

## ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМУ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА КОГЕНЕРАЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ ПРИ ПАРАЛЕЛЬНІЙ ТА АВТОНОМНІЙ РОБОТІ З УРАХУВАННЯМ ЯВИЩА НАСИЧЕННЯ МАГНІТНОЇ СИСТЕМИ ГЕНЕРАТОРА

Зважаючи на порівняно невисоку потужність генераторів когенераційних установок та їх роботу паралельно з мережею, потужність якої може перевищувати потужність машини, виникає ряд задач пов'язаних з перерозподілом потоків енергії у результуючій схемі за умов несиметрії навантаження. Цей перерозподіл, як показано в роботі, призводить до зміни якісних показників функціонування як генератора, так і системи електропостачання. На підставі аналізу відомих прийомів щодо відображення процесів насичення сталі магнітної системи синхронної машини, з використанням теорії електричних машин, з урахуванням несиметрії навантаження розроблено модель синхронного генератора. В пакеті візуального програмування виконано моделювання системи електроспоживання малого промислового підприємства в складі якої використовується синхронний генератор. Проведено серію експериментів з імітацією роботи синхронного генератора, з урахуванням насичення сталі, на комплексне навантаження паралельно з мережею та автономно. В результаті аналізу часових залежностей параметрів режиму встановлено вплив несиметрії на динамічні показники параметрів режиму та відмічено суттєвий вплив несиметрії при паралельній роботі з системою електропостачання. Отримані результати можуть бути використані при побудові систем керування збудженням машини в умовах несиметрії навантаження.

**Ключові слова:** синхронний генератор, когенераційна установка, несиметричний режим, насичення магнітної системи.

### ВСТУП

Не можливо відокремити питання генерації електричної енергії від питання керування синхронними генераторами (СГ). Питання керування СГ в складі електричної станції загального призначення за активною потужністю, реактивною потужністю в нормальних, аварійних та постварійних режимах якісно досліджені та покладені в основу побудови відповідних систем та автоматизованих електроенергетичних комплексів [1]. Але робота СГ при генерації енергії у складі електричних станцій чи систем підприємств. Достатньо високі вимоги до якості електричної енергії, які відбиті у нормативних документах, та вимагають відповідних заходів до підтримки показників якості в мережах загального призначення забезпечують генеруючим установкам електричних станцій сприятливі умови функціонування. На відміну від генеруючих установок підприємств де, зважаючи на відсутність жорсткого контролю до якості електричної енергії у вузлах цехових мереж, чи розподільчих та понижуючих підстанцій, синхронні генератори генеруючих установок працюють на несиметричне та нелінійне навантаження [2].

Питання керування синхронними генераторами які генерують електричну енергію альтернативного джерела для потреб промислових підприємств при автономній роботі та паралельно з мережею розглянуті в роботах багатьох авторів [3]. Складні електротехнічні комплекси забезпечують можливість керування та організацію регулювання стану синхронного генератора [4], сучасне алгоритмічне та апаратне забезпечення реалізоване мікроконтролерними системами та комплексами реалізують цю можливість оптимізуючи за певними критеріями кількісні та якісні показники режиму. Як правило при цьому розглядаються спрощені моделі синхронного генератора [5] та відповідно однолінійні схеми заміщення. Врахування несиметрії та нелінійності навантаження потребує окремого дослідження та формування додаткових вимог до процесу керування генерацією, особливо враховуючи відносно часті включення та відключення генеруючої установки в залежності від часу максимуму чи мінімуму навантаження постачальної електричної мережі.

### МЕТА РОБОТИ

Дослідження впливу насичення магнітної системи синхронного генератора когенераційної установки на його електричні параметри режиму.

**МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ**

Спрощена схема електричної мережі підприємства, яку обрано для дослідження наведена на рисунку 1, де Н1 Н4 навантаження, В1 В4 вимикачі, Т1 трансформатор, Д1 відповідальний споживач, ГПЕС – газопоршнева електростанція.

Синхронний генератор когенераційної установки залежно від часу підключається паралельно до електричної мережі в якій наявні групи трифазних споживачів та однофазних споживачів. При включенні генератора на паралельну роботу уникають надмірно великого кидка струму і виникнення ударних електромагнітних моментів і сил здатних викликати пошкодження генератора і приводного двигуна, шляхом керування приводним двигуном та збудження синхронного генератора. Оскільки в даній установці мають місце часті включення, то ці кидки можуть позначитися на надійності її роботи [6].

У схемі, яка розглядається інколи генератор включається за способом самосинхронізації – генератор розгоняється первинним двигуном до частоти обертання, близької до синхронної, і включається не збудженим.

Навантаження електричної мережі, до якої підключається генератор, як трифазне так і однофазне, при цьому потужні однофазні споживачі порушують симетричне навантаження фаз обмотки якоря синхронних генераторів (тягові підстанції залізниць, електрифікованих на змінному струмі, і т. д.). Інколи несиметричне навантаження фаз генераторів виникає при несиметричних коротких замиканнях в електричній мережі.

