

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

**ПРИБЛИЖЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ
СТАБИЛИЗИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ
ОПТИМАЛЬНОГО ПУСКОВОГО ТОКА ДВИГАТЕЛЯ**

Получение оптимальной кривой пускового тока двигателя параметрическим путем при помощи размагничивающей стабилизирующей обмотки амплидинного возбудителя достигается включением в цепь этой обмотки либо стабилизирующего трансформатора, либо статической или динамической емкости последовательно с индуктивностью L .

Все величины выражаем в относительных единицах относительно номинальных.

Уравнение главной цепи:

$$\beta \frac{di}{d\tau_m} + i = i_c + \frac{d\varepsilon}{d\tau_m}, \quad (1)$$

где β — относительное сопротивление этой цепи, i — ток двигателя, i_c — статический ток, ε — эдс генератора, $\tau_m = \frac{t}{T_m}$, t — время,

$T_m = \frac{GD^2 n_0}{375 M_n}$ — электромеханическая постоянная времени.

Эдс амплидина

$$\varepsilon_a = \varepsilon + \delta \frac{d\varepsilon}{d\tau_m}, \quad (2)$$

где $\delta = \frac{T_{вн}}{T_m}$, а $T_{вн}$ — электромагнитная постоянная времени обмотки возбуждения генератора.

Принимаем эдс амплидина $\varepsilon_{ап}$ в период нарастания тока до величины $i_{макс}$ поддерживаемой неизменной, постоянной и равной

$$\varepsilon_{ап} = \frac{\varepsilon_{a1} + \varepsilon_{ап1}}{2}, \quad (3)$$

где ε_{a1} — минимальная эдс амплидина в момент достижения током величины $i_{макс}$, $\varepsilon_{ап1}$ — эдс амплидина, создаваемая независимыми его ампервитками AW_n .

Для периода поддержания тока $i_{макс}$ постоянным

$$\varepsilon_a = \varepsilon_1 + \delta (i_{макс} - i_c), \quad (4)$$

где ε_1 — эдс генератора в момент достижения током величины $i_{макс}$.

Максимальная эдс амплидина

$$\varepsilon_{a макс} = 1 + \delta (i_{макс} - i_c). \quad (5)$$

При значительных $\epsilon_{ап}$ можно принимать

$$\epsilon = \frac{\epsilon_{ап} \tau_m}{\delta}, \quad (6)$$

и из выражения (1) определим время нарастания тока до $i_{макс}$:

$$\tau_T = \beta \ln \frac{\psi_c \epsilon_{ап}}{\epsilon_{ап} - \delta (i_{макс} - i_c)}, \quad (7a)$$

где

$$\psi_c = e^{i_c \delta / \epsilon_{ап}}.$$

Тогда

$$\epsilon_1 = \epsilon_{ап} \left\{ 1 - \left[\frac{\epsilon_{ап} - \delta (i_{макс} - i_c)}{\psi_c \epsilon_{ап}} \right]^{\beta/\delta} \right\}$$

и

$$\epsilon_{а1} = \epsilon_{ап} \left\{ 1 - \left[\frac{\epsilon_{ап} - \delta (i_{макс} - i_c)}{\psi_c \epsilon_{ап}} \right]^{\beta/\delta} \right\} + \delta (i_{макс} - i_c). \quad (7b)$$

Полное время разгона двигателя

$$\tau_{п} = \tau_T + \frac{1 - \epsilon_1}{i_{макс} - i_c}. \quad (8)$$

Тангенс угла наклона прямой $\epsilon_a = f(t)$ при $i_{макс} = \text{const}$ будет

$$\text{tg } \beta_0 = \frac{\epsilon_{амакс} - \epsilon_{а1}}{t_{п} - t_T} = \frac{i_{макс} - i_c}{T_m}, \quad (9)$$

где $t_{п} = \tau_{п} T_m$ и $t_T = \tau_T T_m$. Эдс $\epsilon_{ап}$ и ϵ вычисляются по уравнению при $i_c = 0$:

$$\epsilon_{ап1} = \epsilon_{ап} \left\{ 1 - \xi \left(\frac{1}{\Delta} \right)^{\frac{1}{\Delta-1}} + \left[1 - \xi \left(\frac{1}{\Delta} \right)^{\frac{1}{\Delta-1}} \right]^{\frac{1}{\Delta}} \right\}, \quad (10)$$

где $\Delta = \delta / \beta$ и ξ — отношение тока $i_{макс}$ к максимально возможному при неизменной эдс $\epsilon_{ап}$ току $i_{0макс}$.

