Доклады Академии Наук СССР
1948. Том LX, № 8

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Академик В. П. НИКИТИН и Н. П. КУНИЦКИЙ

ОСЛАБЛЕНИЕ ПОТОКА ДВИГАТЕЛЯ ПРИ ОДНОВРЕМЕННОМ ПОВЫШЕНИИ НАПРЯЖЕНИЯ ГЕНЕРАТОРА В СИСТЕМЕ ЛЕОНАРДА

В ряде случаев в системе Леонарда с целью сокращения времени разгона двигателя до скорости, выше основной, можно допустить, наряду с ростом напряжения генератора, и ослабление потока двигателя. Критерием этого является допустимый максимальный ток двигателя.

Авторами предлагаются приближенные формулы для максимального тока двигателя при возрастании его скорости путем одновременного ослабления потока двигателя и повышения напряжения генератора. Эти формулы позволяют в каждом конкретном случае решить поставленный выше вопрос. Формулы выведены на основе допущения отсутствия падения напряжения в главной цепи.

Примем, что постоянные времени цепей возбуждения генератора и двигателя одинаковы и равны $T_в$. Уравнения электропривода при одновременном изменении эдс ε генератора и потока φ двигателя имеют вид (в относительных единицах):

для тока i двигателя:

$$i = \frac{\mu_c}{\varphi} - \frac{\varepsilon - i\beta}{\varphi^3\delta}\,\frac{d\varphi}{d\tau_в} + \frac{1}{\varphi^2\delta}\,\frac{d\varepsilon}{d\tau_в} - \frac{\beta}{\varphi^2\delta}\,\frac{di}{d\tau_в}; \tag{1}$$

для скорости v:

$$\frac{dv}{d\tau_в} = \frac{\varphi\varepsilon\delta}{\beta} - \frac{\varphi^2 v\delta}{\beta} - \mu_c\,\delta; \tag{2}$$

для эдс ε генератора:

$$\varepsilon = \mu_г\,\varepsilon_{пр}\,(1 - e^{-\tau_в}) + \varepsilon_0\,e^{-\tau_в}; \tag{3}$$

для потока φ двигателя

$$\varphi = \mu\varphi_{пр}\,(1 - e^{-\tau_в}) + \varphi_0\,e^{-\tau_в}, \tag{4}$$

где $\delta = \frac{T_в}{T_м}$, $T_м = \frac{GD^2\,n_{0н}}{375\,M_н}$ — электромеханическая постоянная времени пуска, GD^2 — маховой момент привода, $M_н$ — номинальный момент двигателя, $n_{0н}$ — скорость холостого хода двигателя при номинальной эдс $\varepsilon_н$ генератора, β — относительное сопротивление главной цепи, μ_c — момент сопротивления механизма, $\tau_в = \frac{t}{T_в}$ — относительное время, $\varepsilon_{пр}$ и $\varphi_{пр}$ — предельные значения эдс генератора и потока двигателя при форсировке, $\mu_г$ и μ — коэффициенты, учитывающие насыщение генератора и двигателя, ε_0 и φ_0 — начальные эдс генератора и поток двигателя. Скорость v отнесена к $n_{0н}$, все же остальные величины отнесены к номинальным значениям.

При пренебрежении падением напряжения в главной цепи, т. е. при $\beta=0$, уравнения электропривода будут

$$i=\frac{\mu_c}{\varphi}+\frac{Ae^{-\tau_в}}{\varphi^3\delta}, \tag{5}$$

$$v\varphi=\varepsilon,$$

где $A=\alpha_н\varepsilon_у\varphi_0-\alpha_п\varphi_у\varepsilon_0$, $\alpha_н=\frac{\mu_г\varepsilon_{пр}}{\varepsilon_у}$ — коэффициент форсировки напряжения генератора, $\alpha_п=\frac{\mu\varphi_{пр}}{\varphi_у}<1$ — коэффициент форсировки потока двигателя, $\varepsilon_у$ и $\varphi_у$ — конечные установившиеся напряжение генератора и поток двигателя.

Ошибка, вызванная пренебрежением падением напряжения в главной цепи, не превосходит 10—15%, причем максимальные пики тока при $\beta=0$ получаются больше действительных, что создает некоторый запас в расчете.

