

Н. Г. ВИСИН, Б. Т. ВЛАСЕНКО, С. А. СОКОЛОВ (ДИИТ)

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ В РЕЖИМАХ ТЯГИ И РЕКУПЕРАТИВНО-РЕОСТАТНОГО ТОРМОЖЕНИЯ НА ЭЛЕКТРОПОЕЗДАХ ЭР2Т

У роботі досліджено рекуперативно-реостатне гальмування електропоїзда ЕР2Т в діапазоні швидкості від 120 до 15 км/г, дано рекомендації з водіння поїздів.

В работе исследовано рекуперативное и реостатное торможение электропоезда ЭР2Т в диапазоне от 120 до 15 км/ч, даны рекомендации по вождению поездов.

In work recuperative and rheostatic braking an electric train AYR2T in a range from 120 up to 15 km/h, are given the recommendation on driving on driving trains is investigated.

**Вступление.** На электропоездах ЭР2Т отсутствует описание принципа работы системы автоматического управления торможением САУТ.

Кроме того, как показал опыт эксплуатации, на этих электропоездах при переходе из режима тяги в режим рекуперативного торможения при высоких скоростях движения имеет место иногда возникновение круговых огней на коллекторах тяговых двигателей при нерационально выбранных токовых уставок в силовой цепи.

**Цель работы** – разработать принципиальную схему действия САУТ на электропоездах ЭР2Т; рассчитать и построить характеристику рекуперативно-реостатного торможения с ограничением по коммутации тяговых двигателей для практического использования в эксплуатации.

**Материал и результаты исследования.** САУТ предназначена для регулирования тока якорей тяговых двигателей в режимах рекуперативного торможения при независимом возбуждении. При достижении значения тока возбуждения (например, 250 А) выдает сигнал на переход к реостатному торможению с самовозбуждением.

В состав САУТ входят следующие основные устройства (рисунке):

- трансформатор возбуждения;
- импульсные трансформаторы;
- управляемый тиристорный мост;
- блок управления – БУ;
- датчики тока и возбуждения.

Информация о величинах тока якоря и тока возбуждения тяговых двигателей, работающих генераторами, поступают от датчиков тока якоря и тока возбуждения в ячейку источника питания ИП. В этой ячейке наряду с источником

питания размещена схема, содержащая задающие устройства (уставки) и датчик интенсивности нарастания величины этого задающего устройства.

При установке тормозной рукоятки на контроллере машиниста в положение 1Т получает питание провод 4 и задается уставка – 100 А, при положении тормозной рукоятки в 2Т получает питание провод 1 (1А) и задается уставка – 250 А, а при положении тормозной рукоятки в 3Т получает питание провод 41 и задается уставка – 350 А.

Истинное значение тока якоря (в виде напряжения датчика тока якоря ДТЯ) совместно с задающим устройством, а также значение тока возбуждения ДТВ поступают в ячейку «Р» (регулятор тока). В этой ячейке размещена основная часть схемы, формирующей напряжение управления фазорегуляторами, необходимое для поддержания задающего значения тока якорей в нормальном режиме и неизменного тока возбуждения при отрывах токоприемника.

С выхода от одного из каналов регулирования тока якоря ячейки «Р» поступает напряжение управления  $U_{упр}$  в две ячейки фазорегуляторов (ФР). При уменьшении тока рекуперации напряжение управления уменьшается, а при возрастании наоборот увеличивается.

Предварительно для рассмотрения назначения ячейки фазорегулятора рассмотрено назначение ячейки формирователя синхронизирующих сигналов (ФСС). Эта ячейка состоит из трех одинаковых каналов, на входы которых подаются три фазных напряжения (А, В, С) от синхронного генератора преобразователя 1ПВ.6.

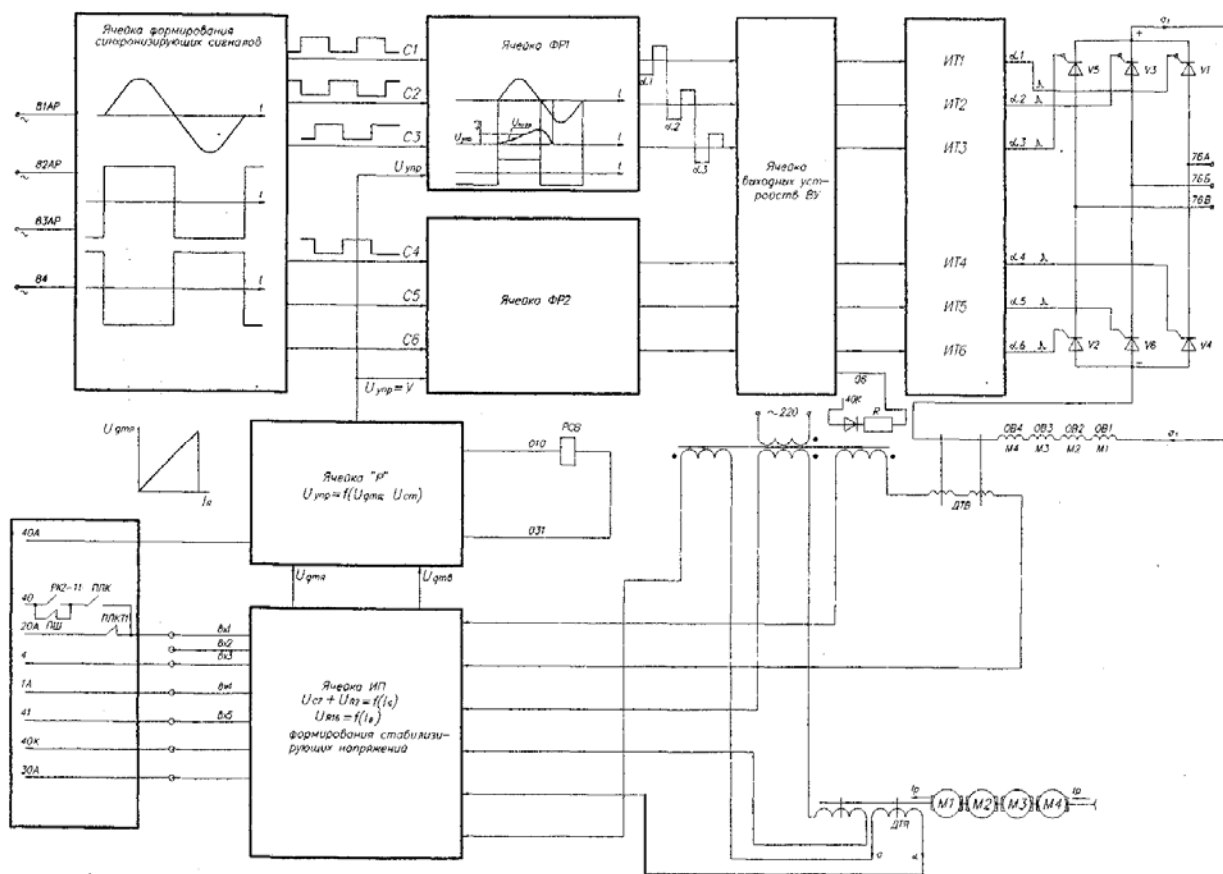


Рис.

Каждый канал формирует два синхронизирующих сигнала, а с выхода ячейки «ФСС» снимается шесть синхронизирующих сигналов, которые подаются на входы фазорегуляторов.

Таким образом, переменное синусоидальное напряжение каждой фазы в положительной и отрицательный периоды благодаря ячейки ФСС согласуется с началом работы каждого канала фазорегулятора.

В состав БУ входят две одинаковые ячейки ФР, каждая из которых содержит три одинаковых канала. Шесть каналов, размещенных в двух ячейках ФР, предназначены для управления шестью тиристорами, питающих обмотки возбуждения тяговых двигателей. На вход каждого из каналов подается синхронизирующий сигнал и напряжение управления  $U_{упр}$ .

Формируется пилообразное напряжение отдельно только в положительный полупериод синусоидального напряжения фазы и отдельно в другом канале только в отрицательный полупериод синусоидального напряжения фазы и они сравниваются с напряжением управления  $U_{упр}$ . Когда абсолютное значение пилообразного напряжения превысит 1–2 % абсолютного значения напряжения управления, на выходе

канала фазорегулятора появится несколько импульсов напряжения, которые после усиления через импульсные трансформаторы подаются на соответствующие тиристоры моста статического возбудителя. При этом фактически определяется величина угла регулирования управляемого моста.

