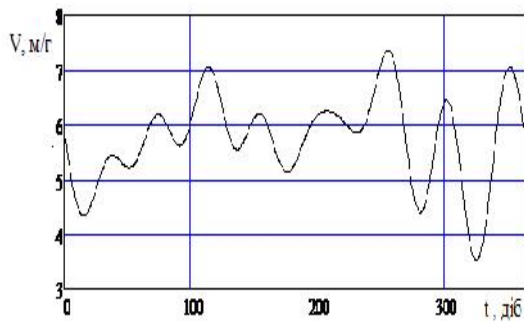


Рис. 13 - Швидкості вітру протягом року (2009 р.)

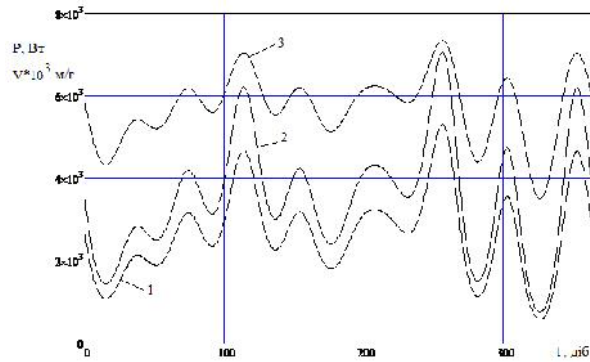


Рис. 14 - Активна потужність, що виробляється генератором, залежно від зміни швидкості вітру протягом року: 1 – АГ з к.з. ротором, 2 – СГПМ, 3 – зміна швидкості вітру

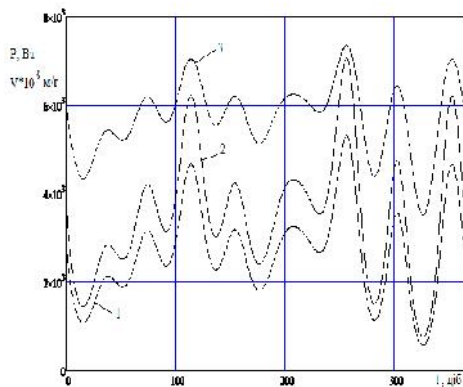


Рис. 15 - Напруга, що виробляється генератором, залежно від зміни швидкості вітру протягом року: 1 – АГ з к.з. ротором, 2 – СГПМ, 3 – зміна швидкості вітру

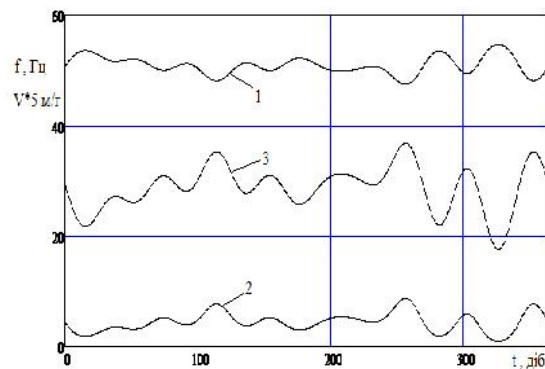


Рис. 16 - Частота напруги, що виробляється генератором, залежно від зміни швидкості вітру протягом року: 1 – АГ з к.з. ротором, 2 – СГПМ, 3 – зміна швидкості вітру

Аналізуючи графіки, можна зробити висновки:

1) порівняння енергетичних характеристик генераторів (активна потужність, напруга і частота) показує, що для ВЕУ малої потужності треба використовувати не АГ з к.з. ротором, а СГПМ, як генеруючі одиниці.

2) Також можна зробити висновок про більш ефективну роботу ВЕУ з СГПМ при менших швидкостях вітру, чим ВЕУ з АГ з к.з. ротором.

3) Оскільки при швидкостях вітру 9 м/с і більш генератори перевищують своє номінальне навантаження, (допустиме перевантаження $1,5 P_n$), з урахуванням можливого перевантаження необхідна установка гальма. Цього можна досягти також шляхом установки захисту від бурі.

