

АНАЛИЗ УРАВНЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ АСИНХРОННОГО АВТОКОЛЕБАТЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Первоначально автоколебательный режим трехфазного АД с подпружиненным валом при однофазном включении в сеть представлял чисто научный интерес .

Замена пружины на маятник позволяет рассматривать этот безредукторный электропривод в качестве альтернативы редукторным приводам с кривошипно-шатунным механизмом для рабочих машин циклического действия. Поэтому анализ уравнения движения такого автоколебательного асинхронного маятникового электропривода имеет практический интерес в плане выяснения критериальных соотношений для инженерного проектирования. Нами получено в относительных величинах уравнение движения маятникового электропривода в виде:

$$(1 + \mu_1 \cdot \text{sign} \dot{X}) \cdot \ddot{X} + \frac{1}{\beta} \cdot \sin \beta X + \mu_2 \cdot \dot{X} + \mu_3 \cdot \text{sign} \dot{X} - \mu_4 \cdot \frac{a_1 \cdot \dot{X} - \dot{X}^3}{\dot{X}^4 - b_1 \cdot \dot{X}^2 + b_2} = 0 \quad (1)$$

),

где $\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4$ - коэффициенты относительных моментов (динамического жидкостного и сухого трения, электромагнитного); X, β - относительные угол и частота колебаний; a_1, b_1, b_2 - коэффициенты схемы замещения АД.

Считая автоколебания гармоническими $X=R \cdot \cos t$, (R, τ - относительные амплитуда колебаний и время), по методу Галёркина - Бубнова, удалось получить уравнение для радиусов предельных циклов и фазовых траекторий в виде:

$$\mu_{2,0} \cdot R^5 + 1.2 \cdot (1 - b_1 \cdot \mu_{2,0}) \cdot R^3 + 1.6 \cdot (\mu_{2,0} \cdot b_2 - a_1) \cdot R + 6.4 \cdot \pi^{-1} \cdot b_2 \cdot \mu_{3,0} = 0 \quad (2),$$

где $\mu_{2,0} = \mu_2 / \mu_4$, $\mu_{3,0} = \mu_3 / \mu_4$ - кратность моментов жидкостного и сухого трения.

Исследование уравнения (2) показало, что при отсутствии нагрузок ($\mu_{2,0} = \mu_{3,0} = 0$) устанавливаются устойчивые автоколебания с частотой Ω и относительной амплитудой R :

$$\Omega = \sqrt{\frac{m \cdot g \cdot l}{J_0}}, \quad R = \sqrt{\frac{4 \cdot a_1}{3}}.$$

При нагрузке сухим трением ($\mu_{3,0} \neq 0$) и отсутствии жидкостного трения ($\mu_{2,0} = 0$) выяснено, что устойчивые автоколебания существуют пока

$$\mu_{3,0} \leq \frac{\pi \cdot \sqrt{a_1^3}}{9 \cdot b_2}, \quad \text{причём} \quad \sqrt{\frac{4 \cdot a_1}{3}} \geq R \geq \sqrt{\frac{4 \cdot a_1}{9}}.$$

Если отсутствует сухое трение ($\mu_{3,0} = 0$), но есть жидкостное трение ($\mu_{2,0} = 0$), то устойчивость автоколебаний сохраняется при

нагрузках

$$\mu_{0,2} \leq \frac{20 \cdot a_1 - 9 \cdot b_1}{40 \cdot b_2 - 9 \cdot (b_1)^2} \left[1 + \sqrt{1 + 9 \cdot \frac{40 \cdot b_2 - 9 \cdot (b_1)^2}{(20 \cdot a_1 - 9 \cdot b_1)^2}} \right]$$

$$\sqrt{\frac{4 \cdot a_1}{3}} \geq R \geq \sqrt{0.6 \cdot b_1 - (\mu_{0,2})^{-1}}$$

с амплитудами

При совместном действии нагрузок жидкостного и сухого трения амплитуды колебаний сильно зависят от их соотношения. Если

$$0 \leq \mu_{2,0} \leq b_1^{-1} \quad \text{и} \quad 0 \leq \mu_{3,0} \leq 0.4695 \cdot \left[\frac{(a_1 \cdot b_1 - b_2)^5}{(b_1 \cdot b_2)^4} \right]^{\frac{1}{4}},$$

то имеют место автоколебания

$$1.1247 \cdot (a_1 \cdot b_1 - b_2)^{\frac{1}{4}} \geq R \geq 0.959 \cdot \left[\frac{a_1}{b_2^4} \cdot \left[\frac{(a_1 \cdot b_1 - b_2)^5}{a_1} \right]^{\frac{1}{4}} \right]^{\frac{1}{5}}.$$

При больших нагрузках можно пользоваться приближенным уравнением

для предельных радиусов устойчивых колебательных циклов.

$$\frac{R}{\sqrt{\frac{4 \cdot a_1}{3}}} \leq 1 - k_2 \cdot \mu_{2,0} - k_3 \cdot \mu_{3,0}$$

где

$$k_2 = (\mu_{\text{pred}})^{-1} \cdot \left[1 - 1.5 \cdot \sqrt{\frac{b_1 - (\mu_{\text{pred}})^{-1}}{5 \cdot a_1}} \right],$$

$$k_3 = \frac{1.211 \cdot b_2}{\sqrt{(a_1)^3}},$$

$$\mu_{\text{pred}} = \frac{20 \cdot a_1 - 9 \cdot b_1}{40 \cdot b_2 - 9 \cdot (b_1)^2} \left[1 + \sqrt{1 + 9 \cdot \frac{(40 \cdot b_2 - 9 \cdot (b_1)^2)}{(20 \cdot a_1 - 9 \cdot b_1)^2}} \right],$$

причём :

$$k_2 \cdot \mu_{2,0} + k_3 \cdot \mu_{3,0} \leq 1$$

$$\mu_{2,0} \leq \mu_{\text{pred}}$$

$$\mu_{3,0} \leq \frac{\pi}{9} \cdot \sqrt{\frac{(a_1)^3}{(b_2)^2}}$$

Найденные соотношения являются математическим обеспечением инженерной методики синтеза рассматриваемого привода. Их справедливость подтверждается абсолютной сходимостью с некоторыми частными результатами, полученными в работах Власова Н.П. и Ивахненко А.Г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Власов Н.П. Автоколебательная схема с однофазным асинхронным катодом // Журнал технической физики. - 1935. - Т5. - Вып.4 - с.641-653.
2. Ивахненко А. Г. Из лабораторной практики // Автоматика. - 1956. - N2.