

УДК 621.311.2

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2024.1.1/26>**Кулінченко Г.В.**

Сумський державний університет

Панич А.О.

Сумський державний університет

Бугаць П.І.

Сумський державний університет

Давиденко І.Л.

Сумський державний університет

Левковський О.В.

Сумський державний університет

ОЦІНКА ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ УСТАНОВКИ УТИЛІЗАЦІЇ ТИСКУ ГАЗУ

Основні тенденції досліджень по підвищенню енергоефективності генеруючих установок альтернативної енергетики представляються конкретними аспектами досліджень установок генерації певного типу. Ці аспекти визначаються галузями знань, що формують відомі методи досліджень. Це стосується генераторів, турбін або систем керування. Проте, більш перспективним представляється системний підхід, який передбачає комплексний аналіз об'єкта керування, коли складові загального процесу розглядаються во взаємодії. Розглядаючи детандер-генераторний агрегат (ДГА), який використовується для утилізації надлишкового тиску газорозподільчих мереж, враховано специфіку вихрової турбіни, що задіяна в якості детандера. Враховуючи тенденції побудови генеруючих установок альтернативної енергетики, проаналізовані варіанти застосувань генераторів різних типів. Фактори вибору типу генератора не обмежуються габаритно-вартісними показниками. Забезпечення характеристик якості генерації електроенергії є узагальнюючим фактором, що визначає ефективність генерації, оскільки розбудова засобів керування установкою генерації залежить від застосованих підходів та технічних засобів. Метою роботи є розробка методів для оцінки параметрів якості генерації електричної енергії, що продукується ДГА. Головне завдання при цьому представляється як дослідження характеру взаємодії електричних та механічних процесів, де фактором змін є тип задіяного генератора. В роботі розглянуто функціонування математичних моделей ДГА, в яких по черзі використовуються асинхронний, синхронний та синхронний з постійними магнітами генератори в умовах дії збурень електричного навантаження. Отримано експериментальні дані, що необхідні для структурно-параметричного синтезу регулятора ДГА. Враховуючи взаємозв'язок електричних та механічних параметрів функціонування ДГА, наявність обмотки збудження синхронного генератора в якості окремого контуру керування відкриває можливість підвищення керованості ДГА при зміні навантаження. Опрацьовано методіку оцінки параметрів електричної генерації установки утилізації надлишкового тиску газу.

Ключові слова: детандер-генераторний агрегат, генератор, якість електроенергії, математична модель.

Постановка проблеми. Виходячи із завдань розбудови системи керування детандер-генераторним агрегатом (ДГА), який забезпечує утилізацію надлишкового тиску газових мереж, першочерговою задачею представляється формалізація опису складових цієї системи. Не викликає сумнівів твердження, що суттєвим фактором забезпечення ефективної роботи ДГА є вибір типу генератора цього агрегату. Твердження зумовлено тим, що

крім основного призначення, генератор виконує функції стабілізації та регулювання параметрів, які визначають якість генерованої електроенергії.

У складі ДГА використовують різні типи генераторів, при цьому кожний із них має свої переваги та недоліки. Тому, в залежності від вибраного генератора, формують відповідну структуру системи керування та алгоритми взаємодії із мережею навантаження, оскільки кожний тип генератора

має свої відмінності. Відповідно, можливість мінімізації наслідків стрибкоподібних змін навантаження визначається динамікою вибраного типу генератора.

Традиційно керування генераторними установками спрямовано на підтримку балансу потужностей турбогенератора і навантаження, а також на утримання частоти напруги, що генерується. В той же час досвід експлуатації генераційних агрегатів показує, що параметри вхідного потоку детандера можуть теж довільно змінюватися у часі, викликаючи коливання частоти обертання ДГА.

Таким чином взаємовплив різних по характеру фізичних процесів ускладнює структуру системи керування ДГА та не дає однозначної відповіді на вибір типу генератора ДГА. Звернемося до чинників, що визначають вибір типу генератора.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Підходи до вибору генераторів для різних турбін диктуються специфікою галузі, в якій передбачається використовувати досліджуване джерело енергії, наприклад, для міні ГЕС [1]. Аналізуючи завдання забезпечення функціонування вітрових енергетичних установок (ВЕУ), принцип дії яких нагадує роботу ДГА, можна констатувати, що основні зусилля по розробках ВЕУ спрямовані на удосконалення їх конструкції. У складі ВЕУ використовуються або асинхронні генератори (АГ), або синхронні (СГ). При цьому АГ може бути як із короткозамкненим ротором, так і з фазним ротором. Використовувані у ВЕУ типи СГ різняться за типом збудження (електромагнітне, магнітоелектричне) або за принципом збудження поля, наприклад, індукторним.

Суттєвого поширення в наш час набули дослідження, що спрямовані на використання у ВЕУ асинхронізованих синхронних генераторів [2].

Проте, найбільший об'єм застосування у відновлюваній енергетиці набуває синхронний генератор на постійних магнітах (СГПМ) [3]. Це пов'язано з тим, що він має просту конструкцію, високий ККД та прийнятні експлуатаційні характеристики.

