

ЗАПУСК АСИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА В АВТОНОМНОМУ РЕЖИМІ

Король С.В., к.т.н., доц., Онищук Б.О., Козлюк С.А., магістранти

КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра автоматизації електромеханічних систем та електроприводу

Вступ. Важливе місце в стратегії розвитку електроенергетики займають автономні системи електропостачання (АСЕ). Останнім часом АСЕ отримують все більш широке поширення в системах електропостачання не тільки спеціального, але і загального застосування. Області застосування таких систем охоплюють різного роду блоки живлення (стаціонарні, суднові, пересувні) і керовані електромеханічні системи (транспортні, вітроенергетичні установки і малі ГЕС, генератори, які працюють на статичні перетворювачі частоти і електромашинні агрегати), системи безперебійного живлення відповідальних споживачів, в тому числі сучасних обчислювальних комплексів [1].

Необхідність в АСЕ виникає там, де мережа працює з перебоями, технічно неможливо або економічно не вигідно використовувати централізоване електропостачання, наприклад, на пересувних об'єктах. А це, в першу чергу, важкодоступні об'єкти, віддалені від великих електричних систем, які мають власні джерела первинної енергії, класичні – газові та нафтові родовища, чи альтернативні (енергія води, вітру та ін.). Альтернативні АСЕ знаходять широке застосування в промисловості, будівництві, сільському і комунальному господарствах.

Серед різних генераторів, що використовуються в автономних системах електропостачання, асинхронний генератор (АГ) являється перспективним завдяки простій конструкції, меншим розмірам, нижчій вартості і вищій надійності. Підвищену ефективність використання енергії джерела механічної енергії можлива при роботі системи генерування в широкому діапазоні кутових швидкостей обертання валу генератора. Таку можливість мають системи на основі АГ з повністю керованим перетворювачем рис. 1. Одним із основних режимів роботи автономної системи генерування є процес запуску, оскільки подача механічної потужності відбувається з перебоями.

Найчастіше запуск АГ здійснюється шляхом підключення автономного джерела постійної напруги в ланку постійного струму. Напруга цього джерела зазвичай набагато менша робочої напруги в ланці постійного струму. Для коректного запуску системи необхідно враховувати фізичні обмеження, які визначаються

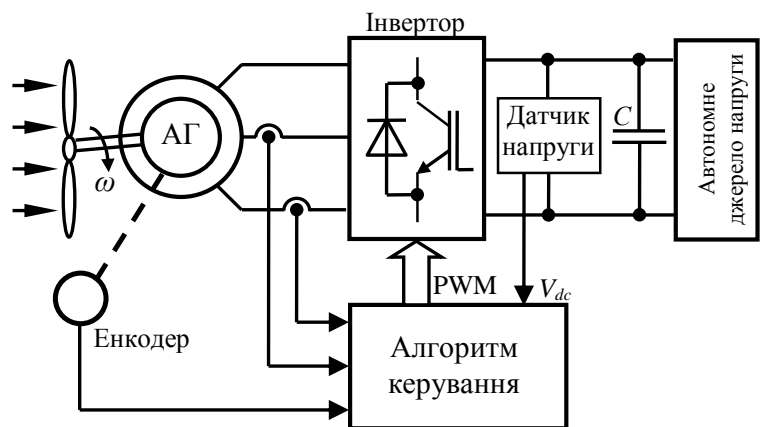


Рисунок 1 – Система генерування з АГ

низькою напругою в ланці постійного струму. Додатковим впливовим фактором являється кутова швидкість генератора на якій активізується процедура запуску. Тому дослідження умов коректного запуску є актуальною і корисною з практичного боку задачею.

Метою роботи є визначення фізично досяжних значень потокозчеплення АГ при пуску від автономного джерела з обмеженою напругою на різних швидкостях обертання АГ.

Матеріал і результати досліджень.

