

ИЗВЕСТИЯ
ТОМСКОГО ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ
И ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО
ИНСТИТУТА имени С. М. КИРОВА

Том 243

1972

СИСТЕМА РЕКУПЕРАТИВНОГО ТОРМОЖЕНИЯ
ЭЛЕКТРОПОЕЗДА

А. П. ЗАЙЦЕВ, Р. К. ГАЧИК, В. М. ШАДТ.

(Представлена научно-техническим семинаром НИИ АЭМ при ТПИ)

Применение электрического торможения в различных механизмах с двигателями постоянного тока позволяет повысить технико-экономические показатели механизмов. Это особенно характерно для электроприводов, связанных с большими массами и работающих с частыми пусками и остановками, например для электрифицированного транспорта. Наиболее экономичным электрическим торможением является рекуперативное торможение, особенно для электрифицированного транспорта.

На электропоездах рекуперативное торможение является служебным и вследствие частых остановок дает значительный экономический эффект.

Основными факторами, сдерживающими применение систем рекуперативного торможения на электропоездах, являются нестабильность напряжения контактной сети и необходимость на высоких скоростях движения ограничивать тормозной ток по потенциальным условиям на коллекторах тяговых некомпенсированных двигателей.

В статье описана система управления рекуперативным торможением электропоезда постоянного тока ЭР-22, питающегося от контактной сети и оборудованного некомпенсированными тяговыми двигателями.

Условие коммутации и возможность возникновения круговых огней на коллекторе двигателя связаны с величиной максимальной межламельной эдс e_m . Коммутация будет нормальной и опасность возникновения кругового огня на коллекторе будет минимальной, если величина e_m не превышает определенного для каждого типа двигателей значения. Величина e_m определяется по формуле, предложенной А. В. Иоффе.

$$e_m = \frac{2pU_k}{K\alpha} \left(1 + \frac{0,45 \frac{I_{ja}N}{8a'p}}{I_B W_B} \right) = aU_k + \frac{B_B U_k I_{ja}}{I_B}, \quad (1)$$

где p — число пар полюсов двигателя;

k — число коллекторных пластин;

a — полюсное перекрытие;

N — число активных проводников;

a' — число параллельных проводов;

W_B — число витков обмотки возбуждения;

U_k — напряжение на коллекторе двигателя;

I_{ja} — ток якоря;

I_B — ток возбуждения.

Предлагается система управления рекуперативным торможением при ограничении $e_m = \text{const}$ и $I_{ja} = \text{const}$, алгоритмом управления кото-

рой в зоне ограничения e_m является уравнение (1), решенное относительно тока якоря:

$$I_a = \frac{(e_m - aU_k) I_b}{\delta U_k} . \quad (2)$$

Из (2) видно, что для поддержания $e_m = \text{const}$ при постоянном U_k ток якоря должен быть пропорционален току возбуждения, т. е. $I_a = m I_b$. Величина m определяется величиной U_k :

$$m = \frac{e_m - aU_k}{\delta U_k} . \quad (3)$$

Если построить систему управления так, чтобы в процессе регулирования выходные величины датчиков I_a и I_b поддерживались равными, а коэффициент передачи одного из датчиков сделать зависимым от U_k , то e_m будет поддерживаться постоянной при любом сочетании скорости движения и напряжения на коллекторах двигателей.

