

УДК 621.313.322.01

Академик Г. Л. Арешян

Формулы провалов напряжений синхронного генератора при пуске асинхронного двигателя

(Представлено 25/VI 1999)

Рассмотрен случай подключения (пуска) асинхронного двигателя (АД) к автономно работающему синхронному генератору (СГ). Принято, что до подключения АД синхронный генератор работал в стационарном режиме с активно-индуктивной нагрузкой $Z_1 = pL_1 + r_1$. Учитывается, что в момент подключения происходит форсировка возбуждения СГ.

Линеаризованная система дифференциальных уравнений, записанная в операторной форме для приращений, имеет вид:
для цепей СГ

$$Z_d I_d + pM_d I_f + pM_d I_D + \omega_o L_q I_q + \omega_o M_q I_Q = -U_d + p^{-1} A_d^o ,$$

$$Z_q I_q + pM_q I_Q - \omega_o L_d I_d - \omega_o M_d I_f - \omega_o M_d I_D = -U_q + p^{-1} A_q^o ,$$

$$Z_f I_f + pM_d I_d + pM_d I_D = U_f + p^{-1} A_f^o ,$$

$$Z_D I_D + pM_d I_d + pM_d I_f = p^{-1} A_D^o ,$$

$$Z_Q I_Q + pM_q I_q = p^{-1} A_Q^o ;$$

для цепей первичной нагрузки

$$Z_1 I_{d1} + \omega_o L_1 I_{q1} = U_d + p^{-1} A_{d1}^o ,$$

$$Z_1 I_{q1} - \omega_o L_1 I_{d1} = U_q + p^{-1} A_{q1}^o ;$$

для цепей АД

$$Z_a I_{d2} + pM I_{D2} + \omega_a L_a I_{q2} + \omega_o M I_{Q2} = U_d + p^{-1} A_{d2}^o ,$$

$$Z_a I_{q2} + pM I_{Q2} - \omega_o L_a I_{d2} - \omega_o M I_{D2} = U_q + p^{-1} A_{q2}^o ,$$

$$Z_R I_{D2} + pM I_{d2} + \omega_o M I_{q2} + \omega_o L_R I_{Q2} = p^{-1} A_{D2}^o ,$$

$$Z_R I_{Q2} + p M I_{q2} - \omega_o M I_{d2} - \omega_o L_R I_{D2} = p^{-1} A_{Q2} .$$

Линеаризация произведена для многомерной точки

$$U_d^0, U_q^0, U_f^0, i_f^0, i_d^0, i_q^0, i_D^0, i_Q^0, i_{d1}^0, i_{q1}^0, i_{d2}^0, i_{q2}^0, i_{D2}^0, i_{Q2}^0, S^0=1, \omega_o=\text{const} .$$

Принято, что в момент подключения АД к СГ при $t=0^+$ скорость ротора СГ не успевает измениться, а ротор АД - начать вращаться. Поэтому дифференциальные уравнения движения маховых масс не используются. Постоянные начальных условий A_{ij}^0 для рассматриваемого случая (стационарный режим СГ до момента подключения АД) все равны нулю, кроме $A_{d2}^0=U_d^0$ и $A_{q2}^0=U_q^0$. Форсировка возбуждения учитывается выражением $U_f(p)=p^{-1}\Delta U_f$. К приведенным уравнениям добавляются уравнения токов генератора и нагрузок

$$I_d = I_{d1} + I_{d2}, \quad I_q = I_{q1} + I_{q2} .$$

Собственные операторные сопротивления электрических цепей обозначены

$$Z_d = pL_d + r_s, \quad Z_q = pL_q + r_s, \quad Z_f = pL_f + r_f, \quad Z_D = pL_D + r_D, \\ Z_Q = pL_Q + r_Q, \quad Z_\alpha = pL_\alpha + r_\alpha, \quad Z_R = pL_R + r_R, \quad Z_1 = pL_1 + r_1 .$$

Решения провалов напряжения при подключении АД определены тем же методом, который был использован при подключении к СГ дополнительной активно-индуктивной нагрузки [1], а именно, линеаризация исходных дифференциальных уравнений, их запись в операторной форме, получение решений для токов и напряжений в виде дробно-рациональных степенных полиномов от операторного параметра p , разложение их в ряды Лорана, построение асимптотических решений в виде степенных рядов от времени в окрестности $t=0$.

