

## ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ СИЛОВОЙ СХЕМЫ ЭЛЕКТРОПОЕЗДОВ ЭР2Т И ЕПЛ2Т

Розглянуто перехідні процеси в шунтувальному колі тягових двигунів, якорі та обмотки збудження яких включені в неспровідному напрямку по відношенню до силового струму, що протікає. Запропоновано зміни в колах управління гальмівним перемикачем і в шунтувальному силовому колі тягових двигунів з додатковою установкою резистора з опором 0,5 Ом. Уся ця модернізація дозволить значно підвищити надійність роботи силової схеми електропоїздів ЭР2Т і ЕПЛ2Т у період експлуатації.

Рассмотрены переходные процессы в шунтирующей цепи тяговых двигателей, якоря и обмотки возбуждения которых включены в непроводящем направлении по отношению к протекающему силовому току. Предложены изменения в цепях управления тормозным переключателем и в шунтирующей силовой цепи тяговых двигателей с дополнительной установкой резистора с сопротивлением 0,5 Ом. Вся эта модернизация позволит значительно повысить надежность работы силовой схемы электропоездов ЭР2Т и ЕПЛ2Т в период эксплуатации.

The transitional processes in shunt circuit of traction engines, which armatures and excitation windings are connected in non-conducting direction as to the flowing power current, are considered in this paper. The changes in the control circuits of braking switch and in the shunt power circuit of traction engines with additional mounting a resistor of 0.5 Ohm are proposed. All this modernization will allow increasing greatly the operation reliability of power circuit of ЭР2Т and ЕПЛ2Т electric locomotives during their service life.

В силовой схеме электропоездов ЭР2Т и ЕПЛ2Т [1] для уменьшения коммутационных перенапряжений и облегчения дугогашения линейных контакторов в момент их выключения, последовательно включенные якоря тяговых двигателей вместе с обмотками возбуждения зашунтированы диодами Д30-Д40 и тиристором Т<sub>7</sub>9 в непроводящем направлении по отношению протекающего тока силовой цепи. В этом случае, при отключении линейным контактором силовой цепи возникает э.д.с. самоиндукции в якорях тяговых двигателей и обмотках возбуждения от накопленной электромагнитной энергии на их индуктивностях при прохождении тока силовой цепи. Возникает разрядный ток по цепи М1-М4-ОВМ1-ОВМ4-Т<sub>7</sub>9-Д40-Д30-М1. При этом тиристор Т<sub>7</sub>9 мгновенно открывается под действием э.д.с. самоиндукции тяговых двигателей порядка 330 В. При этом с делителя R71-R73 поступает напряжение 56 В, которое открывает стабилитрон ПП2 и соответственно тиристор Т<sub>7</sub>9.

Однако в эксплуатации электропоездов ЭР2Т и ЕПЛ2Т имели место: невозврот реверсора в нужном направлении на каком-либо моторном вагоне, неисправности цепей управления, выключение разъединителя цепей управления РУМ, в результате чего возникали генераторные токи.

За счет остаточного магнетизма четырех тяговых двигателей создавалось напряжение порядка 40 В, но из-за неисправности стабилитрона ПП2 тиристор Т<sub>7</sub>9 открывался, а также в случае пробоя щеткодержателя на корпус двигателя М1, создавались контуры неконтролируемого генераторного тока громадной величины, которые выводили из строя все двигатели или все диоды Д40-Д30. При этом создавался значительный тормозной момент и, как следствие, юзование колесных пар с их заклиниванием.

Такие явления возникали по причине наличия контакта ТП6 тормозного переключателя, соединяющего якоря тяговых двигателей с обмотками возбуждения этих двигателей (рис. 1).

Для устранения этого серьезного недостатка произведена модернизация в схеме цепей управления тормозным переключателем, а именно, при разборе схемы моторного режима тормозной переключатель автоматически переходил с моторного режима в тормозной и при этом размыкался силовой контакт контактора ТП6 обмоток возбуждения.

Однако в дальнейшем при такой модернизации во время эксплуатации электропоездов ЭР2Т и ЕПЛ2Т замечено, что контакты контакторов ПТ9 и ПТ6 реверсивно-тормозного переключателя 1П-004 У2 иногда частично рвут часть разрядного тока силовой цепи во время разбора схемы моторного режима.