Хоча несиметричні короткі замикання існують короткочасно, так як пошкоджені ділянки мереж відключаються релейним захистом, вони впливають на роботу генераторів і мережі в цілому. При раптових несиметричних коротких замиканнях виникають також перехідні процеси, однак далі для виявлення головних особливостей явищ розглянемо усталені несиметричні режими роботи.

Для дослідження несиметричних режимів використовують метод симетричних складових [7]. Дію струмів різних послідовностей розглядають в трифазній синх-

ронній машині припускаючи, що магнітна система ненасичена (в цьому випадку застосовуємо метод симетричних складових).

При симетричному навантаженні синхронного генератора існують тільки струми прямої послідовності.

Припускаючи, що обмотка якоря синхронної машини живиться напругою зворотної послідовності  $U_2$ , вводять струми зворотної послідовності, які створюють магнітне поле  $\Phi_2$  зворотної послідовності. Ці струми, що протікають в обмотках збудження і демпферній, створюють свої поля, які в межах ротора спрямовані назустріч зворотному полю якоря. Тому зворотне поле  $\Phi_2$  витісняється з тіла ротора в околороторний простір, тобто в повітряний зазор і, отже, замикається по шляху з великим магнітним опором.

Обмотка статора синхронних генераторів зазвичай включається в зірку, причому нейтральна точка в малих машинах ізолювана, а у великих машинах з метою виконання релейного захисту від замикань на землю заземлюється через великий опір. Тому струми нульової послідовності або відсутні, або дуже невеликі.

При несиметричних коротких замиканнях можливе сильне спотворення форми кривої струму обмотки якоря за рахунок виникнення третьої гармоніки струму яка змінюється з частотою  $3f$ .

Вищі гармоніки струму можуть бути спричинені впливом насичення магнітної системи генератора. При моделюванні генераторів зазвичай обмежуються урахуванням насичення сталі по шляху магнітного потоку взаємної індукції, нехтуючи насиченням сталі від магнітних потоків розсіювання [8].

Недолік ідеалізованої моделі дозволяє усунути спрощена методика обліку насичення сталі по шляху магнітного потоку взаємної індукції, запропонована М.Л. Левінштейном [7, 8], яка в якості додаткової вихідної інформації про машину використовує лише характеристику холостого ходу, причому, якщо остання невідома, може бути використана нормальна характеристика холостого ходу для гідрогенераторів або турбогенераторів [9]. Більш складні методи обліку насичення, хоча і більш точні, не знайшли застосування в програмах розрахунку перехідних процесів в енергосистемах і вузлах навантаження.

Для обліку залежності коефіцієнтів взаємної індукції та відповідних реактивностей від насичення сталі в вихідні рівняння машини вводять спеціальні змінні параметри  $\vartheta_d$  і  $\vartheta_q$ , що враховують насичення сталі по осях  $d$  і  $q$  [10]. Самі ж коефіцієнти і реактивності взаємної індукції є постійними параметрами, не залежними від насичення, і визначаються для ідеалізованої, ненасиченої машини. Параметри насичення  $\vartheta_d$  і  $\vartheta_q$  є функцією ЕРС за реактивністю розсіювання статора:

$$\dot{E}_\delta = E_{\delta q} + jE_{\delta d},$$

$$E_{\delta q} = x_{ad}i_d + E_q + \sum_{i=1}^{n_d} E_{rgi}, \quad (1)$$

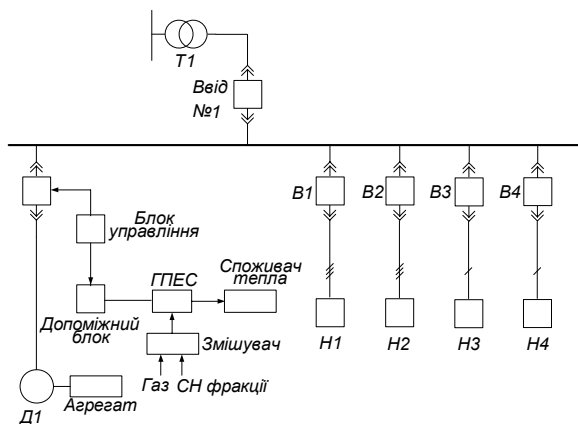


Рисунок 1 – Схема системи електричної мережі підприємства

$$E_{\delta d} = - \left( x_{aq} i_q - \sum_{k=1}^{n_q} E_{rdk} \right).$$

Ця ЕРС пов'язана з результируючим магнітним полем в повітряному зазорі і називається також внутрішньою ЕРС машини або ЕРС повітряного зазору.