Для поддержания тока $i_{макс}$ постоянным необходима минимальная эдс амплитуды

$$\epsilon_{ап1мин} = \frac{\left(\frac{i_{макс}}{\xi_{макс}} - i_c \right) \delta}{\left(\frac{\beta}{\delta} \right)^{\delta-\beta}} + i_c \beta, \quad (11)$$

где $\xi_{макс} = 0,75 \div 0,8$, или минимальная эдс $\epsilon_{ап1мин}$, создаваемая $A\mathcal{W}_H$, значение которой получается из формулы (10), если подставить сюда вместо $\epsilon_{ап1}$, $\epsilon_{ап}$ и ξ величины $\epsilon_{ап1мин}$, $\epsilon_{апмин}$ и $\xi_{макс}$.

При данном токе $i_{макс}$ эдс $\epsilon_{ап1}$ могут быть взяты и большими $\epsilon_{ап1мин}$; $\epsilon_{ап1}$ должно быть больше $\epsilon_{амакс}$.

Для сохранения при этом $i_{макс}$ тем же, что и при $\epsilon_{ап1мин}$, величина $\xi < \xi_{макс}$ и определяется формулой при $i_c = 0$:

$$i_{макс} \left\{ 1 - \xi \left(\frac{1}{\Delta} \right)^{\frac{1}{\Delta-1}} + \left[1 - \xi \left(\frac{1}{\Delta} \right)^{\frac{1}{\Delta-1}} \right]^{\frac{1}{\Delta}} \right\} = \epsilon_{ап1} \frac{\xi}{\delta} \left(\frac{\beta}{\delta} \right)^{\frac{\beta}{\delta-\beta}}. \quad (12)$$

Пренебрегаем незначительной постоянной времени коротко-замкнутого контура амплитудина. Эдс амплитудина

$$E_a = \sigma(AW_n - i_c \omega_c) + h, \quad (13)$$

где σ — крутизна рабочего участка характеристики амплитудина, h — отрезок на оси ординат, отсекаемый прямой, заменяющей этот участок, i_c и ω_c — ток и число витков стабилизирующей обмотки.

При формировании тока стабилизирующим трансформатором эдс ε_a определяется уравнением

$$\frac{d^2 \varepsilon_a}{dt^2} + \frac{1}{\sigma_p} \left(\frac{1}{T_1} + \frac{1}{T_2} + \frac{b_{\text{ста}}}{T_1 T_2} \right) \frac{d\varepsilon_a}{dt} + \frac{\varepsilon_a}{\sigma_p T_1 T_2} = \frac{\varepsilon_{a \text{ нез}}}{\sigma_p T_1 T_2}, \quad (14)$$

где $\sigma_p = 1 - k^2$ — коэффициент рассеяния трансформатора, $\varepsilon_{a \text{ нез}} = \varepsilon_{\text{ап}1}$, T_1 и T_2 — постоянные времени цепей трансформатора, $b_{\text{ста}}$ — интенсивность действия стабилизирующей обмотки.

При формировании тока двигателя динамической или статической емкостью имеем

$$\frac{d^2 \varepsilon_a}{dt^2} + \frac{1}{T} (1 + b_{\text{ста}}) \frac{d\varepsilon_a}{dt} + \frac{\varepsilon_a}{T T_c} = \frac{\varepsilon_{a \text{ нез}}}{T T_c}, \quad (15)$$

где $T = L/R$ — постоянная времени цепи стабилизирующей обмотки, T_c — постоянная статической или динамической емкости.

Получаемое из уравнений (14) и (15) выражение для ε_a будет:

$$\varepsilon_a = -\frac{A_0}{p_1 - p_2} (e^{p_1 t} - e^{p_2 t}) + \varepsilon_{a \text{ нез}}, \quad (16)$$

где для стабилизирующего трансформатора

$$A_0 = \frac{b_{\text{ста}} \varepsilon_{a \text{ нез}}}{\sigma_p T_1 T_2} \quad (17)$$

и

$$p_{1,2} = -\frac{1}{2\sigma_p} \left(\frac{1}{T_1} + \frac{1}{T_2} + \frac{b_{\text{ста}}}{T_1 T_2} \right) \pm \sqrt{\frac{1}{4\sigma_p^2} \left(\frac{1}{T_1} + \frac{1}{T_2} + \frac{b_{\text{ста}}}{T_1 T_2} \right)^2 - \frac{1}{\sigma_p T_1 T_2}}; \quad (18)$$

для динамической и статической емкости

$$A_0 = \frac{b_{\text{ста}} \varepsilon_{a \text{ нез}}}{T}, \quad (19)$$

$$p_{1,2} = -\frac{1}{2T} (1 + b_{\text{ста}}) \pm \sqrt{\frac{1}{4T^2} (1 + b_{\text{ста}})^2 - \frac{1}{T T_c}}. \quad (20)$$

Из уравнения (16) имеем минимальную эдс амплитудина

$$\varepsilon_{a \text{ min}} = \frac{A_0}{p_2} \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{p_1}{p_1 - p_2}} + \varepsilon_{a \text{ нез}} \quad (21)$$