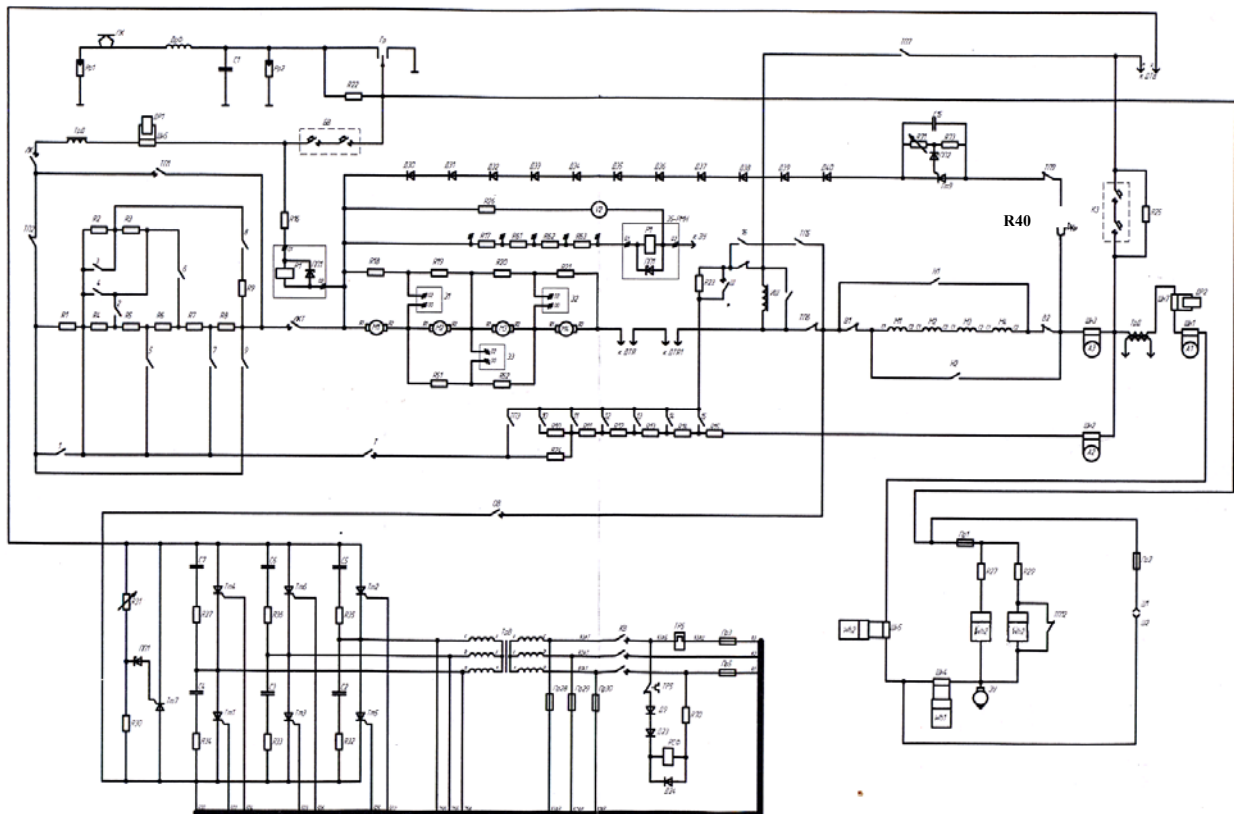


Рис. 1. Силовая схема моторного вагона электропоезда ЭР2Т (ЕПЛ2Т)

Для устранения этого недостатка, о котором будет изложено далее, предварительно определим время переключения тормозного переключателя с моторного режима в тормозной при установке рукоятки контроллера машиниста с любой позиции пуска на нулевую. Разбор электрической схемы в режиме тяги происходит в следующем порядке [1, 2].