Для явнополосної машини з великим повітряним зазором в осі  $q$ , що створює значний магнітний опір, враховується насичення тільки головного магнітного кола по осі  $d$ , тому вважають, що  $\vartheta_q = 1$ , а параметр насичення  $\vartheta_d$  залежить від поперечної складової ЕРС за реактивністю розсіювання статора:

$$\vartheta_d = \vartheta_d(E_{\delta q}).$$

Функцію  $\vartheta = \vartheta(E_{\delta})$  або  $\vartheta_d = \vartheta_d(E_{\delta q})$  називають характеристикою насичення сталі машини. Вона визначається за характеристикою холостого ходу машини.

Потокозчеплення контурів статора можна записують[11] у вигляді:

$$\Psi_d = x_s i_d + x_{ad} i_d + E_q + \sum_{i=1}^{n_d} E_{rqi} = x_s i_d + E_{\delta q},$$

$$\Psi_q = x_s i_q + x_{aq} i_q + E_d + \sum_{k=1}^{n_q} E_{rdk} = x_s i_q + E_{\delta d}.$$

А потокозчеплення контурів ротора:

$$\begin{aligned} \Psi_r &= \frac{x_{ad}^2}{x_r} i_d + E_q + \frac{x_{ad}}{x_r} \sum_{i=1}^{n_d} E_{rqi} = \frac{x_{ad}}{x_r} \times \\ &\times \left( x_{ad} i_d + \frac{x_r}{x_{ad}} E_q + \sum_{i=1}^{n_d} E_{rqi} + E_q - E_q \right) = \\ &= \frac{x_{ad}}{x_r} E_{\delta q} + \frac{x_{sr}}{x_r} E_q, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Psi_{rdi} &= \frac{x_{ad}}{x_{rdi}} \left( x_{ad} i_d - \frac{x_{rdi}}{x_{ad}} E_{rqi} + E_q + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^{n_d} E_{rqi} + \right. \\ &\left. + (E_{rqi} - E_{rqi}) \right) = \frac{x_{ad}}{x_{rdi}} E_{\delta q} - \frac{x_{sr di}}{x_{rdi}} E_{rqi}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Psi_{rpk} &= \frac{x_{aq}}{x_{rpk}} \left( x_{aq} i_q - \frac{x_{rpk}}{x_{aq}} E_{rdk} - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^{n_q} E_{rdj} - \right. \\ &\left. - (E_{rdk} - E_{rdk}) \right) = - \frac{x_{aq}}{x_{rpk}} E_{\delta d} - \frac{x_{srpk}}{x_{rpk}} E_{rdk}. \end{aligned}$$

Введення параметрів насичення в рівняння машини для обмотки збудження через взаємодукцію:

$$\Psi_r = \frac{3}{2} \bar{M}_{ad} i_{ad} + \bar{L}_r i_r + \bar{M}_{ad} \sum_{i=1}^{n_d} i_{rdi}, \quad (2)$$

де риска зверху біля коефіцієнта взаємної і самоіндукції означає, що вони залежать від насичення сталі. Параметр насичення по поздовжній осі визначають як відношення насиченого коефіцієнта взаємної індукції до ненасиченого

$$\vartheta_d = \frac{\bar{M}_{ad}}{M_{ad}}$$

відповідно:

$$\bar{M}_{ad} = \vartheta_d M_{ad}, \quad \bar{L}_r = L_{sr} + \bar{M}_{ad} = L_{sr} + \vartheta_d M_{ad}, \quad (3)$$

приймаючи припущення, що індуктивність розсіювання обмотки збудження не залежить від насичення магнітопроводу по шляху магнітного потоку взаємної індукції. Підстановка (2) в (3) вводить параметр насичення в рівняння для потокозчеплення обмотки збудження. Відповідно розгорнуте диференціальне рівняння контуру збудження:

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \left( \frac{3}{2} \vartheta_d M_{ad} i_d + L_{sr} i_{sr} + \vartheta_d M_{ad} i_r + \right. \\ \left. + \vartheta_d M_{ad} \sum_{i=1}^{n_d} i_{rdi} \right) + r_r i_r = E_r. \end{aligned} \quad (3)$$

Домножуючи рівняння (3) на  $\frac{\omega_s M_{ad}}{L_r}$ , де  $M_{ad}$  і  $L_r$  – постійні параметри ідеалізованої машини, вводячи замість струму контуру збудження  $i_r$ , і струму  $i$ -го демпферного контуру нові змінні  $E_q = \omega_s M_{ad} i_r$ ,  $E_{rqi} = \omega_s M_{ad} i_{rdi}$  ЕРС, індуковані в контурах статора магнітним полем контуру збудження і демпферних контурах ідеалізованої машини та приводячи рівняння до відносних одиниць А. А. Горева, розділивши ліву частину рівняння на  $U_{\delta}$ , а праву частину – на  $\omega_s M_{ad} \frac{U_{\delta} r}{r_r} = U_{\delta}$  рівняння обмотки збудження приймуть вигляд:

$$\frac{d\Psi_r}{dt} + \frac{1}{T_r} E_q = \frac{1}{T_r} E_r,$$

$$\begin{aligned} \Psi_r &= \frac{x_{ad}}{x_r} \vartheta_d \left( x_{ad} i_d + E_q + \sum_{i=1}^{n_d} E_{rqi} \right) + \frac{x_{sr}}{x_r} E_q = \\ &= \frac{x_{ad}}{x_r} E_{\delta q} + \frac{x_{sr}}{x_r} E_q, \end{aligned}$$

$$\text{де } E_{\delta q} = \vartheta_d \left( x_{ad} i_d + E_q + \sum_{i=1}^{n_d} E_{rqi} \right).$$

Таким чином змінюється лише вираз для поперечної складової ЕРС за реактивністю розсіювання статора (1), в нього тепер входить параметр насичення  $\vartheta_d$ . Аналогічно і з таким же результатом параметри насичення вводяться в рівняння решти контурів ротора по осях  $d$  і  $q$  і в рівняння статора. Вираз для поздовжньої складової ЕРС за реактивністю розсіювання приймає вигляд

$$E_{\delta d} = -\vartheta_q \left( x_{aq} i_q - \sum_{k=1}^{n_q} E_{rdk} \right).$$

У систему рівнянь машини необхідно включити рівняння для визначення  $\dot{E}_{\delta}$  і характеристику насичення сталі.

Таким чином, модель генератора у власних  $d, q$  осях, яка придатна для проведення розрахунків перехідних процесів в енергосистемах і у вузлах навантаження, приймає вигляд:

$$\frac{1}{\omega_s} \frac{d\Psi_d}{dt} + (1 + \omega_s) \Psi_q + r i_d = -u_d,$$

$$(1 + s) \Psi_d - \frac{1}{\omega_s} \frac{d\Psi_q}{dt} - r i_q = u_q,$$

$$\frac{d\Psi_r}{dt} = \frac{1}{T_r} (E_r - E_q),$$

$$\frac{d\Psi_{rdi}}{dt} = -\frac{1}{T_{rdi}} E_{rqi}, \quad i = 0 \dots n_d,$$

$$\frac{d\Psi_{rqk}}{dt} = \frac{1}{T_{rqk}} E_{rdk}, \quad k = 0 \dots n_q,$$

$$\frac{ds}{dt} = \frac{1}{T_J} (M_T - M_e),$$

$$\frac{d\delta}{dt} = \omega_s (s - s_v),$$

$$\Psi_d = x_s i_d + E_{\delta q},$$

$$\Psi_q = x_s i_q - E_{\delta d},$$

$$\Psi_r = \frac{x_{ad}}{x_r} E_{\delta q} + \frac{x_{sr}}{x_r} E_q,$$

$$\Psi_{rdi} = \frac{x_{ad}}{x_{rdi}} E_{\delta q} + \frac{x_{srdi}}{x_{rdi}} E_{rqi}, \quad i = 0 \dots n_d,$$

$$\Psi_{rqk} = \frac{x_{aq}}{x_{rqk}} E_{\delta d} - \frac{x_{srqk}}{x_{rqk}} E_{rdk}, \quad k = 0 \dots n_q,$$

$$E_{\delta q} = \vartheta_d \left( x_{ad} i_d + E_q + \sum_{i=1}^{n_d} E_{rqi} \right),$$

$$E_{\delta d} = -\vartheta_q \left( x_{aq} i_q - \sum_{k=1}^{n_q} E_{rdk} \right),$$

$$M_e = \Psi_d i_q - \Psi_q i_d = E_{\delta q} i_q + E_{\delta d} i_d,$$

для неявнополюсної машини:

$$\vartheta_d = \vartheta_q = \vartheta = \vartheta(E_{\delta}), \quad E_{\delta} = \sqrt{E_{\delta q}^2 + E_{\delta d}^2},$$

для явнополюсної машини:

$$\vartheta_q = 1, \quad \vartheta_d = \vartheta_d(E_{\delta q}).$$

Характеристику насичення сталі машини рекомендують [11] будувати за характеристикою холостого ходу. У сталому режимі холостого ходу струм статора і струми демпферних контурів рівні нулю, ЕРС, індуковані в контурах статора магнітним полем струмів демпферних контурів, теж дорівнюють нулю, тому

$$\Psi_d = E_{\delta q} = \vartheta E_q, \quad \Psi_q = 0,$$

статорні рівняння машини в сталому режимі холостого ходу приймають вид:

$$\Psi_d = \vartheta E_q = U_q = U, \quad U_d = 0,$$

звідки

$$\vartheta = \frac{U}{E_q}.$$

У відносних одиницях А. А. Горєва у ідеалізованій машини синхронна ЕРС  $E_q$  чисельно дорівнює струму збудження, віднесеному до базисного струму ротора

$$E_q = \frac{E_q[u.e.]}{U_{\delta}} = \frac{\omega_s M_{ad} i_r}{\omega_s M_{ad} I_{\delta r}} = \frac{i_r}{i_{r*x.H}} = i_{r*} \operatorname{tg} \alpha.$$