Переваги АГ теж асоціюються з надійністю функціонування, простотою конструкції, та особливо, низькою вартістю. Ці переваги знецінюються завдяки складності вирішення завдань стабілізації вихідної напруги АГ та необхідності компенсації реактивної потужності навантаження, пов'язаної із забезпеченням збудження АГ. Останні чинники суттєво гальмували використання АГ в установках генерації України внаслідок відсутності малогабаритних конденсаторів, які забезпечують збу-

дження АГ. Хоча поява компактних конденсаторів полегшує вирішення схемних задач забезпечення збудження АГ, проте реалізація алгоритмів комутації та надійних комутаторів конденсаторів на промислому рівні залишаються відкритими [4].

Вирішення завдань стабілізації робочих режимів АГ у складі генераторної установки досягається з допомогою додаткових технічних засобів, але їх використання дещо знижує ККД установки. Тому АГ частіше використовується в генераційних установках малої потужності.

Вибір типу генератора для ДГА ускладнюється відсутністю чітких критеріїв та рекомендацій щодо цього вибору. Тому економічні критерії, де аналізуються масо-габаритні та експлуатаційні характеристики, хоч і зменшують поле пошуку потрібних генераторів [5], але їх вплив на формування підходів до побудови ефективних систем електрогенерації мінімальний.

Основні тенденції досліджень по підвищенню енергоефективності генеруючих установок представлені окремими аспектами функціонування установки генерації конкретного типу, наприклад, генератора, турбіни або системи керування. Проте, максимальну ефективність установки генерації може отримати лише за системним підходом, коли установка генерації розглядається як комплексний об'єкт.

Для оцінки параметрів функціонування установки генерації, зокрема, дослідженні параметрів стійкості, визначенні оптимальних режимів роботи, доцільний комплексний аналіз механічних характеристик джерела механічної енергії та навантажувальних характеристик генератора [6]. Механічні характеристики турбіни визначаються діючими потоками та аеродинамікою простору турбіни, що формує момент обертання джерела механічної енергії. Врахування взаємодії елементів турбіни достатньо важливо при розбудові системи керування ДГА, оскільки зміна моменту обертання турбіни здійснюється шляхом впливу на потоки, що створюють обертальний момент турбіни.

Дослідження згаданих процесів взаємодії АГ та ТДА з використанням їх механічних характеристик показало [7], що зміна моменту навантаження може суттєво впливати на напругу статора генератора. Наслідки збурення електричного навантаження, що проявляються у зміні частоти обертання турбіни, долаються шляхом керування величиною ємностей, які використовуються для самозбудження АГ. При цьому треба враховувати, що процес регулювання напруги АГ відбувається за рахунок зміни частоти обертання агрегату, яка у свою чергу визначається

моментом обертання турбіни. Ці зміни впливають на частоту генерованого струму.

Вочевидь, що зміна електричного навантаження ДГА впливає і на частоту обертання СГ, який може використовуватися у складі ДГА. Відсутність числових даних, що необхідні для коректного порівняння ефективності згаданих генераторів, обумовлює кроки, які здатні подолати ситуацію, що склалася.

Відповідно, актуальність цієї роботи полягає в отриманні даних, що дозволять сформулювати підходи до вибору генераторів ДГА. Врахування відмінностей механічних характеристик генераторів, що використовуються в ДГА, дає змогу визначити тактику комплексної розробки системи керування установкою генерації.

Метою роботи є розробка методів для оцінки параметрів якості генерації електричної енергії, що продукується ДГА. Головне завдання при цьому представляється як дослідження характеру взаємодії електричних та механічних процесів, де фактором змін є тип задіяного генератора.

Постановка задачі формулюється як розробка засобів моделювання згаданих процесів та оцінка результатів моделювання, відповідно до поставленої мети в умовах дії збурень, які супроводжують процес споживання згенерованої енергії.

Виклад основного матеріалу. Підґрунтям вирішення поставленої задачі є створення співставних умов для оцінки параметрів, що характеризують процес електрогенерації. До таких параметрів належать відхилення та коливання напруги, провали та кидки напруги або зміни частоти цієї напруги. Відповідно, для досягнення поставленої мети досліджень використовуються моделі стандартів, які дають змогу порівняти параметри генерації електроенергії генераторами різних типів.

При моделюванні генерації ДГА задіяна модель вихрової турбіни [8], яка використовується в якості джерела механічної енергії. На схемі, що зображена на рис. 1, турбіна представлена блоком, вихід якого характеризується параметром M_T (момент турбіни), а вхідним параметром є перепад тиску ΔP , що діє на лопаті турбіни.

Ключовим елементом моделі ДГА (рис. 1) є елемент підсумовування, яким відображується взаємодія моменту обертання турбіни, моменту реакції генератора M_G на електричне навантаження та аеродинамічного моменту опору M_A . Саме результат взаємодії моментів M_m визначає швидкість обертання агрегату:

$$J \frac{d\omega}{dt} = M_T - M_G - M_A, \quad (1)$$

де J – сумарний момент інерції агрегату; ω – швидкість обертання агрегату; M_T , M_G , M_A – момент турбіни, генератора та аеродинамічний момент відповідно.

