

# АВТОНОМНА ЕЛЕКТРОГЕНЕРУЮЧА СИСТЕМА НА ОСНОВІ АСИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА З ФАЗНИМ РОТОРОМ

Пересада С.М., д.т.н, проф., Благодір В.О., аспірант, Желінський М.М., магістрант

НТУУ «КПІ», кафедра автоматизації електромеханічних систем та електроприводу

**Вступ.** Сучасною альтернативною електрогенеруючих систем постійної частоти при змінній швидкості первинного валу є векторно-керована асинхронна машина (АМ), яка працює в генераторному режимі. Керування здійснюється по роторному колу, тому потужність, необхідна для керування повним потоком потужності, складає 25 ÷ 30 % від номінальної, що дозволяє знизити вартість перетворювача напруги. Така система є простішою за типові рішення у конфігурації: синхронний генератор з постійними магнітами, повністю керований випрямляч, ланка постійного струму, інвертор.

**Мета дослідження.** Дослідити алгоритм керування автономним генератором на основі асинхронної машини з фазним ротором, що працює при змінній швидкості приводного вала.

**Матеріали дослідження.** Вал асинхронної машини приводиться в рух за допомогою приводного двигуна, який має регулятор швидкості, стабілізуючий швидкість вала на заданому рівні  $\omega^*$ . Припускаючи, що навантаження симетричне та чисто активне з опором  $R_L$ , а також при загальноприйнятих припущеннях про ідеальність електричної машини, рівняння динаміки електричної частини АМ, які представлені в системі координат (d-q), що обертається з довільною кутовою швидкістю  $\omega_0$ , мають вигляд

$$\begin{aligned} \dot{i}_d &= -\left(\frac{R_s + R_L}{\sigma}\right)i_d + \omega_0 i_q + \alpha\beta\psi_d + \beta\omega\psi_q - \alpha L_m \beta i_d - \beta u_{2d}, \\ \dot{i}_q &= -\left(\frac{R_s + R_L}{\sigma}\right)i_q - \omega_0 i_d + \alpha\beta\psi_q - \beta\omega\psi_d - \alpha L_m \beta i_q - \beta u_{2q}, \\ \dot{\psi}_d &= -\alpha\psi_d + \omega_2\psi_q + \alpha L_m i_d + u_{2d}, \\ \dot{\psi}_q &= -\alpha\psi_q - \omega_2\psi_d + \alpha L_m i_q + u_{2q}, \end{aligned} \quad (1)$$

де  $(i_d, i_q)^T$ ,  $(\psi_d, \psi_q)^T$ ,  $(u_{2d}, u_{2q})^T$  – компоненти векторів струму статора, потокощеплень та напруг ротора відповідно;  $\omega_2 = \omega_0 - \omega$  – частота ковзання;  $\omega$  – швидкість ротора АМ. В моделі (1) прийнята одна пара полюсів, що не впливає на загальність отриманих результатів.

Додатні константи в (1), пов'язані з електричними параметрами АМ, визначаються наступним чином

$$\alpha = R_r / L_r; \quad \beta = L_m / (L_r \sigma); \quad \sigma = L_s - L_m^2 / L_r,$$

де  $R_s$ ,  $R_r$ ,  $L_s$ ,  $L_r$ ,  $L_m$  – активні опори та індуктивності статора і ротора, а також індуктивність намагнічуючого контуру.

Алгоритм керування модулем вектора напруги статора [1] має вигляд:

$$\begin{aligned}
 \psi_d^* &= -U^*/(\beta R_L), \\
 \psi_q^* &= U^*(R_s + R_L)/(\beta \omega_0 R_L \sigma), \\
 u_{2d} &= \alpha \psi_d^* - \omega_2 \psi_q^* - \alpha L_m i_d + (-k_u \tilde{u}_d - v_d)/\beta R_L, \\
 u_{2q} &= \alpha \psi_q^* + \omega_2 \psi_d^* - \alpha L_m i_q + (-k_u \tilde{u}_q - v_q)/\beta R_L, \\
 \dot{v}_d &= k_{ui} \tilde{u}_d, \\
 \dot{v}_q &= k_{ui} \tilde{u}_q,
 \end{aligned} \tag{2}$$

де  $k_u$ ,  $k_{ui}$  – коефіцієнти пропорційної та інтегральної складової двомірного регулятора напруги.