Блок-схема системы представлена на рис. 1, где

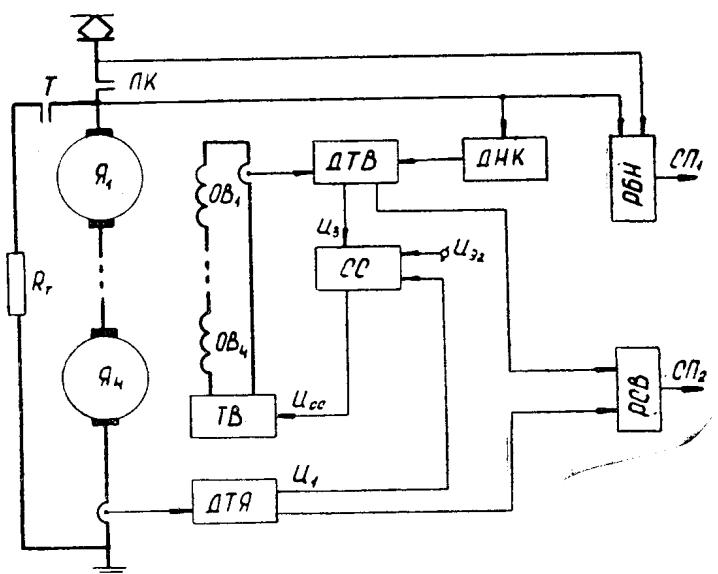


Рис. 1

- $\mathcal{Y}_1 - \mathcal{Y}_4$ — якорные обмотки тяговых двигателей;
- LK — контакт линейного контактора;
- T — контакт тормозного контактора;
- R_t — тормозное сопротивление;
- DNK — датчик напряжения на коллекторах двигателей;
- DTA — датчик тока якоря;
- DTB — датчик тока возбуждения;
- PBN — реле баланса напряжений;
- CC — устройство сравнения;
- TB — тиристорный возбудитель;
- $U_{\varphi 2}$ — эталонное напряжение, пропорциональное заданному значению тока якоря I_a ;
- $U_1; U_3$ — выходные напряжения DTA и DTB соответственно;
- SP_1 — контактный сигнал перехода на рекуперативное торможение;
- SP_2 — контактный сигнал перехода на реостатное торможение с самовозбуждением.

На рис. 3 представлена диаграмма напряжений, поясняющая работу системы управления. $\Delta T\Delta$ и ΔTB построены так, что выходные напряжения их уменьшаются с ростом входных токов. Если $U_1 > U_3$, на выходе CC формируется последовательность коротких прямоугольных импульсов, которые открывают TB . Идет процесс нарастания I_B и I_A . Если U_1 станет меньше U_3 , на выходе CC исчезнут импульсы и TB закроется. I_A и I_B будут уменьшаться. При выполнении условия $U_1 > U_3$ процесс повторится. Так будет регулироваться тормозной ток, при котором $e_m = \text{const}$. По мере снижения скорости, когда при $e_m = \text{const}$ I_A достигнет наибольшей допустимой величины, U_3 станет равным U_{32} . Теперь на CC сравниваются U_1 и U_{32} . Так как U_{32} не меняется, то будет поддерживаться постоянным I_A .

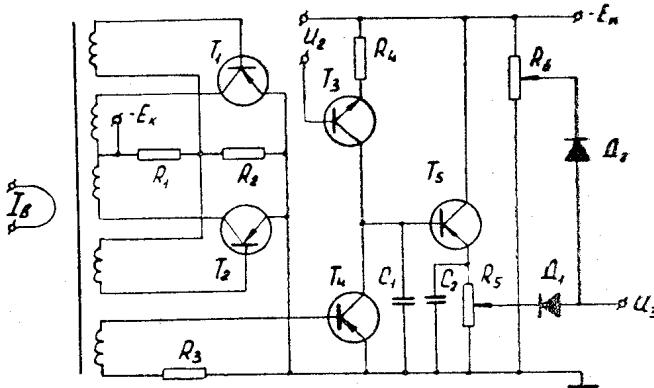


Рис. 2

Все датчики системы выполнены на основе симметричных мультивибраторов на транзисторах с трансформаторной обратной связью и подмагничиваемым трансформатором. Принципиальная схема ΔTB представлена на рис. 2. Мультивибратор выполнен на транзисторах T_1 и T_2 с трансформатором T_p , который подмагничивается измеряемым током. Частота выходного напряжения мультивибратора определяется

$$f_B = k_B I_B, \quad (4)$$

где

k_B — коэффициент наклона характеристики мультивибратора
 $f_B = F(I_B)$.