Отже, знаючи характеристику холостого ходу, дану як таблицю пар значень  $i_{r*}, U_*$ , можна побудувати характеристику насичення  $\vartheta = f(E_{\delta})$ , що представляє собою таблицю пар значень  $E_{\delta}, \vartheta$ , за формулами:

$$\vartheta = \frac{U}{E_q} = \frac{U_*}{i_{r*} \operatorname{tg} \alpha},$$

$$E_{\delta} = \vartheta E_q = \vartheta i_{r*} \operatorname{tg} \alpha.$$

Для дослідження впливу насичення на процеси розподілу електричної енергії у вузлі системи електроespo-

живання (рис. 1) в пакеті візуального програмування за аналогією з [3] складена модель (рис. 2).

Схема включає: *GRID* – джерело живлення, *TV* – трансформатор типу *TM/400/10* потужністю 400 кВА, *GE* – синхронний генератор потужністю 315 кВт, *LOAD1* ( $P=85\text{кВт}, Q=68\text{кВАр}$ ), *LOAD2* ( $P=55\text{кВт}, Q=8\text{кВАр}$ ), *LOAD3* ( $P=38\text{кВт}, Q=30\text{кВАр}$ ) – гілки трифазного навантаження та *LOAD4* ( $P=30\text{кВт}, Q=35\text{кВАр}$ ), *LOAD5* ( $P=70\text{кВт}, Q=30\text{кВАр}$ ) – гілки однофазного навантаження.

Дослідження виконано при розподілі у часі стану комутаційного обладнання наступним чином: *QF5* в 1 с відмикає гілку однофазного навантаження *LOAD5*; *QF6* в 2 с відключає мережу і генератор починає працювати автономно; *QF1* в 2,5 свмикає трифазне навантаження *LOAD1*; *QF7* в 3 с імітує однофазне к.з. на *LOAD4*; *FAULT1* в 3,5 с імітує трифазне к.з. на *LOAD2*. Результати моделювання наведені на рисунку 3.

При паралельній роботі генератора з мережевим трансформатором збільшується подача первинної механічної енергії (рис. 3, д) та зменшується напруга збудження (рис. 3, е), при цьому відхилення напруги статора (рис. 3, б) та частоти обертання (рис. 3, з) – незначне. Аналогічну поведінку можна відзначити і у перехідних режимах. Відхилення за частотою (рис. 3, з) та напругою

(рис. 3, а), в нормальних режимах не перевищують припустимих границь.

Несиметричні короткі замикання при автономній роботі не дивлячись на істотну різницю у струмах к.з. (рис. 3, а), за рахунок дії струмів зворотної послідовності, викликають значне збільшення амплітуди моменту генератора (рис. 3, в) та виникнення високочастотних пульсацій.

