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

К РАСЧЕТУ ШАХТНЫХ ТЯГОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ С ИМПУЛЬСНЫМИ ТИРИСТОРНЫМИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ

Е.Б.БАННИКОВ, В.П.СТЕПАНЕНКО,
Л.А.ЧУБАРОВ

Одним из направлений оптимизации параметров тягового электроснабжения и создания современных систем автовождения шахтных поездов являются импульсные тиристорные преобразователи. По сравнению с управляемыми выпрямителями импульсные преобразователи имеют лучшие характеристики по электромагнитной совместимости с системой внешнего электроснабжения. При наличии в тяговой сети неуправляемого выпрямителя и импульсного регулятора функции выпрямления и регулирования величины тока выполняют различные устройства, поэтому импульсный преобразователь можно использовать не только для изменения величины напряжения на шинах тяговой подстанции, но и для подключения отдельных фидеров. Это позволяет спроектировать более гибкую оптимальную систему регулирования параметров тяговой сети. Кроме того импульсные преобразователи дают возможность на один-два порядка уменьшить время отключения тяговых подстанций при коротком замыкании в контактной сети.

Особенностями импульсных преобразователей обусловлен специальный расчет систем тягового электроснабжения, в том числе и определение электрических нагрузок тяговой подстанции при установке на отдельных фидерах импульсных преобразователей.

Рассмотрим децентрализованную систему тягового электроснабжения при раздельной работе тяговых подстанций. В зоне питания тяговой подстанции контактная сеть секционируется на отдельные блок-участки, на каждом из которых может находиться не более одного состава, что обеспечивается применением системы автоблокировки, воздействующей на тиристорный преобразователь. Так как нагрузка тяговых двигателей электровоза определяется профилем откаточного пути и весовой нормой состава, допустим, что нагрузка каждого из блок-участков может быть независимой от наличия нагрузки на других блок-участках.

Пусть (рис.I) в подстанционную зону входят n блок-участков; Каждая их секция C подсоединена к соответствующему тиристорному преобразователю ИП, получающему питание от тяговой подстанции ТП по отдельному фидеру.