Напруги, що прикладаються до навантаження мають вигляд

$$\begin{aligned}
 u_d &= R_L i_d, \\
 u_q &= R_L i_q.
 \end{aligned} \tag{3}$$

Нехай  $\omega_0 = \text{const}$  визначає бажану частоту генеруючої напруги, а  $U^* = \text{const}$  – задане значення модуля вихідної напруги.

Алгоритм векторного керування АМ [1] забезпечує досягнення умов асимптотичності регулювання модуля напруги генератора, тобто

$$\lim_{t \rightarrow \infty} (\tilde{u}_d, \tilde{u}_q)^T = 0, \quad \tilde{u}_d = u_d - U^*, \quad \tilde{u}_q = u_q, \tag{4}$$

де  $(\tilde{u}_d, \tilde{u}_q)^T$  – похибки відпрацювання напруги. Активний опір навантаження  $R_L$  прийнято невідомим, але його значення може бути розраховане в реальному часі, використовуючи вимірювані напруги та струми.

Проведено математичне моделювання алгоритму (2) для АМ з наступними параметрами: потужність  $P = 1,5$  кВт, число пар полюсів  $p_n = 3$ ,  $J = 0,2$  кг·м<sup>2</sup>,  $L_1 = L_2 = 0,1514$  Гн,  $L_m = 0,14$  Гн,  $R_1 = 2,68$  Ом,  $R_2 = 2,645$  Ом. При моделюванні прийняті наступні значення параметрів регулятора напруги:  $k_u = 20$ ,  $k_{ui} = 200$ .

Моделюючий тест з відпрацювання заданого вектора напруги автономного генератора (АГ) містить таку послідовність роботи:

- на початковій стадії  $0 \div 0.2$  с незбуджена машина розганяється до швидкості  $\omega^* = 100$  рад/с за допомогою приводного двигуна;

- починаючи з  $t = 0.5$  с виконується процес збудження генератора, при цьому завдання вектора напруги статора лінійно зростає до  $U^* = -230$  В;

- при  $t = 1.5$  с активне навантаження, яке відповідає номінальній потужності електричної машини, підключається до статорного кола;

- починаючи з  $t = 2$  с відбувається лінійне збільшення швидкості до значення  $\omega^* = 110$  рад/с;

- починаючи з  $t = 3$  с відбувається лінійне зменшення швидкості до значення  $\omega^* = 90$  рад/с.

Графіки перехідних процесів при запуску АМ та варіації кутової швидкості, які отримані шляхом математичного моделювання, представлені на рис. 1.