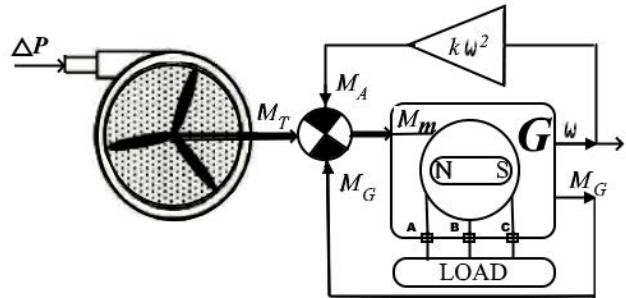


Рис. 1. Схема моделі ДГА

Основним завданням дослідження моделі ДГА є отримання даних, що відображують вплив електричного навантаження LOAD на режим функціонування генератора G . Ці дані необхідні для побудови регулятора ДГА, який забезпечить мінімізацію коливань параметрів споживаної енергії. Згадані коливання, що пов'язані із змінами електричного моменту M_G , впливають не тільки на параметри згенерованої напруги, але й на режим роботи усього ДГА.

Методика оцінки параметрів генерації базується на порівнянні характеристик напруги генерації ДГА, в якому задіяні генератори різного типу. Повертаючись до результатів аналізу типів генераторів, що працюють в альтернативній енергетиці, можна констатувати, що для генерації використовуються як АГ, так і СГ [9, 10]. Таким чином, змінюючи по черзі генератори, що під'єднуються до однієї вихрової турбіни (ВТ) вибраної конструкції, отримуються дані для оцінки параметрів генерації ДГА.

Зважаючи на можливість стабілізації моменту обертання турбіни з допомогою регулятора [11], можна вважати, що задіяна ВТ є джерелом сталого моменту обертання M_T . Це припущення дає змогу значно спростити схему моделі і представити її у вигляді, як зображено на рис. 2.

Як видно із схеми рис. 2, в моделі задіяно СГПМ (PMSM), до якого під'єднано симетричне активне навантаження. Підхід до моделювання СГПМ базується на рівняннях динаміки, що описують його функціонування у координатах d, q [12]:

$$\frac{di_d}{dt} = \frac{\dot{E}_N}{x_d} [U_d - r_s i_d + n x_q i_q] \quad (2)$$

$$\frac{di_q}{dt} = \frac{\omega_N}{x_q} [U_q - r_s i_q - (x_d i_d + \psi_M) n] \quad (3)$$

$$M_e = \psi_M i_q + (x_d - x_q) i_d i_q \quad (4)$$

$$\frac{dn}{dt} = [M_e + M_m - Fn] \quad (5)$$

де i_d, i_q – струми генератора по осях d та q ; U_d, U_q – наруги генератора по осях d та q ; ω_N – кутова швидкість електричного поля; n – кутова швидкість обертання турбіни; x_d, x_q – реактивності статорних обмоток по осях d та q ; r_s – опір обмоток статора; ψ_M – магнітний потік ротора; M_e, M_m – електромагнітний та механічний моменти; F – коефіцієнт тертя.

При цьому вважається, що осі d - q рівнянь (2)–(5) обертаються синхронно з магнітним потоком ротора СГПМ.

Моделювання збурення навантаження СГПМ здійснюються шляхом перемикання додаткових опорів з допомогою генератора комутуючих сигналів GenZ.

Оскільки найважчим випробуванням системи генерації електроенергії є скидання та накидання електричного навантаження, то при моделюванні досліджуваного ДГА здійснюється імітація стрибкоподібних змін режиму функціонування. На рис. 3 показані осцилограми сигналів, що характеризують зміни режимів навантаження ДГА з використанням СГПМ.

Із отриманих осцилограм видно, що при зміні електричного навантаження СГПМ суттєво зменшується момент і швидкість обертання, а головне – помітно спадає генерована напруга. Реакція системи є похідними даними для формування вимог до регулятора, який використовується для стабілізації частоти обертання та мінімізації коливань електричних параметрів мережи споживання. Згадані дані не є типовими та узагальнюючими, оскільки досліджуваний об'єкт керування (ОК) характеризується нелінійним характером зв'язків його параметрів.

Для компенсації згаданих коливань на практиці використовуються різні регулятори, що забезпечують ефективну експлуатацію лише в певному обмеженому діапазоні коливань.

Оцінка функціонування моделі ДГА, в якій використовується СГ з обмоткою збудження, здійснюється за схемою, де задіяна раніше представлена ВТ (рис. 4). Характер збурень навантаження відповідає схемі моделювання ДГА з використанням СГПМ (рис. 2).

Як видно із схеми рис. 2, в моделі задіяно СГПМ (PMSM), до якого під'єднано симетричне активне навантаження. Підхід до моделювання СГПМ базується на рівняннях динаміки, що описують його функціонування у координатах d, q [12]:

$$\frac{di_d}{dt} = \frac{\dot{E}_N}{x_d} [U_d - r_s i_d + n x_q i_q] \quad (2)$$

$$\frac{di_q}{dt} = \frac{\omega_N}{x_q} [U_q - r_s i_q - (x_d i_d + \psi_M) n] \quad (3)$$

$$M_e = \psi_M i_q + (x_d - x_q) i_d i_q \quad (4)$$

$$\frac{dn}{dt} = [M_e + M_m - Fn] \quad (5)$$

де i_d, i_q – струми генератора по осях d та q ; U_d, U_q – наруги генератора по осях d та q ; ω_N – кутова швидкість електричного поля; n – кутова швидкість обертання турбіни; x_d, x_q – реактивності статорних обмоток по осях d та q ; r_s – опір обмоток статора; ψ_M – магнітний потік ротора; M_e, M_m – електромагнітний та механічний моменти; F – коефіцієнт тертя.