и время ее достижения

$$t_{\tau} = \frac{1}{p_1 - p_2} \ln \frac{p_2}{p_1}. \quad (22)$$

Среднее значение тангенса угла наклона кривой $\varepsilon_a = f(t)$ за период $t_n - t_{\tau}$

$$\text{tg } \beta_{\text{cp}} = \frac{A_0}{(t_n - t_{\tau})(p_1 - p_2)} (e^{p_1 t_{\tau}} - e^{p_2 t_{\tau}} - e^{p_1 t_n} + e^{p_2 t_n}). \quad (23)$$

При формировании тока

$$\varepsilon_{a \text{ нез}} = \varepsilon_{a \text{ п } 1}, \quad \varepsilon_{a \text{ мин}} = \varepsilon_{a 1}, \quad t_{\tau} = \tau_{\tau} T_{\text{м}}, \quad \text{tg } \beta_{\text{ср}} = \text{tg } \beta_0.$$

Определив для данных значений $i_{\text{макс}}$, δ и β величины $\varepsilon_{a \text{ п } 1}$, $\varepsilon_{a 1}$, $\varepsilon_{a \text{ макс}}$, t_{τ} и $t_{\text{п}}$, находим из уравнений (21), (22) и (23) величины p_1 , p_2 и A_0 .

Для этого величину $\gamma = p_2/p_1$ находим графически из уравнения

$$1 + \frac{\varepsilon_{a \text{ макс}} - \varepsilon_{a 1}}{\varepsilon_{a 1} - \varepsilon_{a \text{ п } 1}} = \frac{\gamma}{1 - \gamma} \gamma^{-\frac{1}{\gamma-1} \left(\frac{1}{\psi} - 1 \right)} \left(\gamma^{-\frac{1}{\psi}} - 1 \right), \quad (24)$$

где $\psi = \tau_{\tau} / \tau_{\text{п}}$.

С целью пригодности расчета для различных $T_{\text{м}}$ вводим величины

$$p_{01} = - \frac{\ln \gamma}{\tau_{\tau} (\gamma - 1)} = p_1 T_{\text{м}}, \quad (25)$$

$$p_{02} = \gamma p_{01} = p_2 T_{\text{м}}, \quad (26)$$

$$A_{0\text{м}} = \frac{(\varepsilon_{a \text{ мин}} - \varepsilon_{a \text{ нез}}) p_{02}}{\frac{p_{02}}{p_{01}}} = A_0 T_{\text{м}}. \quad (27)$$

Найдя γ , определяем p_{01} , p_{02} и $A_{0\text{м}}$.

Тогда параметры стабилизирующего трансформатора определяются по формулам

$$b_{\text{ста}} = \frac{A_{0\text{м}} T_{\text{м}}}{\varepsilon_{a \text{ нез}} p_{01} p_{02}},$$

$$T_2 = - \frac{T_{\text{м}} (p_{01} + p_{02}) + b_{\text{ста}} p_{01} p_{02}}{2 p_{01} p_{02}} \pm$$

$$\pm \sqrt{\frac{[T_{\text{м}} (p_{01} + p_{02}) + b_{\text{ста}} p_{01} p_{02}]^2}{4 p_{01}^2 p_{02}^2} - \frac{T_{\text{м}}^2}{\sigma_{\text{р}} p_{01} p_{02}}},$$

если задаться коэффициентом рассеяния трансформатора $\sigma_{\text{р}}$ и

$$T_1 = \frac{T_{\text{м}}^2}{\sigma_{\text{р}} p_{01} p_{02} T_2},$$

а параметры динамической или статической емкости определяются формулами

$$b_{\text{ста}} = - \frac{A_{0\text{м}}}{\varepsilon_{a \text{ нез}} (p_{01} + p_{02}) + A_{0\text{м}}},$$

$$T = - \frac{T_{\text{м}}}{p_{01} + p_{02} + \frac{A_{0\text{м}}}{\varepsilon_{a \text{ нез}}}},$$

$$T_{\text{с}} = - \frac{T_{\text{м}} \left(p_{01} + p_{02} + \frac{A_{0\text{м}}}{\varepsilon_{a \text{ нез}}} \right)}{p_{01} p_{02}}.$$

При $i_{\text{макс}} = 1,5$, $\delta = 1$, $T_{\text{м}} = 1$ имеем: $\varepsilon_{a \text{ п } 1} = 2,58$ для трансформатора $b_{\text{ста}} = 0,559$, $T_1 = T_2 = 0,24$ при $\sigma_{\text{р}} = 0,386$; для емкости $b_{\text{ста}} = 1,154$, $T = 0,024$, $T_{\text{с}} = 0,484$.

Поступило
14 X 1948