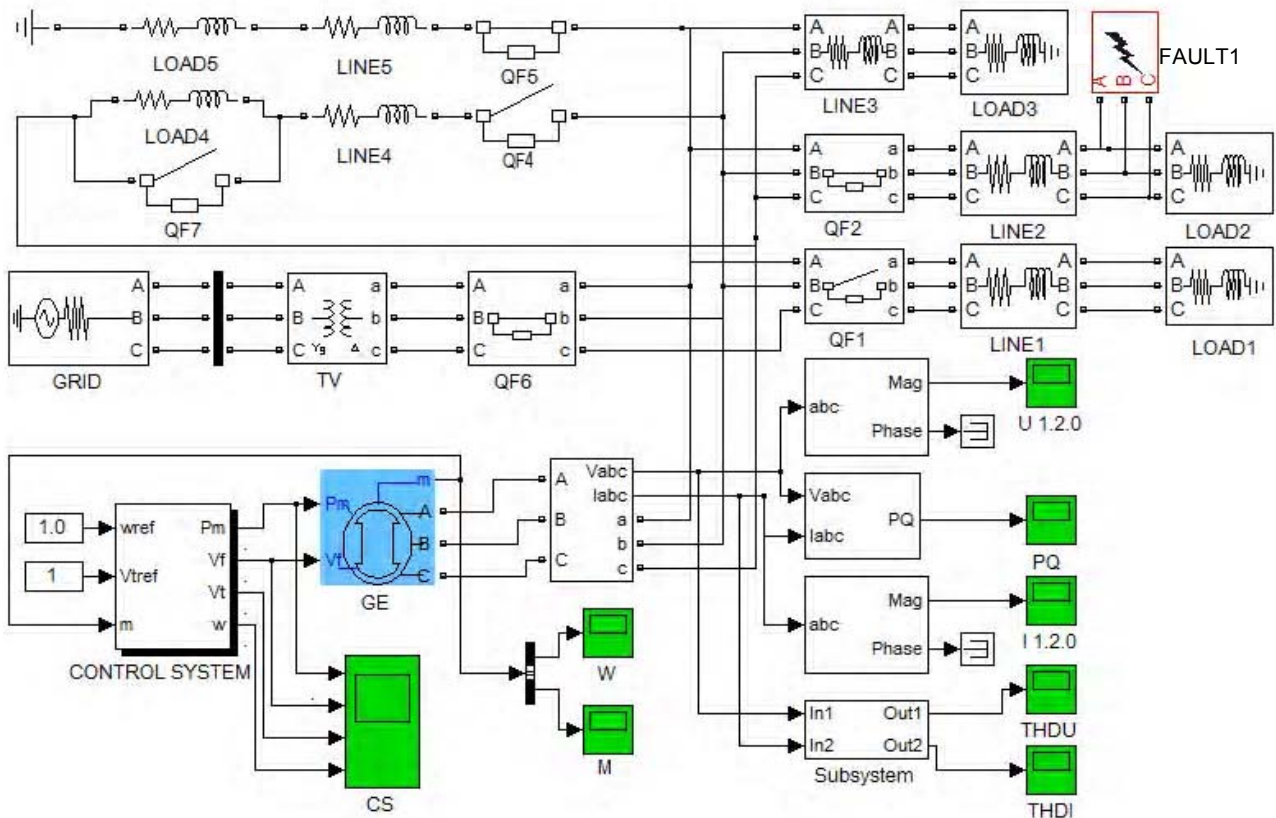
### ВИСНОВКИ

Аналізуючи роботу системи регулювання збудження та потужності приводного двигуна слід відзначити наступне.

Урахування насичення магнітної системи синхронного генератора впливає на характер динамічних режимів так і на характер статичних режимів.

Найбільш суттєво насичення магнітної системи впливає при паралельній роботі машини з мережевим трансформатором.

Насичення магнітної системи незначно впливає на характер процесів при автономній роботі синхронного генератора, як при перехідних, стаціонарних режимах так і при виникненні коротких замикань, різниця між параметрами режимів не призводить до порушення стійкості генерації електричної енергії.