В результате для приращений получены следующие аналитические формулы провалов напряжений для момента $t=0^+$ с учетом форсировки:

$$\Delta U_d(0^+) = - \frac{L_1 L'_a k_{a\phi} \Delta U_f}{D''_d} - \frac{L_1 L''_{d0} U_d^0}{D''_d}, \quad (1)$$

$$\Delta U_q(0^+) = - \frac{L_1 L'_{q0} U_q^0}{D'_q}, \quad (2)$$

где

$$D''_d = L''_{do}(L_1 + L'_a) + L_1 L'_a, \quad D'_q = L'_{q0}(L_1 + L'_a) + L_1 L'_a. \quad (3)$$

Переходные и сверхпереходная индуктивности равны

$$\begin{aligned} L'_{do} &= L_d(1 - M_d^2 L_d^{-1} L_f^{-1}), \quad L'_{q0} = L_q(1 - M_q^2 L_q^{-1} L_Q^{-1}), \\ L'_a &= L_a(1 - M_d^2 L_a^{-1} L_R^{-1}), \quad M'_{do} = M_d(1 - M_d L_f^{-1}), \\ L'_{D0} &= L_D(1 - M_d^2 L_D^{-1} L_f^{-1}), \\ L''_{do} &= L'_{do} [1 - (M'_{do})^2 \cdot (L'_{do} L'_{D0})^{-1}]. \end{aligned} \quad (4)$$

В случае отсутствия у СГ демпферных клеток вместо L''_{do} берется L'_{d0} , а вместо L'_{q0} - L_q . Коэффициент форсировки $K_{a\phi}$ равен

$$k_{a\phi} = \sigma'_{D0} k_f, \quad \sigma'_{D0} = 1 - M'_{do}(L'_{D0})^{-1}, \quad k_f = M_d L_f^{-1}. \quad (5)$$

В случае отсутствия демпферных клеток коэффициент форсировки становится равным

$$k_{a\phi} = k_f = M_d L_f^{-1}. \quad (6)$$

Полные напряжения на зажимах СГ в момент $t=0^+$ будут равны

$$U_d(0^+) = U_d^0 + \Delta U_d(0^+), \quad U_q(0^+) = U_q^0 + \Delta U_q(0^+). \quad (7)$$

Из уравнений (1), (2) и (3) получаем провалы напряжений в частном случае, когда АД подключается к СГ, который находится в режиме холостого хода, т. е. нагрузка $Z_1 = pL_1 + r_1$ отсутствует.

Устремляя в уравнениях (1), (2) и (3) $L_1 \rightarrow \infty$, получаем с учетом того, что при холостом ходе $U_d^0 = 0$, $U_q^0 = E_0$,

$$\Delta U_d(0^+) = - \frac{L'_a k_{a\phi} \Delta U_f}{L''_{d0} + L'_a}; \quad \Delta U_q(0^+) = - \frac{L'_{q0} E_0}{L'_{q0} + L'_a}. \quad (8)$$

В заключение отметим, что полученные аналитические формулы имеют важное значение для автономной электроэнергетики малых и средних мощностей, когда СГ питает электронную аппаратуру, которая очень чувствительна к провалам и всплескам

напряжения. Полученные формулы позволяют достоверно определять величину провалов напряжения, а на этапе проектирования СГ правильно выбрать параметры демпферных клеток СГ и величину напряжения форсировки в обмотке возбуждения.

Государственный инженерный университет Армении

Литература

1. Арешян Г. Л. - Электричество. 1998. N 10.

Ակադեմիկոս Գ. Լ. Արեշյան
Ասինխրոն շարժիչի բանեցման ժամանակ սինխրոն
գեներատորի լարումների անկման բանաձևերը

$t=0+$ ժամանակի համար տրված են սինխրոն գեներատորի լարման անկումների անալիտիկ արտահայտություններ , որոնք ստացվել են դիֆերենցիալ հավասարումների համակարգի լուծման հիման վրա: Ընդունված է, որ մինչ ասինխրոն շարժիչի բանեցումը, սինխրոն գեներատորն աշխատում էր ստացիոնար ընթացքում ակտիվ ինդուկտիվ բեռի տակ: Հաշվի է առնվում, որ ասինխրոն շարժիչի միացման ժամանակ տեղի է ունենում գրգռման ուժեղացում: