Записки Санкт-Петербургского горного института им.Г.В.Плеханова.
Том 141, СПб, 1995

УДК 622.621

В.Н.КОРДАКОВ

ОСОБЕННОСТИ ТЯГОВОГО РАСЧЕТА РУДНИЧНОГО АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОВОЗНОГО ТРАНСПОРТА

Совершенствование привода рудничных электровозов, направленное на создание и внедрение систем автоматического пуска, обуславливает на стадии проектирования определение настраиваемых параметров привода. При заданных параметрах автоматизированного привода, вагонеток, коэффициента сцепления колес электровоза с рельсами целесообразно вычислять массу поезда по условию его разгона. Масса может быть лимитирующей в сравнении с массой, определяемой другими известными условиями тягового расчета.

Развитие и внедрение систем автоматического пуска рудничных электровозов осуществляется по трем направлениям – резисторные, тиристорные бортовые или стационарные системы управления. Последние устанавливаются на тяговых подстанциях. При этом напряжение в секциях тяговой сети увеличивается автоматически по мере разгона поезда. В представленных направлениях предполагается, что пуск привода происходит автоматически в функции ЭДС тяговых двигателей при наличии обратной отрицательной связи по току.

Рассмотрим взаимосвязь пусковых параметров автоматизированного привода и подвижного состава при контакторно-резисторном (ступенчатом) управлении. В момент переключения пускового реостата с одной позиции на другую скорость поезда остается неизменной. Поэтому справедливо выражение

$$\frac{U' - I_{яп\,min}(R'_я + R_{д_1})}{k_1 \Phi_{min}} = \frac{U' - I_{яп\,max}(R'_я + R_{д_2})}{k_1 \Phi_{max}}, \qquad (1)$$

где U' – напряжение, подаваемое на тяговые двигатели, В; k_1 – постоянная привода электровоза, с(м·Вб)$^{-1}$; $R'_я$ – сопротивление якорных цепей тяговых двигателей, Ом; $R_{д_1}, R_{д_2}$ – сопротивления резисторов смежных ступеней пускового реостата, Ом; $I_{яп\,max}, I_{яп\,min}$ – максимальное, минимальное значения токов тягового двигателя в момент переключения пускового реостата, А; Φ_{max}, Φ_{min} – максимальное, минимальное значения магнитного потока тягового двигателя, Вб,

$$\Phi_{max} = K \operatorname{arctg}\left\{M'\left[I_{яп\,max}(1-\gamma) + \frac{U'}{U_н}\gamma I_{яч}\right]\right\}; \qquad (2)$$

$$\Phi_{min} = K \operatorname{arctg}\left\{M'\left[I_{яп\,min}(1-\gamma) + \frac{U'}{U_н}\gamma I_{яч}\right]\right\}; \qquad (3)$$

M', K – постоянные магнитной системы тяговых двигателей, рад/$А^{-1}$, Вб/рад; $U_н, I_{яч}, \gamma$ – соответственно номинальное напряжение, часовой ток, коэффициент компаундирования тягового двигателя, В, А.

Из условия полного использования пусковых свойств привода электровоза справедливы выражения

$$F_{п\,max} = k_2 N_д I_{яп\,max} \Phi_{max} = F_{сц} = g P \phi_{кр} \cdot 10^3; \qquad (4)$$

$$F_{п\,min} = k_2 N_д I_{яп\,min} \Phi_{min} = \Sigma W = g(P + Q_п)(w_п \pm i), \qquad (5)$$

где $F_{п\,max}, F_{п\,min}$ – максимальное, минимальное пусковые тяговые усилия электровоза, Н; $F_{сц}$, $\Sigma W, (P + Q_п)$ – соответственно допустимая сила сцепления колес электровоза с рельсами, величина сопротивления движению, масса поезда по условию пуска, Н, Н, т; P, $Q_п$ – соответственно масса электровоза и вагонеток, т; $w_п$ – пусковое удельное сопротивление движению вагонетки, Н/(кн)$^{-1}$; i – уклон пути, %; k_2 – постоянная привода электровоза, Н(А·Вб)$^{-1}$; $N_д$ – количество тяговых двигателей на электровозе; $\phi_{кр}$ – критическая величина коэффициента сцепления колес электровоза с рельсами.

Значения постоянных привода для данного типа электровоза задаются или определяются по методике[x].

Для заданных $\phi_{кр}, i, w_п$, типа электровоза P и параметров его привода $k_1, k_2, K, M', R_я, R_{д_1}, R_{д_2}, U', U_н, \gamma, I_{яч}$ алгоритм определения настраиваемых параметров автоматизированного привода (величины уставок реле максимального и минимального токов $I_{яп\,max}, I_{яп\,min}$) сводится к следующей последовательности операций:

I) из выражений (2), (4) вычисляется ток $I_{яп\,max}$;

2) значение уставки реле минимального тока $I_{яп\,min}$ определяется из выражений (I), (2), (3);

3) из выражений (3), (5) вычисляется допустимая масса вагонеток поезда $Q_п$ для груженого и порожнего составов, которая сравнивается с действительной или ранее вычисленной по существующим условиям тягового расчета $Q_р$.