При цьому вважається, що осі d - q рівнянь (2)–(5) обертаються синхронно з магнітним потоком ротора СГПМ.

Моделювання збурення навантаження СГПМ здійснюються шляхом перемикання додаткових опорів з допомогою генератора комутуючих сигналів GenZ.

Оскільки найважчим випробуванням системи генерації електроенергії є скидання та накидання електричного навантаження, то при моделюванні досліджуваного ДГА здійснюється імітація стрибкоподібних змін режиму функціонування. На рис. 3 показані осцилограми сигналів, що характеризують зміни режимів навантаження ДГА з використанням СГПМ.

Із отриманих осцилограм видно, що при зміні електричного навантаження СГПМ суттєво зменшується момент і швидкість обертання, а головне – помітно спадає генерована напруга. Реакція системи є похідними даними для формування вимог до регулятора, який використовується для стабілізації частоти обертання та мінімізації коливань електричних параметрів мережи споживання. Згадані дані не є типовими та узагальнюючими, оскільки досліджуваний об'єкт керування (ОК) характеризується нелінійним характером зв'язків його параметрів.

Для компенсації згаданих коливань на практиці використовуються різні регулятори, що забезпечують ефективну експлуатацію лише в певному обмеженому діапазоні коливань.

Оцінка функціонування моделі ДГА, в якій використовується СГ з обмоткою збудження, здійснюється за схемою, де задіяна раніше представлена ВТ (рис. 4). Характер збурень навантаження відповідає схемі моделювання ДГА з використанням СГПМ (рис. 2).

