

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ АСИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА З САМОЗБУДЖЕННЯМ ПРИ АКТИВНО-ІНДУКТИВНОМУ НАВАНТАЖЕННІ

Савич О.Ю., магістрантка, Кіселичник О.І., к.т.н., доцент, Пушкар М.В., асистент

кафедра автоматизації електромеханічних систем та електроприводу

Вступ. Математична модель асинхронного генератора (АГ) з самозбудженням отримана в матричному вигляді при активному (резистивному) навантаженні в [1]. Модель представлено в зручній формі для числового інтегрування функціями Matlab ode та верифіковано експериментально. В той же час, більш характерним видом навантаження АГ є активно-індуктивне навантаження.

Мета досліджень. Розробити математичну модель в просторі стану АГ при активно-індуктивному навантаженні.

Матеріали досліджень. Стандартна двофазна математична модель АГ в системі координат А-В, зв'язаній з нерухомим статором, описується наступною системою рівнянь [1]

$$\frac{d\Psi_S}{dt} = U_S - R_S i_S, \quad \frac{d\Psi_R}{dt} = -R_R i_R + n_p \omega J \Psi_R, \quad J = \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix},$$

де $\Psi_S = [\Psi_{SA} \quad \Psi_{SB}]^T$, $\Psi_R = [\Psi_{RA} \quad \Psi_{RB}]^T$ - вектори потокозчеплень статора та ротора; $i_S = [i_{SA} \quad i_{SB}]^T$, $i_R = [i_{RA} \quad i_{RB}]^T$ - вектори струмів статора та ротора; $U_S = [U_{SA} \quad U_{SB}]^T$ - вектор напруги статора; R_S і R_R - активні опори статора та ротора, n_p - кількість пар полюсів; ω - кутова швидкість ротора.

Паралельно до обмоток статора підключаються конденсатори збудження ємністю C та паралельно до них - послідовні з'єднання резисторів R_L та індуктивностей L_L навантаження.

Тоді, рівняння для напруги на обмотках статора (на конденсаторах збудження) отримується на основі першого закону Кірхгофа у вигляді

$$-C \frac{dU_S}{dt} = i_S + i_L,$$

де $i_L = [i_{LA} \quad i_{LB}]^T$ - вектор струму навантаження.

Четверте рівняння представляє собою другий закон Кірхгофа для кола навантаження

$$Y_L L_L \frac{di_L}{dt} = Y_L U_S - i_L,$$

де $Y_L = 1/R_L$.

У якості вектора стану вибираються наступні координати

$$X = [U_{SA} \quad i_{SA} \quad i_{RA} \quad i_{LA} \quad U_{SB} \quad i_{SB} \quad i_{RB} \quad i_{LB}]^T.$$

Тоді згідно методики, представленої в [1], матричне рівняння для опису АГ буде восьмого порядку і запишеться у наступному вигляді

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

де

$$E = \begin{bmatrix} -C & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & L_{\sigma S} + L_{MA} & L_{MA} & 0 & 0 & L_{MAB} & L_{MAB} & 0 \\ 0 & L_{MA} & L_{\sigma R} + L_{MA} & 0 & 0 & L_{MAB} & L_{MAB} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & Y_L L_L & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -C & 0 & 0 & 0 \\ 0 & L_{MAB} & L_{MAB} & 0 & 0 & L_{\sigma S} + L_{MB} & L_{MB} & 0 \\ 0 & L_{MAB} & L_{MAB} & 0 & 0 & L_{MB} & L_{\sigma R} + L_{MB} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & Y_L L_L \end{bmatrix};$$

$$F = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -R_S & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -R_R & 0 & 0 & -n_p \omega L_M & -n_p \omega (L_{\sigma R} + L_M) & 0 \\ Y_L & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -R_S & 0 & 0 \\ 0 & n_p \omega L_M & n_p \omega (L_{\sigma R} + L_M) & 0 & 0 & 0 & -R_R & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & Y_L & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix};$$

$L_{MA} = L_M + (L - L_M)i_{MA}^2 / i_M^2$; $L_{MB} = L_M + (L - L_M)i_{MB}^2 / i_M^2$; $L_{MAB} = (L - L_M)i_{MA}i_{MB} / i_M^2$;
 $L_{\sigma S}$, $L_{\sigma R}$ - індуктивності розсіювання статора і ротора; L_M - індуктивність намагнічування; $L = L_M + i_M dL_M / di_M$ - динамічна індуктивність намагнічування;
 $i_M = \sqrt{i_{MA}^2 + i_{MB}^2}$ - модуль вектора струму намагнічування.

При цьому індуктивність намагнічування описується статичною залежністю $L_M = f(i_M)$ [1] з нелінійними ділянками при малих і великих значеннях i_M . Залишкова намагніченість АГ може симулюватись якимось маленьким початковим значенням однієї з напруг статора (або обох).

Висновки. Розроблена математична модель АГ з самозбудженням дозволить моделювати процеси самозбудження та колапсу напруги АГ при активно-індуктивному навантаженні. Вона є зручною для симулювання в середовищі Matlab за допомогою функцій ode.

Перелік посилань

1. M. Bodson & O. Kiselychnyk, "On the triggering of self-excitation in induction generators," Proc. of the 20th International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion (Speedam 2010), Pisa, Italy, pp. 866-871, 2010.