

ВЕРИФІКАЦІЯ МОДЕЛІ АСИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА З САМОЗБУДЖЕННЯМ ДЛЯ ПРОЕКТУВАННЯ КОНДЕНСАТОРНОГО РЕГУЛЯТОРА НАПРУГИ

Пушкар М.В., асистент, Нечипоренко О.Б., Трайковський О.Ю., студенти НТУУ «КПІ», кафедра автоматизації електромеханічних систем та електроприводу

Вступ. Асинхронні генератори (АГ) знайшли широке застосування в автономних енергогенеруючих електроустановках на основі відновлюваних джерел енергії для живлення споживачів у віддалених районах. Раніше в [1] було запропоновано лінеаризовану модель АГ, яка є корисною для аналізу його динамічних характеристик. В даній роботі пропонується базуючись на результатах отриманих в [2] верифікувати нелінійну математичну модель АГ в просторі-стану, яка має керуючою дією ємність конденсаторів, а напругу – вихідною координатою.

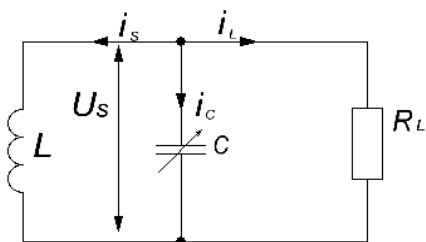


Рисунок 1 – Схема заміщення однієї фази АГ

Мета роботи. Верифікувати модель АГ, для проектування системи керування напругою за допомогою зміни ємності конденсаторної батареї.

Матеріали і результати досліджень. Розглянемо АГ із резистивним навантаженням, з конденсаторами, з'єднаними паралельно з обмотками статора, Схема заміщення однієї з фаз якого показана на рис. 1. Керування змінним конденсатором передбачається в кожній фазі. Такий конденсатор може бути отриманий шляхом комутації паралельно підключених конденсаторів за допомогою реле, тиристорних або транзисторних ключів.

Такий конденсатор може бути отриманий шляхом комутації паралельно підключених конденсаторів за допомогою реле, тиристорних або транзисторних ключів.

Наступну модель АГ було отримано в [1,2]

$$E\dot{X} = FX, \tag{1}$$

де $X = [U_{SF} \quad i_{SF} \quad i_{RF} \quad U_{SG} \quad i_{SG} \quad i_{RG}]^T$,

$$F = \begin{pmatrix} F_1 & -F_2 \\ -F_2 & F_1 \end{pmatrix}, \quad E = \begin{pmatrix} E_F & E_{FG} \\ E_{FG} & E_G \end{pmatrix}, \quad F_1 = \begin{pmatrix} Y_L & 1 & 0 \\ 1 & -R_S & 0 \\ 0 & 0 & -R_R \end{pmatrix}, \quad F_2 = \begin{pmatrix} C\omega_e & 0 & 0 \\ 0 & -\omega_e(L_{\sigma S} + L_M) & -\omega_e L_M \\ 0 & (n_p \omega - \omega_e)L_M & (n_p \omega - \omega_e)(L_{\sigma R} + L_M) \end{pmatrix},$$

$$E_F = \begin{pmatrix} -C & 0 & 0 \\ 0 & L_{\sigma S} + L_{MF} & L_{MF} \\ 0 & L_{MF} & L_{\sigma R} + L_{MF} \end{pmatrix}, \quad E_{FG} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & L_{MFG} & L_{MFG} \\ 0 & L_{MFG} & L_{MFG} \end{pmatrix}, \quad E_G = \begin{pmatrix} -C & 0 & 0 \\ 0 & L_{\sigma S} + L_{MG} & L_{MG} \\ 0 & L_{MG} & L_{\sigma R} + L_{MG} \end{pmatrix}$$

Статорні і роторні електричні величини перетворено в F-G координати, які обертається з довільною кутовою швидкістю ω_e відносно статора (ця швидкість обертається, так що вектор стану X є константою в усталеному режимі). У моделі $U_{SF}, U_{SG}, i_{SF}, i_{SG}$ позначають F і G компоненти напруги та струму статора,

відповідно, i_{RF}, i_{RG} позначають компоненти струму ротора, $Y_L = 1/R_L$ – навантаження, C – ємність конденсатора, ω – кутова швидкість ротора, R_s і R_r – опір статора та ротора, $L_{\sigma s}$ і $L_{\sigma r}$ позначають індуктивність статора і ротора, а n_p – число пар полюсів.