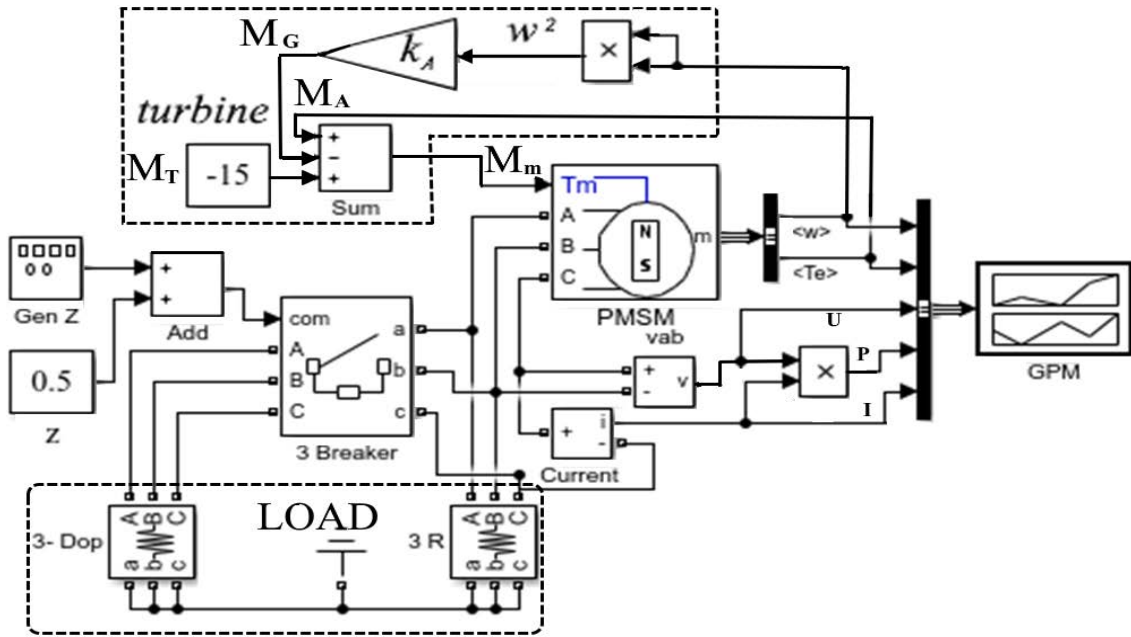


Рис. 2. Модель ДГА в середовищі MATLAB Simulink

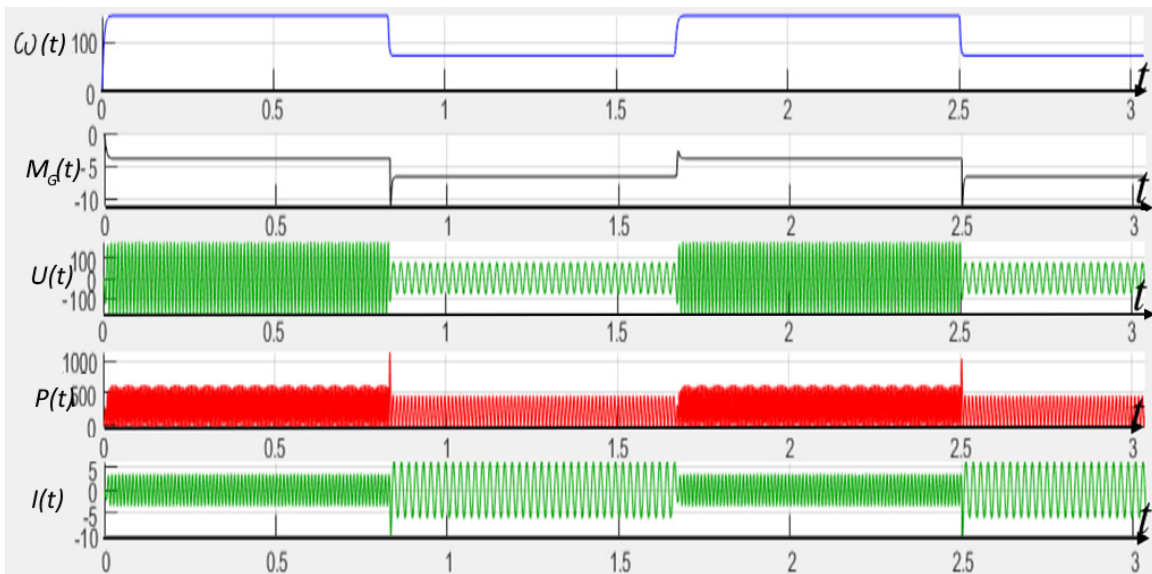


Рис. 3. Осцилограми сигналів, що характеризують зміни режимів ДГА:
 $\omega(t)$ – швидкість обертання валу ДГА; $M_G(t)$ – момент СГПМ; $U(t)$ – фазна напруга;
 $P(t)$ – потужність згенерованої енергії; $I(t)$ – струм фази

Побудова моделі у середовищі MATLAB Simulink складнощів не викликає [13] та має 3-хфазну структуру. Рівняння кожної фази складається з послідовного джерела напруги з імпедансом, який задається у таблиці похідних даних [14]. Задіяний блок спрощеної моделі СГ при моделюванні реалізує механічну систему, що відповідає рівнянню (1).

Специфіка моделювання СГ з бібліотеки MATLAB Simulink обумовлює керування його режимами по входу P/ω , що враховується співвід-

ношенням між потужністю P ДГА, його моментом M та швидкістю обертання ω :

$$P = M * \omega \quad (6)$$

Осцилограми сигналів, що відображують зміни параметрів генерації ДГА в умовах зміни режимів навантаження СГ, показані на рис. 5.

Приведені осцилограми показують суттєву перевагу СГ з обмоткою збудження над СГПМ. Це витікає із стабільності рівня згенерованої напруги (навіть у відсутності будь якого регулятора) та