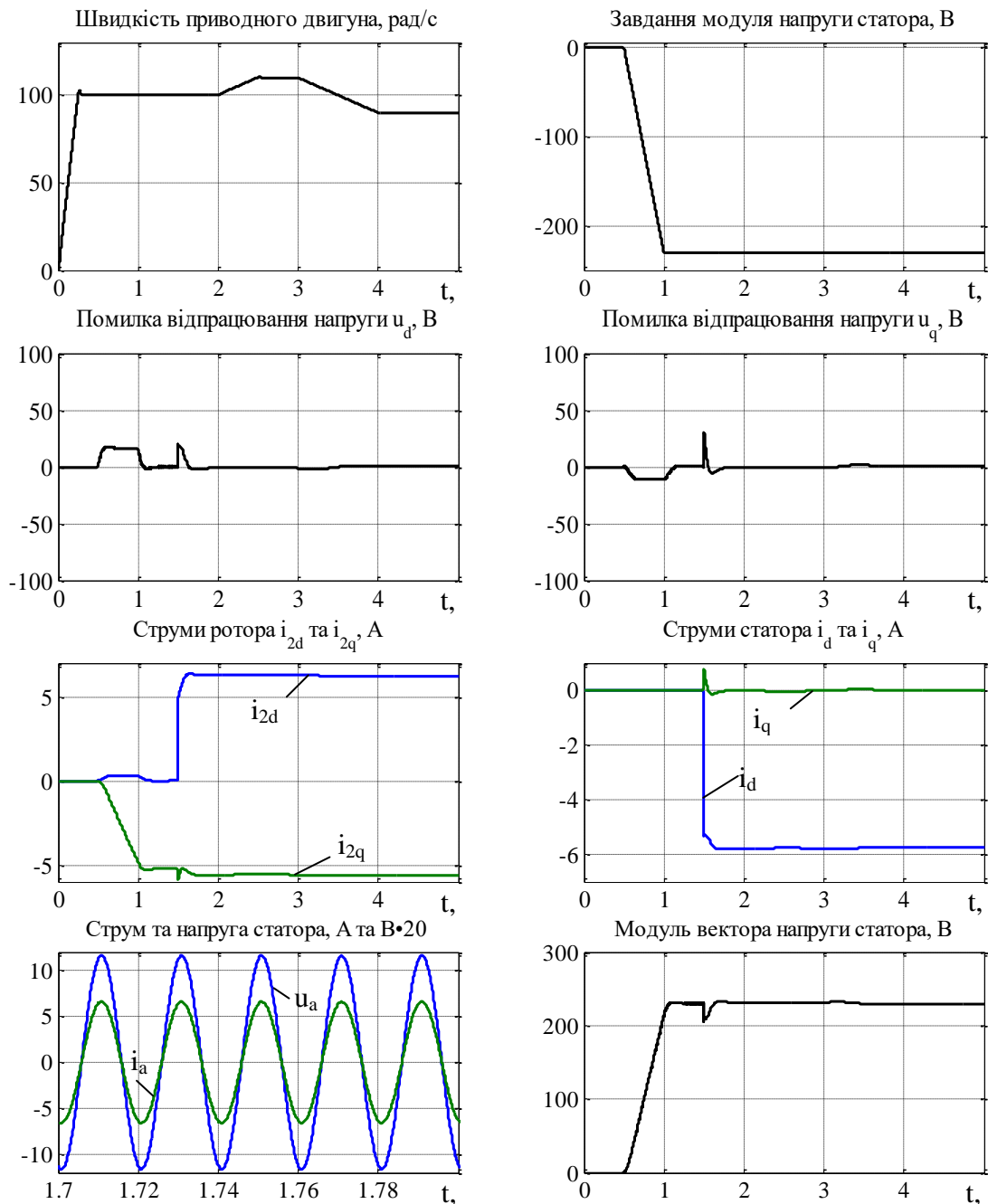


Рисунок 1 – Перехідні процеси при керуванні АМ в режимі АГ

**Висновок.** Представлений алгоритм векторного керування забезпечує асимптотичне відпрацювання заданої напруги статора незалежно від швидкості приводного вала. Аналіз форми вихідної напруги і струму статора свідчить, що якість генерованої енергії задовольняє вимогам промислового використання. Наступним кроком планується експериментальне тестування даного алгоритму.

#### Перелік посилань

1. Соболев В. Н., Чехет Э. М., Шаповал И. А., Пересада С. М., Король С. В. “Электрогенерирующая автономная система постоянной частоты с матричным преобразователем на основе асинхронной машины с фазным ротором” // Технічна електродинаміка. Тематичний випуск „Силова електроніка та енергоефективність”. –2000. –Ч. 1. –С. 63 – 68.