Прерывается цепь 22Г-22У и реле КВХ отключается с задержкой по времени из-за параллельной цепи R53, C13, подключенной к реле КВХ. Контакт Ш, если он был включен, отключается сразу и, следовательно, увеличивается возбуждение тяговых двигателей, что ведет к уменьшению тока в цепи якорей. Затем после отключения реле КВХ прерывается цепь провода 2 (рис. 2) [1].

С этого момента в силовой схеме произойдут основные переключения.

Отключается линейный контактор ЛК, отключается повторитель ПЛК1 через н. р. ЛК, затем размыкается тормозной линейный контактор ЛКТ, т.к. прерывается цепь питания проводов 11В-30, после чего начнет отключаться повторитель ПЛКТ с задержкой по времени, т.к. его катушка реле зашунтирована конденсатором С14 и R72. Затем отключится повторитель ПЛКТ, т.к. прервется цепь питания провода 22ГЕ.

Замкнется н. з. контакт ПЛКТ в цепи провода 15ГГ-ПРП-15ГД получит питание катушка реверсивно-тормозного переключателя, и он начнет переходить с моторного положения в тормозное. Питание катушки тормозного переключателя ТП-М еще в моторном режиме было прервано н. з. контактом ПЛКТ1, а также когда прервется цепь питания провода 2 при установке рукоятки КМ в нулевое положение.

Поэтому катушка ТП-М обесточена и не препятствует переходу тормозному переключателю в тормозное положение.

Определим время задержки на отключение реле ПЛКТ. Постоянная времени равна

$$T_{\text{ПЛКТ}} = R72 \cdot C14 = 1 \text{кОм} \cdot 14 \text{мкФ} = \\ = 1000 \cdot 14 \cdot 10^{-6} = 0,014 \text{с}.$$

$$t_{\text{зад}} \approx 3T_{\text{ПЛКТ}} = 3 \cdot 0,014 \approx 0,05 \text{с}.$$

Как показала экспериментальная проверка, время от момента размыкания линейного контактора ЛК до момента перехода реверсивно-тормозного переключателя с моторного в тормозной режим составляет  $t = 0,25 \text{с}$ .

Тогда общее время переключения тормозного переключателя с моторного режима в тормозное составляет

$$t_{\text{общ}} = t_{\text{зад}} + t_{\text{пер}} = 0,05 + 0,25 = 0,3 \text{ с.}$$

$$t_{\text{зад}}^* \approx 3T_{\text{ПЛКТ}} \approx 0,04 \cdot 3 = 0,12 \text{ с.}$$

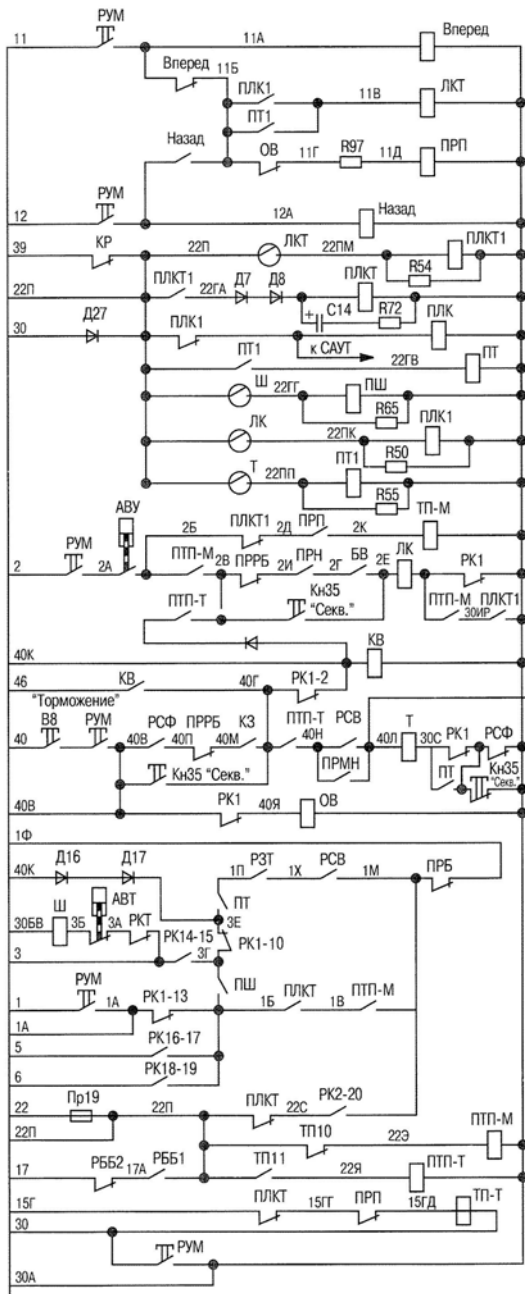


Рис. 2. Схема цепей управления моторного вагона ЭР2Т (ЕПЛ2Т)