При $Q_п \geq Q_р$ расчеты прекращаются, а настройка реле на токи $I_{яп\,max}$, $I_{яп\,min}$ обеспечивает минимальное время разгона поезда.

При $Q_п < Q_р$ необходимо снизить массу поезда или увеличить коэффициент сцепления в период пуска электровоза до выполнения условия $Q_п \geq Q_р$.

---

[x] К о р д а к о в В.Н., П у с т о в а л о в А.И., Э н е е в М.У. Влияние степени компаундирования тяговых двигателей на процесс реализации силы тяги рудничного автоматизированного электровоза // Изв. вузов. Горный журнал. 1981. № 6.

В процессе пуска поезда, имеющего электровоз с тяговыми двигателями типа ДТН, и при коэффициенте сцепления колес электровоза с рельсами $\phi \geq 0{,}17$ величина магнитного потока двигателя практически остается неизменной, т.е. $\Phi_{max} = \Phi_{min}$. С учетом этого выражения (I)-(5) упрощаются и масса поезда вагонеток вычисляется по упрощенной формуле

$$a_{п} = \frac{P\phi_{кр} \cdot 10^{3} (R'_{я} + R_{д_2})}{(w_{п} \pm i)(R'_{я} + R_{д_1})} . \qquad (6)$$

При определении массы поезда в соответствии с представленным алгоритмом или выражением (6) необходимо выбирать значения смежных сопротивлений $R_{д_1}$ и $R_{д_2}$ из условия $(R_{д_1} - R_{д_2}) \to max$.

Применение систем тиристорного управления обеспечивает плавное изменение тока двигателей и тягового усилия в период пуска электровоза. Для заданных параметров пути, подвижного состава необходимо определить значения стопорного тока $I_{сэ}$ и передаточного коэффициента $k_{I_э}$ обратной связи по току автоматизированного привода электровоза. Эти параметры используются для настройки системы автоматического пуска.

При наличии обратной отрицательной связи по току напряжение U', текущее значение тока $I_э$ и величина стопорного тока $I_{сэ}$ электровоза связаны зависимостью

$$I_э = I_{сэ} - k_{I_э} U' . \qquad (7)$$

Стопорный ток электровоза $I_{сэ} = N_д I_{яп\,max}$, и его величина определяется из выражений (2), (4) при $\gamma = 0$ (для тяговых двигателей типа ДТН).

Значение передаточного коэффициента $k_{I_э}$ обратной связи по току системы автоматического пуска вычисляется из совместного решения уравнений (3), (5) при $\gamma = 0$ и

$$N_д I_{яп\,min} = I_{сэ} - k_{I_э} U' . \qquad (8)$$

Тиристорные системы управления позволяют обеспечить незначительное изменение тока в процессе разгона поезда. Минимальное отличие конечного пускового тока (при $U' = U_н$) от стопорного составляет 5 %. Тогда из выражения (8) имеем

$$k_{I_{эmin}} = 0{,}05 I_{сэ} U_н^{-1} . \qquad (9)$$

Расчетное значение передаточного коэффициента должно удовлетворять условию

$$k_{I_э} \geq k_{I_{эmin}} . \qquad (10)$$

В противном случае из-за невозможности осуществления пуска поезда заданной массы на рассматриваемом уклоне пути без пробуксовки необходимо уменьшить количество вагонеток в составе до выполнения условия (10).

Тяговые двигатели типа ДТН спроектированы таким образом, что насыщение магнитной системы происходит при токах $(1{,}2\text{-}1{,}3) I_{д.л}$, где $I_{д.л}$ - длительный ток тягового двигателя, который по величине меньше пускового.

Поэтому справедливо равенство $\Phi_{max}=\Phi_{min}\Phi_{ч}$, где $\Phi_{ч}$ – часовое значение магнитного потока. Тогда из выражений (2)–(8) с учетом того, что часовая сила тяги $F_{ч}=k_{2}N_{д}I_{яч}\Phi_{ч}$, имеем

$$k_{I_э}=\frac{\left[g\rho\phi_{кр}\cdot10^{3}-(P+Q)(\omega_{п}\pm i)\right]I_{яч}N_{д}}{U'F_{и}}. \qquad (II)$$

Вычисленное значение передаточного коэффициента $k_{I_э}$ по формуле (II) должно удовлетворять условию (I0).

В процессе выполнения тягового расчета вначале целесообразно определить допустимую массу $Q_{п}$ вагонеток поезда по условию автоматического пуска электровоза, оборудованного ступенчатой или плавной системой пуска. Вычисления производятся по формуле (II) при условии $k_{I_э}=k_{I_{эmin}}$.

Расчеты показывают, что представленное условие определения массы поезда, учитывающее пусковые свойства автоматизированного привода, в ряде случаев является лимитирующим в сравнении с другими известными условиями тягового расчета (особенно при применении тяговых двигателей типа ДТН, ДТО и пуске поезда на преобладающем подъеме).