При рекуперативном торможении скорость движения электропоезда ЭР2Т уменьшается, следовательно, будет стремиться уменьшиться ток рекуперации и напряжение управления. Это приведет к уменьшению угла регулирования в пределах от  $90^\circ$  до  $30^\circ$  управляемого моста, а следовательно, к увеличению напряжения на статическом преобразователе от 0 до 150 В, и в конечном итоге, к поддержанию почти постоянство заданного тока рекуперации. Так как САУТ статическая, то ток рекуперации с уменьшением скорости торможения несколько будет уменьшаться, но на незначительную величину.

В ячейке ФР имеется канал включения реле самовозбуждения – РСВ, который при достижении тока возбуждения в цепи обмоток возбуждения тяговых двигателей 250 А включается и выдает команду на переключение схемы в режим реостатного торможения с самовозбуждением.

Как указывалось, с каждого канала фазорегулятора поступают «пачки» импульсов, что позволяет исключить «сбои» схемы управления, если момент первого переключения схемы сравнения несколько опережает появление положительного потенциала на аноде соответствующего тиристора.

Для преобразования прямоугольного импульса напряжения с каждого канала ячейки фазорегулятора в кратковременный импульс, а также для гальванической развязки потенциала высокого напряжения управляемого моста от потенциала системы электронного управления, применена ячейка выходного устройства ВУ.

ВУ состоит из шести усилительных каскадов, каждый выход из которых связан с импульсным трансформатором ИТ отдельного блока, не входящего в БУ САУТ. Кратковременные импульсы напряжения поступают с ИТ на управляющие электроды соответствующих тиристоров для их открытия.

При установке рукоятки контроллера машиниста в положение «1Т» в интервале времени, в течении которого будет собираться схема до включения контактора ЛКТ, ток рекуперации равен нулю и только после включения контактора ЛКТ ток рекуперации начнет плавно нарастать до 100 А благодаря наличию задатчика интенсивности, роль которого выполняет конденсатор С7 и в ячейки источника питания.

При установке рукоятки контроллера машиниста в положение «2Т» ток рекуперации со значения 100 А также плавно будет нарастать до значения 250 А и т. д.

В случае возникновения юзования колесных пар срабатывает реле юзования Э1, Э2 или Э3, получает питание провод «87И» и ток уставки рекуперативного тока плавно уменьшается до 100 А. После прекращения юзования колесных пар автоматически увеличивается ток рекуперации якоря тягового двигателя до прежней величины тока уставки.

### **Расчет и построение рекуперативно-реостатной тормозной характеристики в зависимости от скорости торможения и ее ограничения**

При установке тормозной рукоятки КМ в положение 1Т собирается схема рекуперации с уставкой тока рекуперации 100 А. Предположим скорость движения в этот момент равна 120 км/ч при  $U_{кc} = 3000$  В. Тогда ток рекуперации установится

$$I = \frac{4C\Phi_B V_p - U_{кc}}{R_{общ}} \quad (1)$$

Откуда

$$C\Phi_B = \frac{U_{кc} + I_p R_{общ}}{4V_p} \quad (2)$$

где

$$R_{общ} = 4R'_{дв} + R_{шт} = 4 \cdot 0,09 + 0,03 = 0,4 \text{ Ом};$$

$$C\Phi_B = \frac{3000 + 100 \cdot 0,4}{4 \cdot 120} = 6,3 \frac{\text{В} \cdot \text{ч}}{\text{км}}$$

Тормозное усилие электропоезда из десяти-вагонного состава равно

$$B_T = 1,05 \cdot 3,6 \cdot C\Phi_B I_p \cdot n_{дв} =$$

$$= 1,05 \cdot 3,6 \cdot 6,3 \cdot 100 \cdot 20 = 47 \text{ кН}.$$

Значению  $C\Phi_B = 6,3 \frac{\text{В} \cdot \text{ч}}{\text{км}}$  по кривой намагничивания двигателя соответствует ток возбуждения  $I_B = 30$  А. Ограничение по коммутации составляет

$$\gamma = \frac{I_B}{I_{я}} = \frac{30}{100} = 0,3$$

или

$$\frac{I_{я}}{I_B} = \frac{100}{30} = 3,3$$

при допустимом отношении 5.