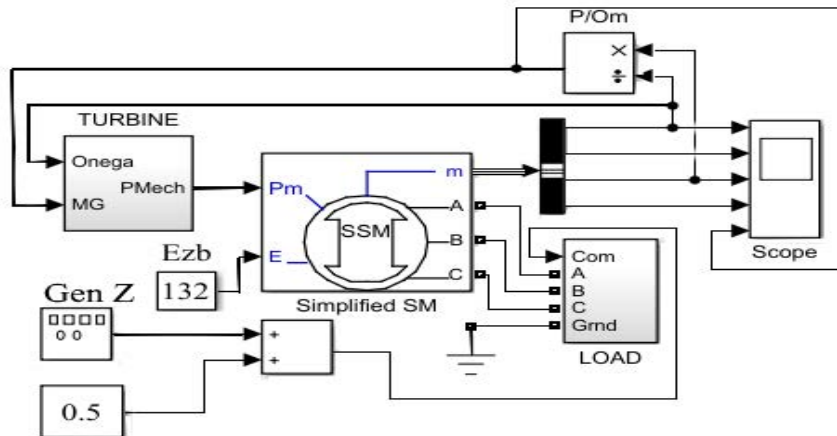


Рис. 4. Схема моделювання ДГА з СГ

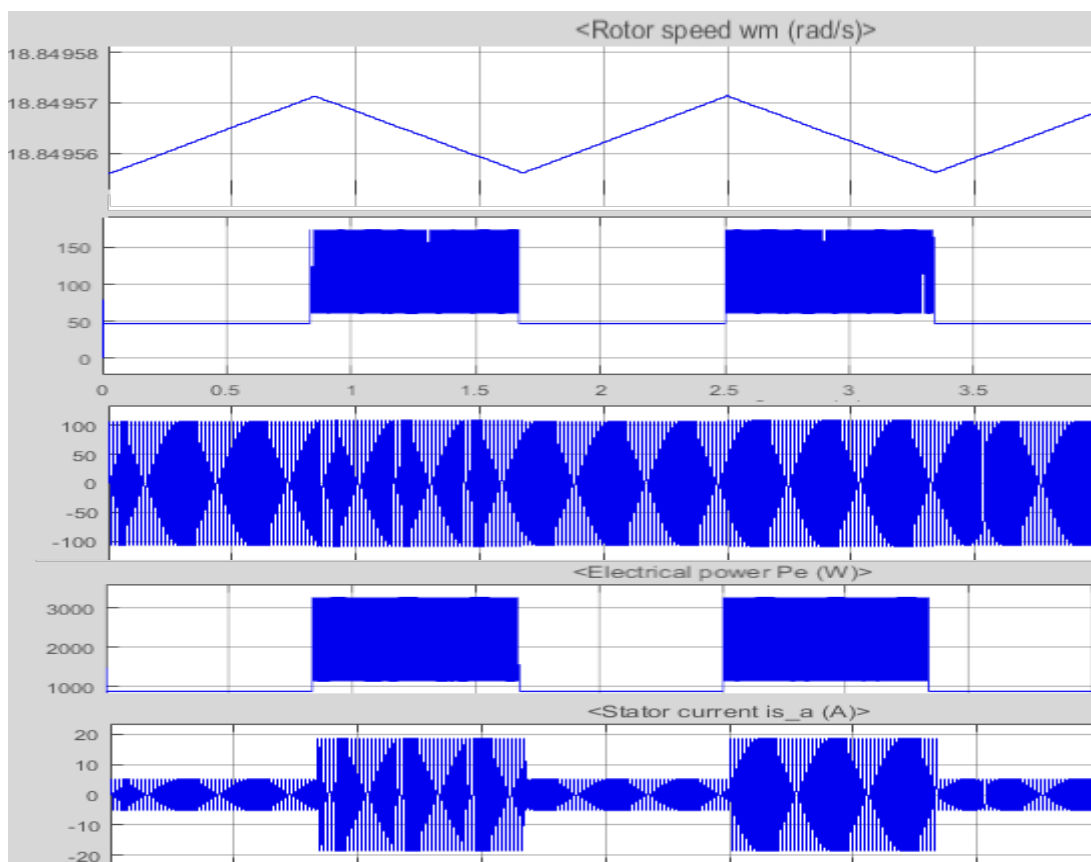


Рис. 5. Осцилограми сигналів, що характеризують зміни режимів ДГА

значень відхилення частоти обертання ДГА від номінальної. Ті коливання моменту, що спостерігаються при зміні навантаження, можуть бути мінімізовані з допомогою регулятора моменту обертання турбіни [11].

Розглядаючи альтернативні варіанти типів генераторів ДГА, можна констатувати, що у значній кількості енергетичних установок розподіленої енергетики, зокрема вітряної, використовуються АГ. Це пояснюється тим, що вони прості в експлу-

атації та мають відносно низьку вартість. Проте, підходи до оцінки вартості не є однозначним, оскільки при її об'єктивній оцінці слід враховувати вартість не тільки самих генераторів, але й системи збудження СГ або батарей конденсаторів (БК) АГ.

Саме БК системи живлення АГ забезпечує створення магнітного поля при автономній роботі в генераторному режимі. При цьому слід враховувати, що значення реактивної потужності, що утримується БК, повинно бути достатнім і при