Індуктивність намагнічування $L_M = f(i_M)$ є статичною функцією струму намагнічування.

$$i_M = \sqrt{i_{MF}^2 + i_{MG}^2}, \quad (2)$$

де $i_{MF} = i_{SF} + i_{RF}$ і $i_{MG} = i_{SG} + i_{RG}$.

Індуктивності L_{MF} , L_{MG} і L_{MFG} обчислюються таким чином [1],[2]

$$L_{MF} = L_M + (L - L_M)i_{MF}^2 / i_M^2, \quad L_{MG} = L_M + (L - L_M)i_{MG}^2 / i_M^2, \quad (3)$$

$$L_{MFG} = (L - L_M)i_{MF}i_{MG} / i_M^2,$$

де $L = d\psi_M / di_M = L_M + i_M dL_M / di_M$ позначає динамічну індуктивність намагнічування.

Були промодельовані та експериментально зняті статичні залежності генерованої частоти від ємності та величини генерованої напруги від ємності, рис. 2 та 3, відповідно. Методика експериментальних досліджень та параметри дослідної установки наведені в [2]

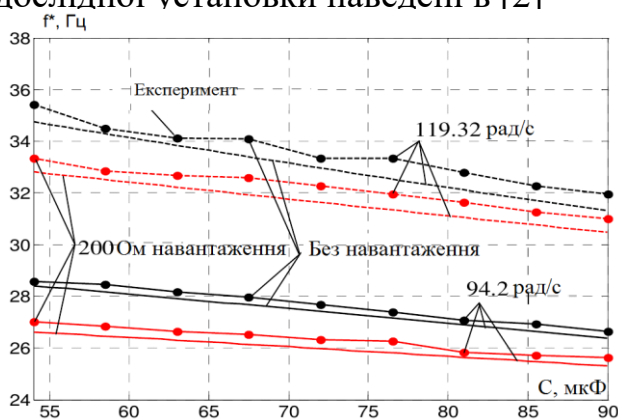


Рисунок 2 – Залежність частоти від ємності конденсаторної батареї для різних швидкостей та навантаження

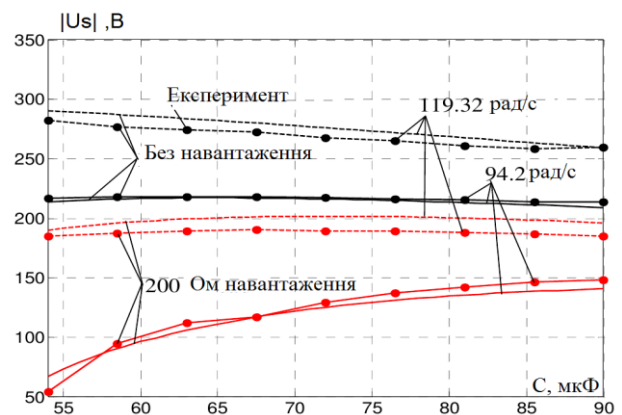


Рисунок 3 – Залежність напруги від ємності конденсаторної батареї для різних швидкостей та навантаження

Як бачимо з графіків, різниця між експериментальною та промодельованою характеристиками знаходиться в межах допустимої похибки в 2-3%, і модель [2] можна використовувати для розробки конденсаторного контролера напруги.

Висновки. За результатами верифікації математичну модель АГ в просторі стану, що має керуючою дією ємність конденсаторної батареї можна використовувати для розробки конденсаторного контролера напруги.

Перелік посилань

1. Bodson, M.; Kiselychuk, O., "Nonlinear dynamic model and stability analysis of self-excited induction generators," American Control Conference (ACC), 2011, vol., no., pp.4574,4579, June 29 2011-July 1 2011
2. Kiselychuk, O.; Bodson, M.; Jihong Wang, "Model of a self-excited induction generator for the design of capacitor-controlled voltage regulators," Control & Automation (MED), 2013 21st Mediterranean Conference on, vol., no., pp.149,154, 25-28 June 2013