4) При різко змінному значенні швидкості вітру СГПМ мають гірші енергетичні параметри, ніж АГ з к.з. ротором. Але якщо врахувати той факт, що для споживача необхідно надавати електроенергію заданої якості, то необхідна установка вставки постійного струму. Вставка випрямляча – інвертора зрівнює параметри СГПМ і АГ. Але АГ з к.з. ротором має меншу надійність, ніж СГПМ.

5) У зв'язку з тим, що для роботи АГ необхідна реактивна потужність від додаткових пристроїв або з автономної мережі, різко знижується ККД самого генератора. Внаслідок цього погіршується ефективність використання вітрового потоку і зниження потужності, що виробляється.

б) АГ з к.з. ротором обмежені в промисловому вживанні із-за спотворення форми вихідної напруги і незадовільних динамічних властивостей.

Список літератури: 1. Алиев И.И. Асинхронный генератор с гарантированным самовозбуждением. // Электричество, 1997, №7. 2. Балагуров В.А., Электрические генераторы с постоянными магнитами. /Ф.Ф. Галтеев - М.: Энергоатомиздат, 1988.-290 с. 3. Шевченко В.В. Проблемы и основные направления развития электроэнергетики в Украине. // Энергетика та електрифікація. № 7(287), 2007. 4. Кривцов В.С. Неисчерпаемая энергия. Кн.1. Ветроэлектростанции. / А.М. Олейников, А.И. Яковлев.- Учебник. - Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т, Севастополь: Севаст. нац. техн. ун-т, 2003.-400 с.

Поступила в редколлегию 01.10.2010

УДК 621:039

Ph. D. **SOLIŃSKA MIECZYŚLAWA**, Politechnika Krakowska, Kraków

Ph. D. **IWASZCZUK NATALIA**, Uniwersytet Rzeszowski, Rzeszów

NUCLEAR POWER PLANTS AS THE BALANCING SOURCE IN FULFILLMENT OF ENERGY REQUIREMENTS – FORECAST UP TO 2030

The energetic management in most of the countries, mainly based on the hard coal and lignite consumption, must be changed up to 2030 and the natural gas energy as well renewable energy should be more and more significant. As the energy forecast up to 2030 for Poland shows, taking into consideration growth the national requirement and the necessity of lowering the environmental pollution (being the effect of Union Directives), it is necessary to introduce the nuclear energy into energetic balance. The paper shows that the energy development decision makers took into account renewable energy and nuclear energy, which were neglected in the past by the government and ignored by coal energy producers. The newest data of nuclear energy in energy balances of various countries were presented.

Енергетичний менеджмент, який у більшості країн світу базується на кам'яному вугіллі та споживанні лініту, повинен зазнати змін до 2030 року, а видобування енергії з природного газу, як більш екологічно чистого джерела енергії, повинно збільшитися. Прогнози для Польщі до 2030 року, враховуючи зростання національних потреб і вимог (згідно Директив Євросоюзу) щодо зниження екологічного забруднення, показують, що в енергетичний баланс країни необхідно ввести ядерну енергетику. Стаття показує, що теперішня влада, на відміну від попередньої, почала враховувати потреби використання відновлювальної та ядерної енергетики, що раніше ігнорувалося з огляду на виробників енергії з кам'яного вугілля. У статті також наведено найновіші дані про частку ядерної енергії в енергетичних балансах різних країн.

Introduction

Together with growth of human population on Earth the energy requirement also grows. The analysis of current energy consumption rate indicates its exponential character. That is because the problem of energy supply is crucial and strategic problem of each country economy.

The important factor forming currently energetic sector development in European countries is growth of relation between environment and economical activity. The necessity of political integration in both these areas influenced on increase of costs connected with development of installations serving limitation of harmful emissions, lowering of energetic sector expansion, implementation of combustion technologies for environmentally friendly fuels.