Рисунк 2 – Модель схеми вузла системи електроживлення підприємства

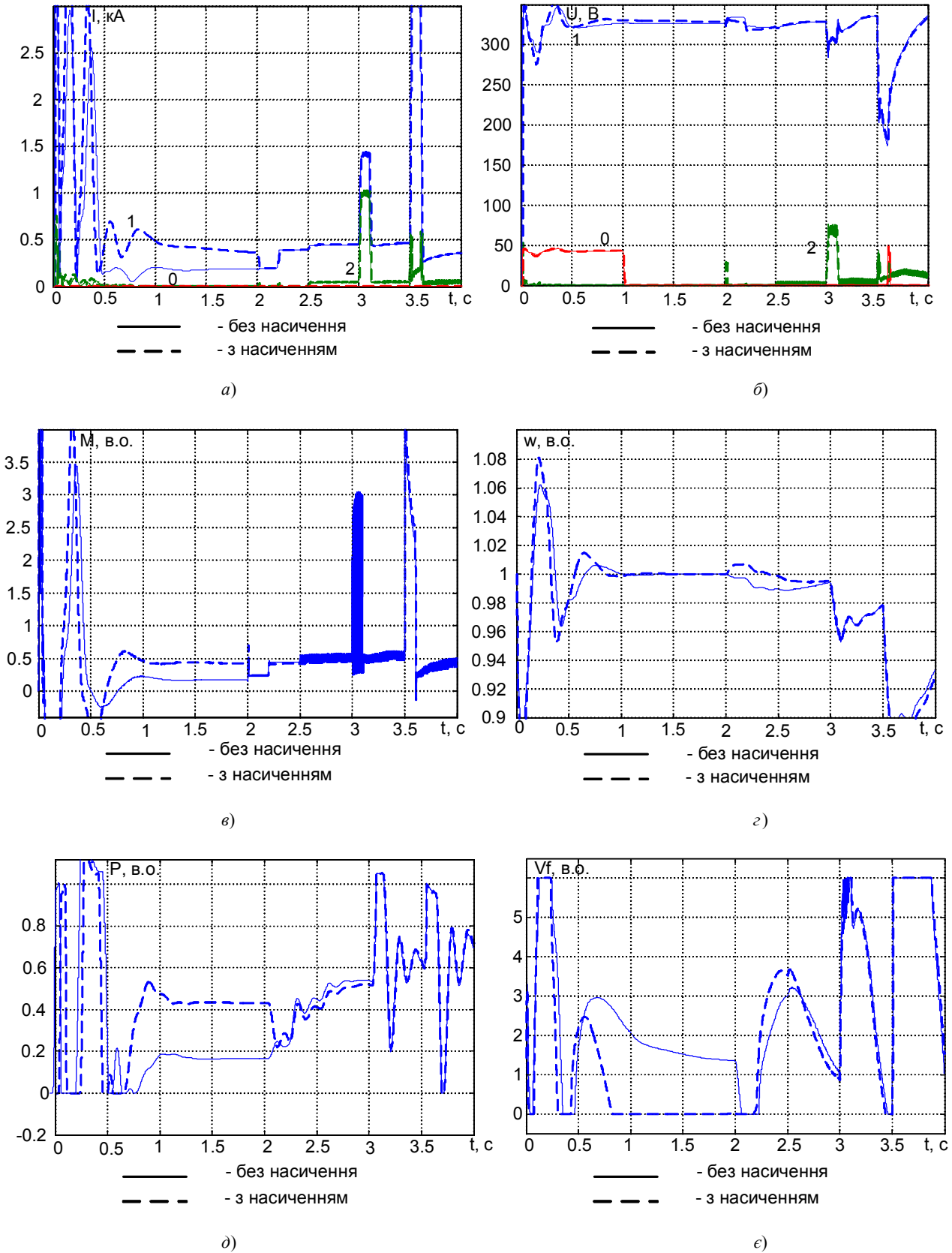


Рисунок 3 –Зміна параметрів режиму у часі  
 (а,б) пряма, зворотна та нульова послідовності струму та напруги;  
 (в,г) момент та частота обертання ротора;  
 (д,е) механічна потужність та напруга збудження

**СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ**

1. Бялобржеський О. В. Автоматизовані системи керування в електроенергетиці: навчальний посібник / О. В. Бялобржеський, Н. Г. Чередник. – Кременчук: ПП Щербатих О. В., 2016. – 204 с.
2. Овчаренко Н. И. Автоматика электрических станций и электроэнергетических систем: учебник для вузов / Н. И. Овчаренко.; Под ред. А. Ф. Дьякова. – М.: НП ЭНАС, 2000. – 504 с.
3. Чередник Н. Г. Дослідження режиму синхронного генератора когенераційної установки у складі системи електропостачання малого промислового підприємства / Н. Г. Чередник, О. В. Бялобржеський // Науково-техн. збірник Гірничя електромеханіка та автоматика. – 2015. – Вип. 94. – С. 139–145.
4. Руденко Ю. Н. Автоматизация диспетчерского управления в электроэнергетике / Ю. Н. Руденко, В. А. Семенов. – Москва: МЭИ, 2000. – 649 с.
5. Залужный М. Ю. Моделирование нестационарных электромагнитных процессов в системе электропитания энергоемких электротехнических комплексов / М. Ю. Залужный // Электротехника и электроэнергетика – 2009. – Вип. 2. – С. 70–72.
6. Котеленец Н. Ф. Способ и устройство синхронизации возбужденного синхронного генератора с сетью / Н. Ф. Котеленец, А. В. Богачев, Е. В. Ежов // Электричество. – 2014. – №4. – С. 50–54.
7. Агунов А. В. Управление качеством электроэнергии при несинусоидальных режимах / А. В. Агунов – СПб.: СПбГМТУ, 2009. – 134 с.
8. Забудский Е. И. Электрические машины. Ч. 3. Синхронные машины: учеб. пособие / Е. И. Забудский – Москва: МГАУ. – 2008. – 195 с.
9. Weaver, Christopher S. Understanding Mini Hydroelectric Generation, Technical Paper, Volunteers in Technical Assistance (VITA), 1985. – № 19.
10. Меркурьев Г. В. Шаргин Ю. М. Устойчивость энергосистем. Монография. Том 2. — СПб.: НОУ «Центр подготовки кадров энергетики», 2008. — 300 с.
11. Мещеряков В. Н. Синхронные машины: учеб. пособие / В. Н. Мещеряков, Д. И. Шишлин – Липецк: Липецкий государственный технический университет. – 2013. – 101 с.