В дослідженні використовується повна математична модель АГ. Вона представлена системою диференціальних рівнянь, що описують асинхронну машину (АМ) у системі координат $d-q$, яка обертається з довільною швидкістю ω_0 , має вигляд [2]:

$$\begin{aligned} \dot{i}_d &= -\gamma i_d + \omega_0 i_q + \alpha \beta \psi_d + \beta \omega \psi_q + u_d / \sigma, \\ \dot{i}_q &= -\gamma i_q - \omega_0 i_d + \alpha \beta \psi_q - \beta \omega \psi_d + u_q / \sigma, \\ \dot{\psi}_d &= -\alpha \psi_d + (\omega_0 - \omega) \psi_q + \alpha L_m i_d, \\ \dot{\psi}_q &= -\alpha \psi_q - (\omega_0 - \omega) \psi_d + \alpha L_m i_q, \\ \dot{\varepsilon}_0 &= \omega_0, \varepsilon_0(0) = 0, \\ P_s &= -(3/2)(u_d i_d + u_q i_q), \end{aligned} \tag{1}$$

де $i_{1d}, i_{1q}, u_{1d}, u_{1q}, \psi_{2d}$ та ψ_{2q} – відповідно проекції просторових векторів струму й напруги статора та потокозчеплення ротора; p_n – число пар полюсів; ω – кутова частота обертання ротора; ε_0 – кут повороту системи координат відносно $(d-q)$; L_m – індуктивність контуру намагнічування; $\alpha = R_2/L_2$, $\beta = L_m/\sigma L_2$, $\gamma = R_1/\sigma + \alpha \beta L_m$, $\sigma = L_1(1 - L_m/L_1 L_2)$, $L_1 = L_m + L_{1\sigma}$, $L_2 = L_m + L_{2\sigma}$ – повні індуктивності статора й ротора; $L_{1\sigma}$, і $L_{2\sigma}$ – індуктивності розсіювання статора та ротора; R_1 і R_2 – активні опори фаз статора й ротора.

Регулятор струму має вигляд [3]:

$$u_d = \sigma(\gamma i_d^* - \omega_0 i_q - \alpha \beta \psi^* - k_i \tilde{i}_d + x_d), \quad \dot{x}_d = -k_{ii} \tilde{i}_d, \tag{2}$$

$$u_q = \sigma(\gamma i_q^* + \omega_0 i_d + \beta \omega \psi^* - k_i \tilde{i}_q + x_q), \quad \dot{x}_q = -k_{ii} \tilde{i}_q. \tag{3}$$

Регулятор потокозчеплення [3]:

$$\dot{\varepsilon}_0 = \omega_0 = \omega + \alpha L_m i_q / \psi^*, \quad i_d^* = \psi^* / L_m, \tag{4}$$

де $\tilde{i}_d = i_d - i_d^*$, $\tilde{i}_q = i_q - i_q^*$ поточні похибки, i_d^*, i_q^* – завдання струмів i_d і i_q відповідно, x_d і x_q , – інтегральні складові регуляторів струму, (k_i, k_{ii}) пропорційний і інтегральний коефіцієнти регуляторів.

Регулятор напруги ланки постійного струму має вигляд [3]:

$$i_q^* = -L_m / L_2 \omega \psi^* + \sqrt{(L_m / L_2 \omega \psi^*)^2 - 4(\alpha L_m^2 / L_2 + R_1) \rho} / 2(\alpha L_m^2 / L_2 + R_1), \quad (5)$$

$$\rho = R_1 \psi^{*2} L_m^{-2} + (2/3) V_{dc} (i_L + C(-k_v \tilde{V}_{dc} + x_v)), \quad \dot{x}_v = -k_{vi} \tilde{V}_{dc},$$

де, $k_{vi} = k_v^2 / 2$, $k_{ii} = (k_i + \gamma)^2 / 2$, $\tilde{V}_{dc} = V_{dc} - V_{dc}^*$ – помилка регулювання V_{dc}

Для дослідження границі практично досяжного рівня потокозчеплення ротора при різних напругах ланки постійного струму V_{dc} і швидкості обертання ротора векторно-керованого асинхронного генератора було створено модель системи генерування з керуванням (2-5). Структурна схема алгоритму представлена на рис. 2.