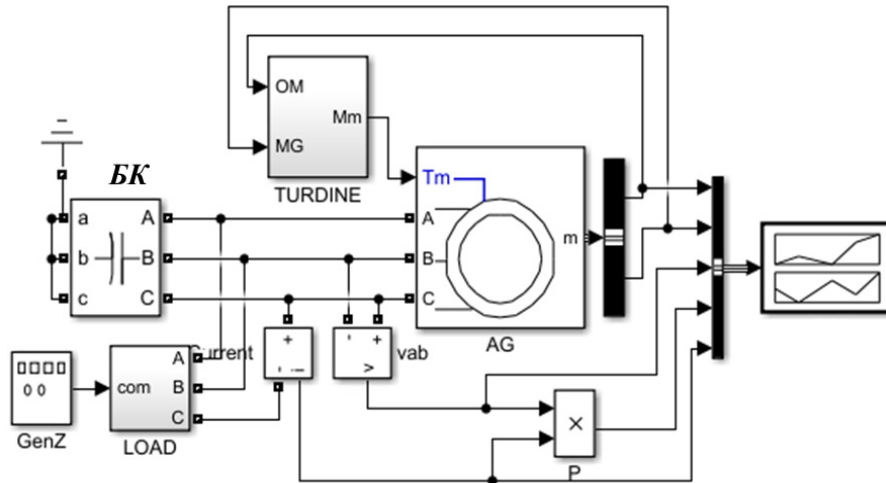


Рис. 6. Схема моделювання ДГА з АГ

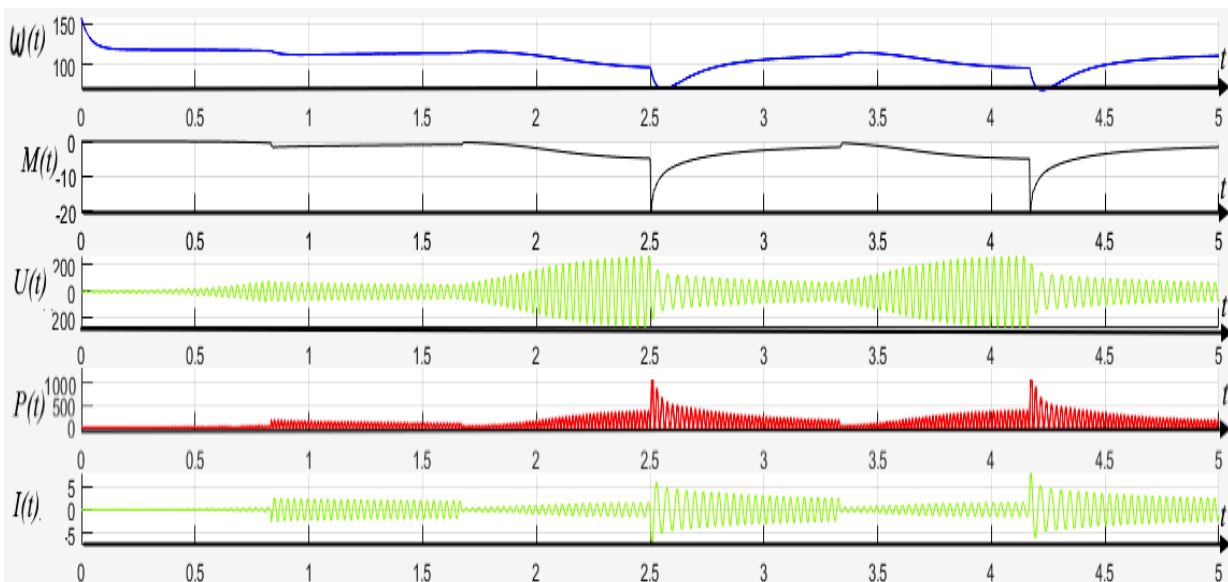


Рис. 7. Характеристика з використанням релейного регулятора

перемиканнях навантаження. У деяких випадках для виконання умов генерації маса і розміри БК можуть перевершувати масу самого АГ [15].

Порівняльна оцінка параметрів генерації моделі ДГА на базі АГ з використанням БК здійснювалася з допомогою схеми, що зображена на рис. 6.

Як і в схемах моделей ДГА із СГПМ та СГ, схема рис. 6 має у своєму складі блок комутованого навантаження LOAD та блок TURBINE. Збудження генератора, як це видно на рис. 7, здійснюється при запуску моделі. На часових осцилограмах параметрів ДГА рис. 7 можна побачити, що разом із зміною навантаження змінюється не тільки напруга, що генерується, але й швидкість та момент обертання.

При певних співвідношеннях струму споживання та значення ємності (на осцилограмах не

показано) відбувається зрив генерації [16]. Тому прийнятне використання АГ в ДГА автономних генеруючих пристроїв залежить від можливостей засобів керування значенням реактивної складової збудження АГ, зокрема від конструктивно-комутуючих особливостей елементної бази – легких конденсаторів для БК. Тоді завдання керування режимами генерації ДГА буде полягати у регулюванні значень ємністю БК, тобто відповідно до режиму навантаження. Оскільки значення ємності БК може змінюватися тільки дискретно, то реалізація згаданих законів керування буде залежати від рівня використаних програмних мікропроцесорних комутуючих пристроїв.

При цьому необхідно враховувати додаткові капітальні витрати на монтаж БК, експлуатаційні

затрати на його обслуговування, а також заходи безпеки пов'язані з вибухонебезпечністю конденсаторів (неполярних) при функціонуванні в режимі зміни напрямку навантаження (скидання/накидання) [17]. До того ж, іноді кількість силових конденсаторів, яка необхідна для забезпечення режиму стійкої генерації АГ, може виявитись недоцільною за економічними міркуваннями.

Таким чином, враховуючи характер перепаду тисків, що діють у ВТ, для компоновки ДГА можна прийняти СГ, які забезпечують стабільну генерацію енергії при дії не тільки активних, а й реактивних навантажень.

Висновки. 1. Розглянуто функціонування математичних моделей детандер-генераторних агрегатів, в яких по черзі використовуються АГ, СГ та СГПМ в умовах дії збурень електричного навантаження.

Порівняння отриманих оцінок електромеханічних параметрів генерації ДГА дає змогу прийняти для подальшого розгляду ОК, в якому задіяно синхронний генератор з обмоткою збудження.

2. Отримано експериментальні дані, що необхідні для структурно-параметричного синтезу регулятора ДГА. Враховуючи взаємозв'язок електричних та механічних параметрів функціонування ДГА, наявність обмотки збудження СГ в якості окремого контуру керування відкриває можливості підвищення керованості ДГА при зміні навантаження.

3. Опрацьовано методику оцінки параметрів електричної генерації установки утилізації надлишкового тиску газу. Наступні кроки досліджень передбачають формалізацію операцій, що забезпечать комплексну оцінку параметрів генерації.

Список літератури:

1. Мезеря А.Ю., Придворов С.С. Аналіз якісних показників використання різних типів генераторів на міні ГЕС. *Машинобудування*. 2023. № 31. С. 60–70. <https://doi.org/10.32820/2079-1747-2023-31-61-70>
2. Шевченко В.В., Куліш Я.Р. Аналіз можливостей використання різних типів генераторів для вітроенергетичних установок з урахуванням діапазону потужності. *Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика*. 2013. Харків: НТУ «ХПІ». № 65(1038). С. 107–117.
3. Головка В.М., Монахов Є.А., Пономарьов О.І., Коваленко І.Я. Порівняння традиційного генератора із постійними магнітами з торцевим генератором із двосторонньою активною поверхнею для вітроустановок. *Відновлювана енергетика*. 2018. № 2(53). С. 29–37.
4. Бойко С., Городній О., Касаткіна І., Долударєва Я., Вершняк Л. Вітроенергетичний комплекс для зарядження акумуляторних батарей. *Технічні науки та технології*. 2021. № 4(22). С. 156–162. [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2020-4\(22\)-156-162](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2020-4(22)-156-162)
5. Шевченко В.В., Книш С.Ю., Занихайло Є.О. Економічне порівняння вітроенергетичних установок з різними типами електричних генераторів змінного струму. *Системи обробки інформації*. 2011. Вип. 4(94). С. 94–98.
6. Тихевіч О.О. Аналіз спільної роботи вітротурбіни і асинхронізованого синхронного генератора вітроенергетичної установки. *Авіаційно-космічна техніка і технологія*. 2003. Вип. 2(37). С. 70–75
7. Клепиков В.Б., Моїсєєв О.М., Семіков О.В. Дослідження режиму роботи асинхронного генератора із самозбудженням при ненасиченому магнітному колі. *Електротехнічні та комп'ютерні системи*. 2011. № 3. С. 286–288.
8. Kulinchenko H., Panych A., Leontiev P., Zhurba V. Simulation of the expander of the excess gas pressure utilization plant. *ScienceRise*. 2022. 3(80). P. 3–13. <https://doi.org/10.21303/2313-8416.2022.002545>.
9. Михайлюк О.Б. Задачі, що потребують розв'язання при використанні асинхронних генераторів на електростанціях відновлюваної енергетики. 2016. *Вісник ВПІ*. Вип. 1. С. 96–100.
10. Чередник Н.Г., Бялобржеський О.В. Дослідження режиму синхронного генератора когенераційної установки у складі системи електропостачання малого промислового підприємства. *Гірничі електромеханіка та автоматика*. 2015. Вип. 94. С. 139–146.
11. Kulinchenko H., Zhurba V., Panych A., Leontiev P. Development of the method of constructing the expander turbine rotation speed regulator. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2023. Vol. 2, No. 2 (122). P. 44–52. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.276587>.
12. Belloni F., Chiameo R., Gandolfi C., Villa A. Simulation model of a Permanent Magnet Synchronous Generator for grid studies. *RE&PQJ*. 2014. Vol. 1, No. 12. P. 276–281. <https://doi.org/10.24084/repqj12.310>
13. Голодний І.М., Лісовенко В.А. Дослідження на комп'ютерній моделі характеристик синхронного генератора. *Енергетика і автоматика*. 2019. № 4. С. 100–107. <https://doi.org/10.31548/energiya2019.04.100>.
14. Spoljaric Z, Miklosevic K., Jerkovic V. Synchronous generator modeling using MATLAB. *SIP 2010 28th International Conference Science in Practice*. Subotica Tech–College of Applied Sciences. Subotica, Serbia, 2010. P. 147–154.

15. Вербовий А.П. Моделювання роботи гідроаккумуляційної електростанції в насосному режимі при живленні від вітроелектростанції з асинхронним генератором. *Відновлювана енергетика*. 2019. № 4(59). С. 56–63. [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2019.4\(59\).56–63](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2019.4(59).56-63)

16. Кулінченко Г.В., Зборщик О.П., Лелюх О.М. Оцінка параметрів генератора детандер-генераторного агрегату. *XIX Міжнародна науково-технічна конференція «Фізичні процеси та поля технічних і біологічних об'єктів»*: матеріали конференції. Кременчук: КрНУ. 2020. С. 120–122.

17. Мокін Б.І., Мокін О.Б., Жуков О.А. До питання вибору вітрових двигунів і електричних генераторів вітрових електричних станцій. *Вісник ВПІ*. 2007. № 6. С. 52–62.

Kulinchenko H.V., Panych A.O., Buhaiets P.I., Davydenko I.L., Levkovskiy O.V. THE EVALUATION OF THE GAS PRESSURE UTILIZATION PLANT ELECTRICAL GENERATION PARAMETERS

The main trends of research on increasing the energy efficiency of generating plants of alternative energy are represented by specific aspects of research on generating plants of a certain type. These aspects are determined by the fields of knowledge that form known research methods. This applies to generators, turbines or control systems. However, a systemic approach is more promising, which involves a comprehensive analysis of the control object, when the components of the overall process are considered in interaction. Considering the expander-generator unit (EGU), which is used to utilize of the excess pressure of gas distribution networks, the specifics of the vortex turbine used as an expander are taken into account. Considering the trends in the construction of generating plants of alternative energy, the application options of generators of various types were analyzed. Factors for choosing the type of generator are not limited to dimensions and cost indicators. Ensuring the characteristics of the quality of electricity generation is a generalizing factor that determines the efficiency of generation, since the development of means of controlling the generation installation depends on the applied approaches and technical means. The purpose of the work is to develop methods for evaluating the quality parameters of electric energy generation produced by the EGU. The main task is presented as a study of the nature of the interaction of electrical and mechanical processes, where the factor of change is the type of generator involved. The paper examines the operation of mathematical models of EGU, in which asynchronous, synchronous and synchronous generators with permanent magnets are alternately used under the conditions of electrical load disturbances. Experimental data necessary for the structural-parametric synthesis of the EGU regulator were obtained. Considering the relationship between the electrical and mechanical parameters of the EGU operation, the presence of the excitation winding of the synchronous generator as a separate control circuit opens up the possibility of increasing the controllability of the EGU when the load changes. The methodology for evaluating the parameters of the electrical generation of the overpressure gas utilization facility has been developed.

Key words: expander-generator unit, generator, electricity quality, mathematical model.