Как далее будет указано, необходимо общее время переключения увеличить, а это можно достигнуть за счет задержки на отключение реле ПЛКТ, т.е. увеличить постоянную времени  $T_{\text{ПЛКТ}} = R^* 72 \cdot C^* 14$ . Поэтому целесообразно увеличить сопротивление  $R72$  со значением 1 кОм до значения 3 кОм. Тогда постоянная времени будет равна

$$T_{\text{ПЛКТ}}^* = 3 \cdot 10^3 \cdot 14 \cdot 10^{-6} \approx 0,04 \text{ с.}$$

Время задержки ПЛКТ будет

Тогда общее время от момента начала отключения линейного контактора ЛК в силовой цепи до момента перехода реверсивно-тормозного переключателя ПП-004 У2 с моторного в тормозной режим, при котором размыкаются силовые контакты ТП9 и ТП6, составит

$$t_{\text{общ}}^* = t_{\text{пер}} + t_{\text{зад}}^* = 0,25 + 0,12 \approx 0,4 \text{ с.}$$

Для устранения вышеуказанного недостатка необходимо в цепь диодов Д30-Д40 включить оптимальное значение сопротивления резистора  $R40$  (рис. 1) с тем, чтобы спадание разрядного тока в указанном контуре при выключении линейного контактора происходило значительно раньше, нежели начнется переход тормозного переключателя с моторного режима в тормозной при разборе схемы.

Вначале произведем расчет спадания разрядного тока без ввода сопротивления  $R40$  и без изменения параметров в цепях управления тормозным переключателем.

Постоянная времени в цепи тяговых двигателей с обмотками возбуждения равна, с

$$T = \frac{4L_{\text{дв}}}{4R_{\text{дв}}} = \frac{4L_{\text{дв}}}{4R_{\text{дв}}} = \frac{24 \cdot 10^{-3}}{0,22} = 0,1,$$

где  $R_{\text{дв}} = R_{\text{я}} + R_{\text{дп}} + R_{\text{ов}} = 0,22 \text{ Ом};$

$$L_{\text{дв}} = 24 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.}$$

Разрядный ток в контуре спадает по следующему закону:

$$i = I_{\text{дв(мак)}} e^{-\frac{t}{T}}.$$

1. Если выключение схемы происходит при токе  $I_{\text{дв(мак)}} = 600 \text{ А}$ , то ток уменьшается по такой зависимости:

$$i(t) = 600 e^{-\frac{t}{0,1}} = 600 e^{-10t} = I_{\text{доп}}.$$

Если время поворота тормозного переключателя из моторного режима в тормозной составляет 0,3 с, то ток разряда будет равен:

$$i(0,3 \text{ с}) = 600 e^{-\frac{0,3}{0,1}} = 600 e^{-3} = 30 \text{ А.}$$

Т.к. контакторы тормозного переключателя выполнены без дугогашения, то такого тока при разрыве силовой цепи допустить нельзя.

Поэтому необходимо в цепи разрываемого контура включить резистор  $R_{40} = 0,5$  Ом. Тогда

$$T_1 = \frac{24 \cdot 10^{-3}}{0,5 + 0,22} = \frac{24 \cdot 10^{-3}}{0,72} = 0,033 \text{ с}, \quad \frac{1}{T_1} = 30.$$

$$i(0,3 \text{ с}) = 600e^{-30t} = 600e^{-30 \cdot 0,3} = 0,08 \text{ А}.$$

Поэтому принимаем расчетную величину резистора  $R_{40} = 0,5$  Ом.