Максимальный пик тока, найденный из уравнения (5), будет:

$$i_{max}=\frac{\mu_c^2\delta B\left(A-\sqrt{A^2+3\mu_c\delta\mu\varphi_у AB}+2\mu_c\delta\mu\varphi_{пр}B\right)}{4A(R-A)-3\mu_c\delta B\mu\varphi_{пр}(3A-R)}, \tag{6}$$

$$R=\sqrt{A^2+3\mu_c\delta\mu\varphi_{пр}AB},$$

где $B=\varphi_0-\mu\varphi_{пр}$.

При $\mu_c=0$ максимальный пик тока

$$i_{max}=\frac{4(\alpha_н\varepsilon_у\varphi_0-\alpha_п\varphi_у\varepsilon_0)}{27\delta(\varphi_0-\alpha_п\varphi_у)\alpha_п^2\varphi_у^2}. \tag{7}$$

Пик тока увеличивается с уменьшением δ, иначе говоря, с возрастанием электромеханической постоянной времени, т. е. махового момента привода, и с уменьшением электромагнитной постоянной цепей возбуждения генератора и двигателя.

Пик тока возрастает также с увеличением форсировок напряжения генератора и потока двигателя. С возрастанием ε_0 ток i_{max} уменьшается.

При неизменном напряжении генератора $\alpha_н\varepsilon_у=\varepsilon_0=\varepsilon_у$, и формулы (6) и (7) превращаются в выражения:

$$i_{max}=\frac{1+2\mu_c\delta\mu\varphi_{пр}-\sqrt{1+3\mu_c\delta\mu\varphi_{пр}}}{\frac{4}{\mu_c^2\delta}\left(\sqrt{1+3\mu_c\delta\mu\varphi_{пр}}-1\right)+\frac{3\mu\varphi_{пр}}{\mu_c}\left(\sqrt{1+3\delta\mu_c\mu\varphi_{пр}}-3\right)}$$

и

$$i_{max}=\frac{4\varepsilon_у}{27\delta\alpha_п^2\varphi_у^2}$$

при ослаблении φ, но при $\varepsilon=\mathrm{const}$.

Время разгона двигателя до скорости $v_у$ выше основной при одновременном изменении φ и ε будет:

$$\tau_{вп_1}=\ln\frac{\alpha_н\varepsilon_у-\varepsilon_0+v_у\varphi_0-\alpha_п\varepsilon_у}{\varepsilon_у(\alpha_н-\alpha_п)}. \tag{8}$$

То же время при раздельном изменении сначала ε, а потом φ будет:

$$\tau_{\text{вп}_2} = \ln \frac{\alpha_{\text{н}}\varepsilon_{\text{у}} - \varepsilon_0}{\varepsilon_{\text{у}}(\alpha_{\text{н}} - 1)} + \ln \frac{v_{\text{у}}\varphi_0 - \alpha_{\text{п}}\varepsilon_{\text{у}}}{\varepsilon_{\text{у}}(1 - \alpha_{\text{п}})}. \tag{9}$$

Сравнивая времена $\tau_{\text{вп}_1}$ и $\tau_{\text{вп}_2}$, можем оценить сокращение времени разгона за счет одновременного изменения ε и φ.

Полагая в формуле (8) $\alpha_{\text{н}}\varepsilon_{\text{у}} = \varepsilon_0 = \varepsilon_{\text{у}} = \text{const}$, получим время $\tau_{\text{вн}_3} = \ln \frac{v_{\text{у}}\varphi_0 - \alpha_{\text{п}}\varepsilon_{\text{у}}}{\varepsilon_{\text{у}}(1 - \alpha_{\text{п}})}$ разгона при изменении только φ, полагая в той же формуле $\alpha_{\text{п}}\varphi_{\text{у}} = \mu\varphi_{\text{пр}} = \varphi_0 = \varphi_{\text{у}} = \text{const}$, получим время $\tau_{\text{вп}} = \ln \frac{\alpha_{\text{н}}\varepsilon_{\text{у}} - \varepsilon_0}{\varepsilon_{\text{у}}(\alpha_{\text{н}} - 1)}$ разгона при изменении только ε. При $\varepsilon_{\text{у}} = 1$ и $\varepsilon_0 = 0$:

$$\tau_{\text{вн}_4} = \ln \frac{\alpha_{\text{н}}}{\alpha_{\text{н}} - 1}.$$

Одновременное изменение ε и φ применяется практически в ряде случаев, например, в электроприводе летучих ножниц для резки металла и в следящих системах с дросселями насыщения.

Поступило
24 IV 1948