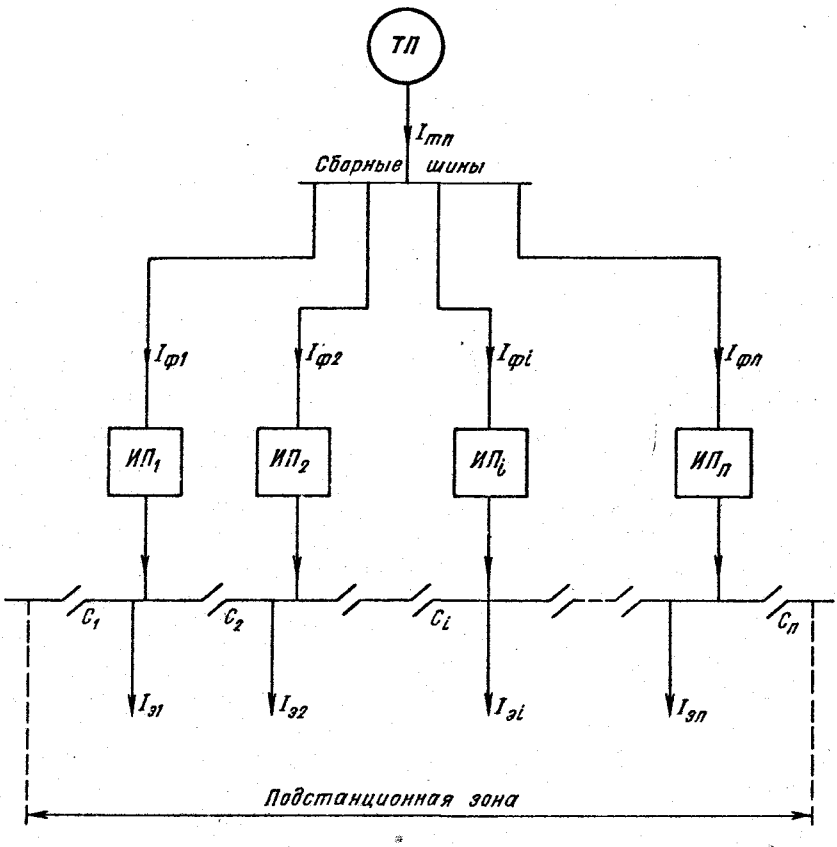


Рис.1. Расчетная схема определения нагрузки тяговой подстанции

Режим потребления тока электровозом при движении по тому или иному блок-участку может быть различным в зависимости от профиля пути. Если скорость движения электровоза $v_э$ меньше или равна скорости движения, допустимой по условиям торможения $v_{доп}$ и результирующее удельное сопротивление движению положительно, т.е. $\sum\omega > 0$, то электровоз на всем блок-участке потребляет ток, т.е. $t_т = t_{дв}$ ($t_т$ - продолжительность потребления тока, $t_{дв}$ - продолжительность движения поезда по блок-участку). При $\sum\omega < 0$ электровоз, перемещаясь по блок-участку, не потребляет ток из контактной сети. Если же $v_э > v_{доп}$ и $\sum\omega > 0$, режим движения поезда носит неустановившийся характер. Продолжительность потребления тока в этом случае [I]

$$t_т = \frac{t_{дв}(\omega_0 + \omega_к \pm i)}{f_{ср}},$$

где $f_{ср}$ - удельная сила тяги электровоза, соответствующая средней скорости движения по блок-участку; i - уклон пути; ω_0 - основное удельное сопротивление движению; $\omega_к$ - удельное сопротивление движению на кривых.

Когда электровоз в течение всего времени движения по блок-участку потребляет ток, считаем, что при вступлении на блок-участок поезд сразу принимает скорость, установившуюся для этого участка. В режиме неустановившихся скоростей принимаем величину тока, потребляемую электровозом, не зависящей от скорости движения и равной пусковому значению. Постоянство тока в процессе пуска обеспечивает устройство токоограничения импульсного преобразователя. Пульсациями импульсного преобразователя пренебрегаем.

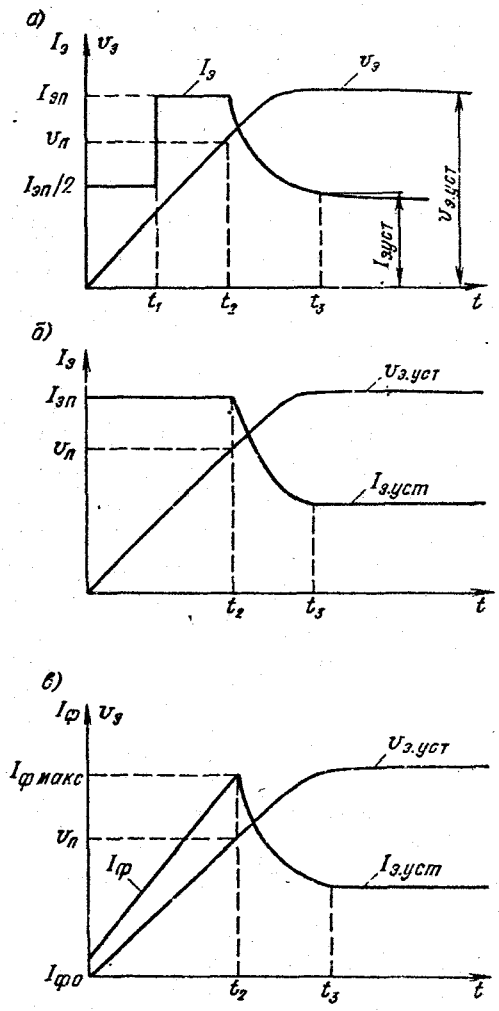


Рис.2. Диаграммы скорости и потребляемых токов при разгоне:

а - электровоза при реостатном управлении тяговыми двигателями; б - в - при импульсном управлении соответственно электровоза и фидера

$v_{э.уст}$, $I_{э.уст}$ - установившиеся значения скорости движения и тока электровоза. При построении диаграмм пульсации тока не учтены

В квазиустановившемся режиме импульсного тиристорного преобразователя ток питания преобразователя $I_ф$ найдем из условия баланса подводимой и используемой электроэнергии [2]

$$I_ф = \frac{I_э U_{кс}}{\eta_п v_п} ,$$

где $U_{кс}$ - среднее значение напряжения на секции контактной сети за период коммутации преобразователя; $\eta_п$ и $U_п$ - соответственно КПД и напряжение питания импульсного преобразователя; $I_э$ - ток электровоза.

Как видим, импульсный преобразователь работает в режиме трансформатора постоянного тока. Причем первичное и вторичное его напряжения связаны коэффициентом [2]

$$\lambda = t_и f = U_{кс}/U_п ,$$

$t_и$ - ширина импульса выходного напряжения преобразователя; f - частота регулирования.

Напряжение в контактной сети в основном должно быть ниже напряжения питания преобразователя, поэтому первич-

ный ток преобразователя будет меньше вторичного. Следовательно, импульсный тиристорный преобразователь может существенно разгрузить тяговую подстанцию и питающий фидер при пониженных уровнях напряжения в контактной сети.

Уменьшение величины тока фидера, питающего преобразователь, относительно тока, потребляемого контактной сетью, имеет место благодаря балансу подводимой к преобразователю и используемой тяговыми двигателями электроэнергии.

В пусковом режиме тяговых двигателей связь между током питающего фидера и током, потребляемым электровозом, имеет вид

$$I_{\Phi} = \left[(1-K_{\upsilon})\, r_{\Sigma} I_{\text{эп}} - K_{\upsilon}\eta_{\text{п}} U_{\text{п}}\right] \frac{I_{\text{эп}}}{\eta_{\text{п}} U_{\text{п}}} ,$$

где $K_{\upsilon} = \upsilon_{\text{э}}/\upsilon_{\text{п}}$; $\upsilon_{\text{п}}$ - скорость выхода на автоматическую характеристику тягового двигателя; $I_{\text{эп}}$ - пусковой ток электровоза; r_{Σ} - суммарное сопротивление блок-участка тяговой сети и тяговых двигателей электровоза.

Ток питания импульсного преобразователя при пуске тяговых двигателей изменяется от ($r_{\Sigma} I_{\text{э}}^2$):($\eta_{\text{п}} U_{\text{п}}$) при $\upsilon_{\text{э}} = 0$ до $I_{\text{э}} = I_{\text{эп}}$ при $\upsilon_{\text{э}} = \upsilon_{\text{п}}$.

При пуске с постоянным значением тока электровоза, равного $I_{\text{эп}}$, ток питания преобразователя линейно зависит от скорости вращения тягового двигателя. Это обстоятельство можно использовать для измерения скорости движения состава устройствами, установленными в стационарных условиях.

При реостатном управлении тяговыми двигателями разгон электровоза происходит вначале при последовательном соединении двигателей, а затем при параллельном. При последовательном соединении (рис.2,а) поддерживается постоянная величина тока, равная $I_{\text{эп}}/2$, при параллельном - равная $I_{\text{эп}}$ вплоть до достижения скорости выхода на автоматическую характеристику $\upsilon_{\text{п}}$.

При импульсном управлении (рис.2,б) тяговые двигатели соединяются параллельно в течение всего времени пуска, поэтому пусковой ток электровоза поддерживается максимально допустимым. Изменение тока питания импульсного преобразователя показано на рис.2,в, который наглядно иллюстрирует эффект разгрузки тяговой сети в пусковом режиме.

