Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г.В.Плеханова,
т. /XXX1У, 1979 г.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ КОМПАУНДИРОВАНИЯ ТЯГОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПРИ ПУСКОВЫХ РЕЖИМАХ РАБОТЫ РУДНИЧНОГО АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОВОЗА

В.Н.КОРДАКОВ, М.У.ЭНЕЕВ

При применении компаундных тяговых двигателей на рудничном электровозном транспорте одним из существенных вопросов является выбор системы компаундирования. Особенно остро этот вопрос стоит при модернизации существующих тяговых двигателей, предназначенных для автоматизированной электровозной откатки, когда возникает необходимость автоматизации пусковых режимов работы электровоза.

Известно, что надежность работы подвижного состава в периоды пуска определяется степенью изменения ускорения α. Закон изменения тягового усилия должен обеспечить выполнение условия

$$\frac{dV}{dt} = \alpha = const, \qquad (1)$$

где V – скорость движения поезда.

Существующие средства автоматизации пуска электровоза основаны на плавном увеличении напряжения, подаваемого на тяговые двигатели при наличии задержанной отрицательной обратной связи по току.

Изменение тока в этом случае подчиняется закону

$$I_я = I_{ян} - \alpha U, \qquad (2)$$

где $I_{ян}$ – величина начального пускового тока при $V = 0$; α – коэффициент пропорциональности, определяемый внутренними параметрами регулятора напряжения; U – напряжение, подаваемое на тяговые двигатели.

Сопротивление движению поезда изменяется по закону

$$\Sigma W = N(A + BV), \qquad (3)$$

где N – число вагонеток поезда; A, B – постоянные коэффициенты, зависящие от типа и условий эксплуатации вагонеток.

Соблюдение условия (1) при пуске электровоза с учетом выражений (2) и (3) возможно при определенных параметрах тягового двигателя.

При плавном увеличении напряжения, а следовательно, и скорости движения поезда, магнитный поток компаундного двигателя, создаваемый шунтовой обмоткой возбуждения, будет увеличиваться. Это приведет к повышению тягового усилия электровоза. При заданном законе изменения сопротивления движению (3) степень изменения магнитного потока тягового двигателя определяется законом изменения тока (2) и величиной коэффициента компаундирования

$$\gamma = \frac{W_ш}{W_c}, \qquad (4)$$

где $W_ш$ - число витков шунтовой обмотки возбуждения тягового двигателя; W_c - число витков сериесной обмотки возбуждения.

Целью данной работы является определение функциональной зависимости между α и γ, и методики их вычисления при соблюдении условия (1).

Система уравнений, описывающая процесс пуска электровоза, с учетом выражений (2)-(4) имеет вид

$$\left.\begin{aligned}
&F - N(A + BV) = M_п \alpha \\
&F = n k_1 \Phi I_я \\
&\Phi = M_0 \operatorname{arctg} K_0 (I_0 W_0) \\
&I_0 W_0 = W_ш \left(\frac{I_я}{\gamma} + I_ш \right) \\
&U = L_я \frac{dI_я}{dt} + R_я I_я + k_2 V I_я \\
&I_я = I_{ян} - \alpha U \\
&U = L_ш \frac{dI_ш}{dt} + R_ш I_ш
\end{aligned}\right\}, \qquad (5)$$

где F - тяговое усилие электровоза; $M_п$ - приведенный момент поезда; n - число тяговых двигателей; k_1, k_2 - постоянные коэффициенты, зависящие от конструкции электровоза и электромеханических постоянных тягового двигателя; $R_я$, $R_ш$ - сопротивления, соответственно, якорной и шунтовой обмоток возбуждения тягового двигателя; $L_я$, $L_ш$ - индуктивности, соответственно, якорной цепи и цепи обмотки возбуждения; $I_0 W_0$ - суммарная величина ампер-витков обмотки возбуждения двигателя; M_0, K_0 - коэффициенты, определяющие параметры кривой намагничивания двигателя.

Известно, что момент инерции поезда значительно больше момента инерции двигателя. Поэтому в дальнейшем для упрощения расчетов величинами $L_я \frac{dI_я}{dt}$ и $L_ш \frac{dI_ш}{dt}$ в уравнениях (5) можно пренебречь.

Номинальные параметры компаундного тягового двигателя и существующего должны быть адекватными. С учетом этого и выражений (5) методика определения параметров γ, W_c и $W_ш$ сводится к следующему.

Вычисляется величина ускорения α, исходя из часового режима работы тягового двигателя,

$$\alpha = \frac{F_ч - AN}{M_п} . \qquad (6)$$

Определяется число витков сериесной обмотки возбуждения

$$W_c = \frac{1}{K_c(I_{ян} + \alpha U_{ном})} \operatorname{tg} \frac{\alpha M_п + AN}{M_0 k_1 (I_{ян} + \alpha U_{ном})} . \qquad (7)$$

Вычисляется

$$W_ш = R_ш \frac{(I_0 W_0)_ч - I_{ян} W_c}{U_{ном}} ; \qquad (8)$$

$$\gamma = \frac{W_ш}{W_c} . \qquad (9)$$

В расчетах величины $F_н$, $I_{ян}$ и $(I_0 W_0)$ могут быть приняты отличными от номинальных значений при условии их соответствия параметрам электровоза.

Приведенная методика определения параметров обмоток возбуждения модернизированных тяговых двигателей обеспечивает равенство начальной $\alpha_н$ и конечной $\alpha_к$ величин ускорений поезда при его пуске. Однако вследствие нелинейности зависимости

$$\Phi = f_1(I_0 W_0)$$

в промежуточных режимах работы будет иметь место $\alpha \neq \alpha_н$.

Для определения пределов изменения ускорения поезда в промежуточных пусковых режимах необходимо определить зависимость $\alpha = f_2(U)$ с учетом вычисленной величины γ при $U = 1,2,3,\ldots,U_{ном}$ и уравнений (5).

Исследование закона изменения $\alpha = f_2(U)$ при различных величинах γ для тягового двигателя типа ЭТ-46 показало, что при увеличении γ уменьшается рывок $\rho = \frac{d\alpha}{dt}$ в промежуточных пусковых режимах работы электровоза. Значительное влияние на величину рывка ρ оказывает $I_{ян}$.

С увеличением величины $I_{ян}$, т.е. при работе двигателя в зоне, близкой к зоне насыщения, уменьшается влияние изменения тока в шунтовой обмотке возбуждения на степень изменения ускорения при пуске поезда. Однако в этом случае при заданных γ и α происходит увеличение $\alpha_н$ в сравнении с $\alpha_к$.

Величина γ определяет степень стабилизации скорости рудничного электровоза. Это в некоторых случаях, особенно в условиях автоматизированной откатки, может являться определяющим фактором для задания величины γ. Поэтому задача определения требуемой динамики при разгоне поезда может решаться при вычислении коэффициента α, т.е. параметров токоограничения в соответствии с выше представленной методикой путем алгебраического преобразования уравнения (7) относительно $\alpha = f_3(\alpha)$ при заданных величинах γ и W_c.