Если установить при скорости 120 км/ч рукоятку КМ в положение 2Т и соответственно задать ток уставки 250А, то тогда

$$C\Phi_B = \frac{3000 + 250 \cdot 0,4}{4 \cdot 120} = \frac{3100}{4 \cdot 120} = 6,46 \frac{\text{В} \cdot \text{ч}}{\text{км}}$$

Значению

$$C\Phi_B = 6,46 \frac{\text{В} \cdot \text{ч}}{\text{км}}$$

соответствует ток  $I_B = 35$  А. Тогда ограничение по коммутации будет

$$\gamma = \frac{250}{35} = 7,1 > 5,$$

что недопустимо.

Расчеты показали, что при скорости движения 100 км/ч можно устанавливать тормозную рукоятку КМ в положение 2Т, что соответствует току уставки рекуперации 250 А.

Аналогичные расчеты показали, что в этом случае  $\gamma = \frac{250}{50} = 5$ , то есть на пределе ограничения по коммутации. Тормозное усилие электропоезда  $B_T = 146 \text{ кН}$ . При скорости  $V = 80 \text{ км/ч}$  и ниже до  $45 \text{ км/ч}$  можно устанавливать рукоятку КМ в положение 3Т, что соответствует току уставки  $350 \text{ А}$ . В этом случае ток возбуждения станет равным  $I_B = 70 \text{ А}$ , а ограничение по коммутации будет равно  $\gamma = \frac{350}{70} = 5$ , т. е. на пределе ограничения.

При скорости  $V = 45 \text{ км/ч}$ , что соответствует току возбуждения  $250 \text{ А}$ , автоматически происходит переход с рекуперативного торможения на реостатное торможение с самовозбуждением под контролем БРУ и поддержанием среднего тормозного тока  $365 \text{ А}$ , а тормозного усилия  $B_T = 500 \text{ кН}$ . Расчетная тормозная характеристика электропоезда ЭР2Т представлена на рис. 2.

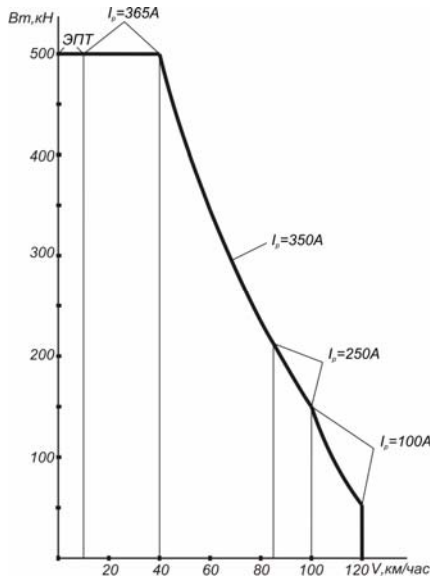


Рис. 2

При скорости  $V = 10 \text{ км/ч}$  автоматически вступают в действие электропневматические тормоза ЭПТ до остановки электропоезда ЭР2Т.

### Выводы

1. Исследованием установлено, что при переходе работы электропоезда ЭР2Т с тягового режима в рекуперативный имеет место, при нерационально выбранных токовых уставок для якорей двигателей, значительное превышение тока якоря и току возбуждения  $\frac{I_{я}}{I_B} \geq 9,8 \div 6,4$  в диапазоне скоростей от  $120$  до

$80 \text{ км/ч}$  при допустимом значении  $\frac{I_{я}}{I_B} \leq 5$ , что

может вызвать круговой огонь на коллекторах тяговых двигателей.

2. Рекомендуется при рекуперативном торможении в диапазоне скоростей от  $120$  до  $100 \text{ км/ч}$  следовать с током уставки в цепи якорей тяговых двигателей  $100 \text{ А}$ , а в диапазоне от  $100$  до  $80 \text{ км/ч}$  с током уставки  $250 \text{ А}$ . При скоростях ниже  $80 \text{ км/ч}$  следовать с током уставки  $350 \text{ А}$  вплоть до автоматического перехода на реостатное торможение.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Н. Г. Висин, Б. Т. Власенко, А. А. Соколов. Повышение надежности работы системы ступенчатого автоматического пуска на электропоездах ЭР2Р, ЭР2Т и ЕПЛ2Т // Вісник Дн. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна: Зб. наук. пр. – 2005. – Вип. 9. – С. 41–46.

Поступила в редколлегию 24.04.2007.