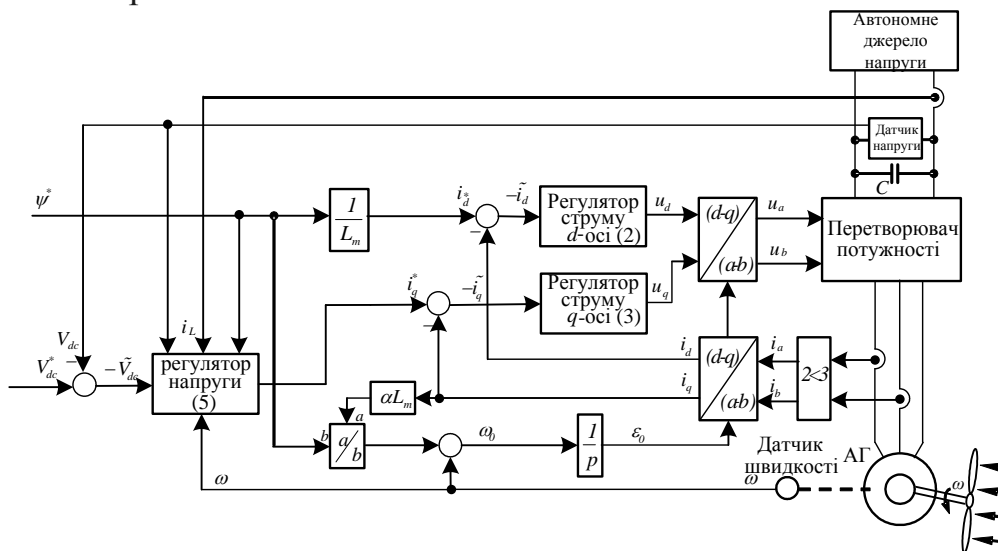


Рисунок 2 – Структурна схема моделі системи генерування з АГ

Дослідження виконувались для АГ з наступними параметрами: $P=2,2$ кВт, $R1=3,5$ Ом, $L1=0,28$ Гн, $R2=2,5$ Ом, $L2=0,28$ Гн, $Lm=0,279$ Гн. Значення налаштувальних коефіцієнтів прийняті: $k_i=700$, $k_{ii}=120000$, $k_p=100$, $k_{pi}=5000$. Досліджувалось граничне значення збудження АГ для швидкостей обертання ротора від $0,1\omega_n=15$ рад/с до $\omega_n=150$ рад/с., а також для напруг автономного джерела в ланці постійного струму 48 В – 500В.

На рисунках 3, 4 представлено графіки максимально досяжного потокозчеплення ротора отримані для різних напруги ланки постійного струму V_{dc} і швидкості обертання ротора асинхронного генератора.

З графіків видно, що потокозчеплення досягає заданого рівня для кожної з досліджуваних швидкостей, лише при певній комбінації напруги V_{dc} і швидкості обертання. Це пояснюється тим, що компонента напруги U_q пропорційна швидкості обертання ротора, а V_{dc} обмежує максимальне значення відповідно до співвідношення обертання $V_{dc} = 2\sqrt{u_d^2 + u_q^2}$. Тому при малій швидкості і можна досягти збільшеного значення з меншим V_{dc}

Висновки. Результати показали, що, при низькій нарузі автономного джерела, збудження потрібно починати на низькій швидкості генератора.

Номінального значення потокозчеплення можна досягти тільки при збільшенні напруги в ланці постійного струму до рівня, який залежить від поточної швидкості АГ. Наприклад, при $0.5 \omega_n$ напруга має бути більша 400В, а при $0.1 \omega_n$ – більша 170В