Эффективность разгрузки тяговой сети можно определить сравнением токов при реостатном и импульсном управлении. При разгоне тяговых двигателей до скорости $\upsilon_{\text{п}}$ ток фидера, питающего импульсный преобразователь, будет

$$I_{\text{ф.эф.п}}^2 = \frac{1}{t_2}\int_0^{t_2} i^2 dt = \frac{I_{\text{эп}}^2}{3}\left[1 + \frac{r_{\Sigma}}{U_{\text{п}}\eta_{\text{п}}} + \left(\frac{r_{\Sigma}}{U_{\text{п}}\eta_{\text{п}}}\right)^2\right].$$

В этих же условиях эффективное значение тока фидера, питающего электровоз с реостатным управлением, составляет $5I_{\text{эп}}^2/8$. Так как

$$\frac{r_{\Sigma}}{U_{\text{п}}\eta_{\text{п}}} \ll 1 ,$$

импульсное управление тяговыми двигателями в пусковом режиме почти в два раза снижает величину эффективного тока питающего фидера.

Рассчитаем нагрузки i-го питающего фидера (см.рис.I). Если за расчетный период T по перегону, ограниченному i-й секцией проходит N составов, средняя нагрузка i-го фидера будет равна

$$I_{\phi i} = \frac{N}{T}\int_0^{t_{Ti}} I_{ti}\,dt = \frac{N}{T}\left[aI_{эп}\left(t_{Ti} - t_{уст\,i}\right) + bI_{э.уст\,i}\,t_{уст\,i}\right],$$

где t_{Ti} - время хода состава по i-му перегону под током; I_{ti} - текущее значение тока питания импульсного преобразователя; $t_{уст\,i}$ - продолжительность движения состава с установившейся скоростью по i-му перегону; $I_{э.уст\,i}$ - значение тока электровоза при установившейся скорости движения

$$a = \frac{\lambda_0 + k v_{ср}}{\eta_п}; \quad b = \frac{U_{кс}}{U_п \eta_п}; \quad k = \frac{\eta_п - \lambda_0}{v_п};$$

λ_0 - коэффициент заполнения импульсного преобразователя при скорости движения электровоза, равной нулю; $U_{кс}$ - напряжение контактной сети.

Эффективный ток питающего фидера от нагрузок i-го перегона за расчетное время T

$$I^2_{эф\,i} = \frac{N}{T}\left[(aI_{эп})^2\left(t_{Ti} - t_{уст\,i}\right) + \left(bI_{э.уст\,i}\right)^2 t_{уст\,i}\right].$$

Средняя нагрузка тяговой подстанции, питающей n блок-участков,

$$I_{тп.ср} = \sum_{i=1}^{n} I_{\phi i}.$$

Известно, что дисперсия характеризует среднеквадратичное отклонение отдельных значений случайной величины от ее среднего значения (математического ожидания). Дисперсия тока тяговой подстанции от нагрузки i-го блок-участка есть разность между квадратом эффективного тока и квадратом его математического ожидания [3]

$$D_{\phi i} = I^2_{эф\,i} - I^2_{\phi i} =$$

$$= (aI_{эп})^2 \rho_i (1 - \rho_i)^2 + \left(b \cdot I_{э.уст\,i}\right)^2 \rho_{уст\,i}\left(1 - \rho_{уст\,i}\right) +$$

$$+ 2abI_{эп} I_{э.уст\,i} \rho_i \rho_{уст\,i},$$

где ρ_i - относительное потребление тока i-й секции.

Очевидно дисперсия тока тяговой подстанции [3]

$$D_{тп} = \sum_{i=1}^{n} D_{\phi i}.$$

Зная величину дисперсии $D_{тп}$, нетрудно определить эффективный ток тяговой подстанции

$$I_{эф.тп} = \sqrt{I^2_{ср.тп} + D_{тп}}.$$

Эту методику определения эффективного тока шахтных тяговых подстанций при применении импульсных тиристорных преобразователей можно использовать при выборе электрооборудования тяговых подстанций. Расчеты показывают, что импульсные тиристорные преобразователи позволяют существенно снизить установленную мощность тяговых подстанций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рысьев А.В. Электрооборудование и электроснабжение электровозной откатки. Методич. указания. Изд. ЛГИ, 1959.

2. Ефремов И.С., Косарев Г.В. Теория и расчет электрооборудования подвижного состава городского электрического транспорта. М., Высшая школа, 1976.

3. Пронтарский А.Ф. Системы и устройства электроснабжения. М., Транспорт, 1974.