Чередник Н. Г.<sup>1</sup>, Бялобржеский А. В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Аспирант, Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского, Украина, E-mail: natali\_alex\_2008@mail.ru

<sup>2</sup>Канд. техн. наук, доцент, Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского, Украина

**ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМА СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА КОГЕНЕРАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ ПРИ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ И АВТОНОМНОЙ РАБОТЕ С УЧЕТОМ ЯВЛЕНИЯ НАСЫЩЕНИЯ МАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ ГЕНЕРАТОРА**

*Несмотря на сравнительно невысокую мощность генераторов когенерационных установок и их работу параллельно с сетью, мощность которой может превышать мощность машины, возникает ряд задач связанных с перераспределением потоков энергии в результирующей схеме при несимметрии нагрузки. Это перераспределение, как показано в работе, приводит к изменению качественных показателей функционирования генератора, так и системы электроснабжения. На основании анализа известных приемов по отражению процессов насыщения стали магнитной системы синхронной машины, с использованием теории электрических машин, при учете несимметрии нагрузки разработана модель синхронного генератора. В пакете визуального программирования выполнено моделирование системы электроснабжения малого промышленного предприятия, в составе которой используется синхронный генератор. Проведена серия экспериментов с имитацией работы синхронного генератора, с учетом насыщения стали, на комплексную нагрузку параллельно с сетью и автономно. В результате анализа временных зависимостей параметров режима установлено влияние несимметрии на динамические показатели параметров режима и отмечено существенное влияние несимметрии при параллельной работе с системой электроснабжения. Полученные результаты могут быть использованы при построении систем управления возбуждением машины в условиях несимметрии нагрузки.*

**Ключевые слова:** синхронный генератор, когенерационная установка, несимметричный режим, насыщение магнитной системы

Cherednyk N.G.<sup>1</sup>, Bialobrzzeski O.V.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Postgraduate Kremenchuk Myhailo Ostrohradskiy National University, Ukraine

<sup>2</sup>Candidate of Science, Associate Professor, Kremenchuk Myhailo Ostrohradskiy National University, Ukraine

**THE STUDY OF THE MODE OF SYNCHRONOUS GENERATOR COGENERATION UNIT IN PARALLEL AND AUTONOMOUS WORK CONSIDERING THE PHENOMENON OF MAGNETIC SATURATION OF GENERATOR SYSTEM**

*Despite the relatively low power generators and cogeneration plants they work in parallel with the network, the power of which can exceed the capacity of the machine, there are a number of problems associated with the redistribution of energy flows in the resulting pattern when unbalanced load. This redistribution, as shown in the work, resulting in a change of quality indicators of the functioning of the generator and the electrical system. Based on the analysis of the known methods to repel saturation processes steel magnetic synchronous machine system, using the theory of electrical*

*machines, developed a model of a synchronous generator, taking into account the load unbalance. The package of visual programming simulated power system of small industrial enterprises, in which the composition is used synchronous generator. A series of experiments with simulation of the synchronous generator, taking into account the saturation of steel, a load in parallel with a comprehensive network and autonomously. As a result of analysis of time dependencies mode settings established the influence of asymmetry on the dynamic performance mode parameters and observed a significant impact of asymmetry in parallel operation with the power supply system. The results can be used in the construction of the drive control system of the machine under load unbalance.*

**Keywords:** synchronous generator, cogeneration plant, asymmetrical mode, the saturation of the magnetic system.

## REFERENCES

1. Byalobrzhes'kyi O. V., Cherednyk N. H. Avtomatyzovani system ykeruvannya v elektroenerhetytsi, PP Shcherbatykh, Kremenchuk, Ukraine.
2. Ovcharenko N. Y., Avtomatika elektricheskikh stantsiy i elektroenergeticheskikh sistem, NP ENAS, Moscow, Russia.
3. Cherednyk N. H., Byalobrzhes'kyi O. V. Doslidzhennia rezhymu synkhronnoho heneratora koheneratsiinoi ustanovky v systemi elektropostachannia maloho promyslovoho pidpriemstva, Hirnycha elektromekhanika ta avtomatyka, No. 94, pp. 139–145.
4. Rudenko Yu. N., Semenov V. A. Avtomatizatsiya dispatcherskogo upravleniya v elektroenergetike, MEL, Moscow, Russia.
5. Zaluzhnyi M. Yu. Modeliuvannia elektromahnitnykh perekhidnykh protsesiv v systemi zhyvlennia enerhoiemnykh elektrychnykh system. *Elektrotehnika i elektroenergetika*, No. 2, pp. 70–72.
6. Kotelenets N. F., Bogachev A. V., Ezhov E. V. Sposib i prystrii synkhronizatsii zbudzhennia synkhronnoho oheneratora z merezheiu. *Elektrichestvo*, No. 4, pp. 50–54.
7. Agunov A. V. Upravlenie kachestvom electroenergiyi pri nesinusoidal'nyh rezhymah, SPbSMTU, Sankt-Peterburg, Russia.
8. Zabudskiy E. I. Elektricheskie mashini. Sinhronnyemashini, MGAU, Moscow, Russia.
9. Weaver, Christopher S. Understanding MiniHydroelectric Generation, Technical Paper, Volunteers in Technical Assistance (VITA), No. 19.
10. Merkurev G., Shargin Yu. Ustoychivost energosistem, SPb, Tsentrpodgotovki kadrov energetiki, 300 p.
11. Mescheryakov V. N., Shishlin D. I., Sinhronnyemashini, Lipetsk State Technical University, Lipetsk, Russia.