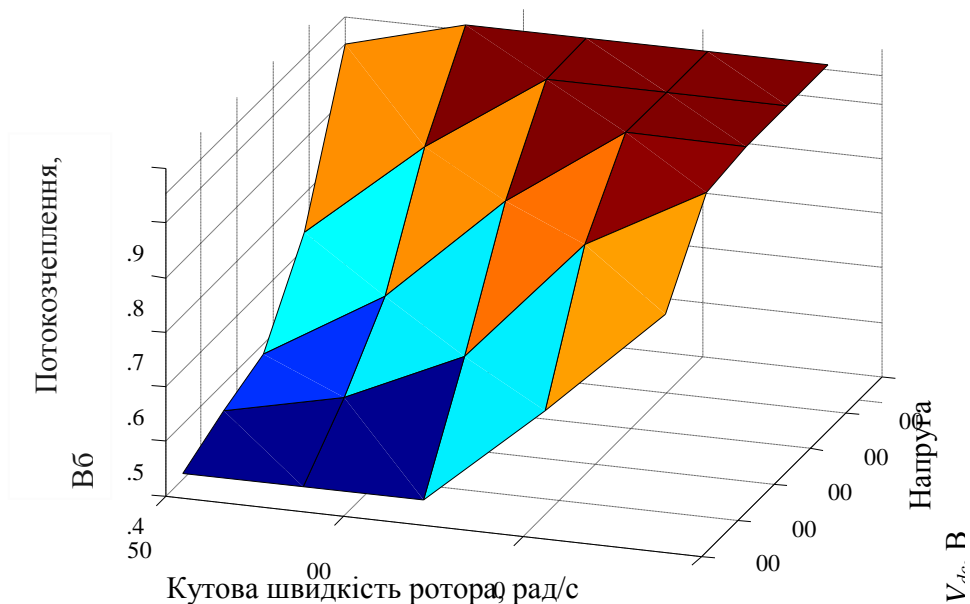


Рисунок 3 – Поверхня залежності ψ_r від V_{dc} для різних ω_r

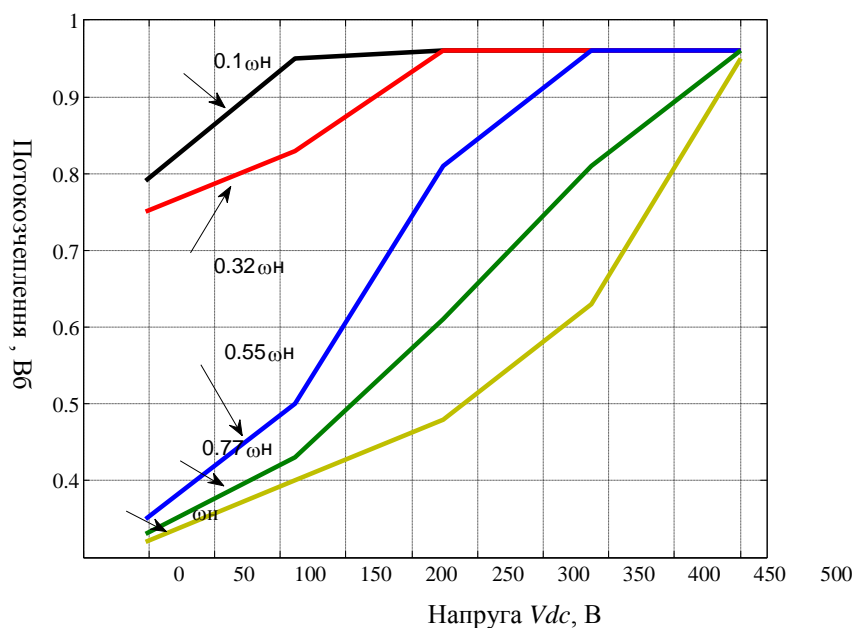


Рисунок 4 – Сімейство характеристик залежностей ψ_r від V_{dc} для різних ω_r

Перелік посилань

1. Атрощенко В. А., Автономные источники электроэнергии: состояние и перспективы. / В. А. Атрощенко. О. В. Григораш //Промышленная энергетика. – 1995. – № 6. – С. 42-45.
2. Peresada S., High-performance robust speed-flux tracking controller for induction motor/ A. Tonielli, // Int. J. Adapt. Control Signal Process. – 2000, – vol. 14 –pp. 177–200.
3. Peresada S., Indirect Field Oriented Output Feedback Linearized Control of Induction Generator / S. Kovbasa, S. Korol, N. Pechenik, N. Zhelinskyi // in Proc. IEEE Int. Conf. on Intel. Energy and Power Systems, IEPS-2016. – 07–09 Jun. – pp. 187-191.