2. Если произвести указанные изменения на задержку отключения повторителя ПЛКТ на 0,05 с, то общее время переключения тормозного переключателя составит 0,4 с. Тогда разрывной ток тормозным переключателем будет равен

$$i(0,4 \text{ с}) = 600e^{-30 \cdot 0,4} = 600e^{-12} = 0,004 \text{ А},$$

т.е. практически без разрыва тока, на что он и предназначен.

Следует отметить, что в цепь диодов Д30-Д37 и Т<sub>1</sub>9 необходимо обязательно включить сопротивление резистора R40 для ограничения аварийных токов при появлении указанных ранее неисправностей.

### Тепловой расчет сопротивления R40

По величине эффективного тока сопротивление резистора определяем из числа параллельно включенных элементов фехралевых сопротивлений

$$a = \frac{I_{\text{эф}}}{I_{\text{дл}(\text{э})}},$$

где  $I_{\text{дл}(\text{э})}$  – длительный допустимый ток выбранного элемента  $I_{\text{дл}(\text{э})} = 52$  А,  $R_3 = 1,05$  Ом;

$I_{\text{эф}}$  – эффективный ток, протекающий в цепи через резистор R40, ТП9, Т<sub>1</sub>9-Д37-Д30 во время отключения силовой цепи тяговых двигателей моторного вагона электропоезда ЭР2Т (ЕПЛ2Т).

Определяется по следующей формуле [4]:

$$I_{\text{эф}} = I_{\text{дл}(\text{э})} \sqrt{1 - e^{-\frac{t}{T}}},$$

где  $T$  – тепловая постоянная времени элемента, равная

$$T = \frac{C \cdot M_{\text{пэ}}}{B};$$

$C$  – удельная теплоёмкость проводникового материала элемента, равная 700 Вт/рад;

$M_{\text{пэ}}$  – масса проводникового материала элемента резистора в кг, равная 3,96 кг;

$B$  – коэффициент теплопередачи элемента резистора в Вт/рад, который определяется

$$B = \frac{I_{\infty}^2 \cdot R_{\text{эл}}}{\tau_{\delta}},$$

где  $R_{\text{эл}}$  – сопротивление элемента;

$\tau_{\delta}$  – допустимый перегрев при продолжительном токе,  $\tau_{\delta} = 350$  °С;

$I_{\infty}$  – продолжительный ток выбранного элемента, равный  $I_{\infty} = 52$  А.

Подставляя данные, получим

$$T = \frac{700 \cdot 3,96}{8,11} = 341 \text{ с}.$$

Длительный ток фехралевого элемента КФ определяется

$$I_{\infty \text{эл}} \leq I_{\text{дл}(\text{ман})} \sqrt{1 - e^{-\frac{t}{T}}} = I_{\text{дл}(\text{ман})} \sqrt{1 - e^{-\frac{t}{341}}}.$$

Примем средний маневровый ток при трогании электропоезда 300 А и среднюю длительность повторно-кратковременного включения тока 7 с. Тогда

$$I_{\infty \text{эл}} \leq 300 \sqrt{1 - e^{-\frac{7}{341}}} = 300 \cdot 0,14 = 42 \text{ А} < 52 \text{ А}.$$

Этот комплект сопротивления необходимо разместить под вагоном возле ящика с сопротивлениями ослабления возбуждения тяговых двигателей.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Просвирин, Б. К. Электропоезда постоянного тока с электрическим торможением [Текст] / Б. К. Просвирин. – М.: Транспорт, 2000. – 328 с.
2. Просвирин, Б. К. Электрические схемы электропоезда ЭД4М [Текст] / Б. К. Просвирин // Локомотив. – 2001. – № 5. – М.: Транспорт, 2001. – С. 17-22.
3. Басов, Г. Г. Развитие электричного моторвагонного подвижного состава [Текст] / Г. Г. Басов. – Х.: Аспект, 2005. – С. 123-161.
4. Ротанов, Н. А. Проектирование систем управления электроподвижным составом [Текст] / Н. А. Ротанов. – М.: Транспорт, 1986. – С. 17-40.

Поступила в редколлегию 01.02.2010.

Принята к печати 04.02.2010.