Транзистор T_3 работает в режиме стабилизатора тока, причем величина тока стабилизации определяется величиной U_2 :

$$I_C = \frac{U_2 \alpha'}{R_4}. \quad (5)$$

Когда с мультивибратора снимается положительный полупериод напряжения, T_4 закрыт и на C_1 формируется линейно возрастающее напряжение U_c . Во время отрицательного полупериода T_4 открыт и C_1 разряжается. Амплитудное значение U_{c1}^* определяется:

$$U_{c1}^* = \frac{1}{C_1} \int_{T_2}^{T_1} I_C dt = \frac{T U_2 \alpha}{2 C_1 R_4}, \quad (6)$$

Определив T из (4) и подставив в (6), получим

$$U_{c1}^* = \frac{U_2 \alpha}{2C_1 R_4 k_B I_B} = \frac{U_K m_K \alpha}{2C_1 R_4 k_B I_B}, \quad (7)$$

На T_5 выполнен амплитудный детектор, т. е. напряжение на C_2 будет равно U_{c1}^* .

Выходное напряжение U_3 снимается через схему «или», выполненную на D_1 и D_2 , что обеспечивает переход с режима поддержания $e_m = \text{const}$ на режим поддержания $I_y = \text{const}$.

ДТЯ выполнен по такой же схеме, только без амплитудного детектора и вместо U_2 подается $U_0 = \text{const}$, поэтому по аналогии с (7) можно записать:

$$U_1 = \frac{U_0 \alpha}{2C'_1 R'_4 k_y I_y}, \quad (8)$$

Так как в процессе регулирования поддерживается равенство U_3 и U_1 , то

$$\frac{U_0}{C'_1 R'_4 k_y I_y} = \frac{U_K m_K}{C_1 R_4 k_B I_B}. \quad (9)$$

Умножив почленно (2) на (9), получаем

$$U_0 b C_1 R_4 k_B = (e_m - a U_K) m_K C'_1 R'_4 k_y. \quad (10)$$

Выражение (10) позволяет связать между собой правильным соотношением коэффициенты передачи ДНК, ДТВ, ДТЯ. ДНК выполняется так же на мультивибраторе, но на выходе включается магнитный демодулятор и фильтр, что позволяет получить выходное напряжение постоянного тока, пропорциональное U_K . СС выполняется на балансном диодно-регенеративном компараторе. В качестве возбудителя применен двухполупериодный трехфазный несимметричный выпрямитель.

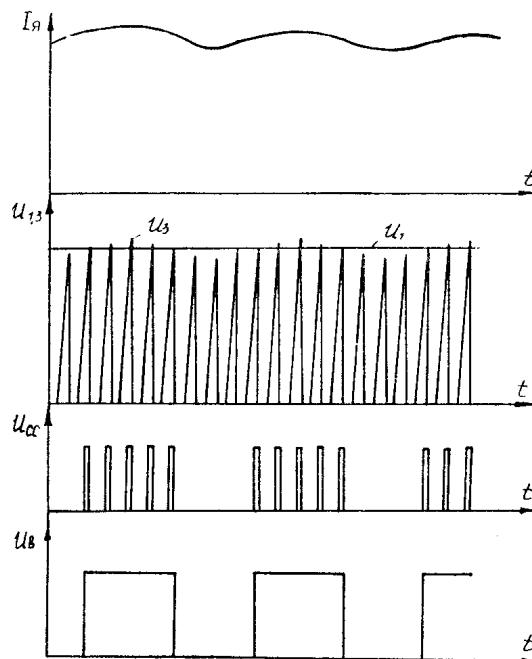


Рис. 3

По описанным выше схемам изготовлена система торможения, которая испытывалась на стенде НИИ АЭМ при ТПИ и в тяговой лаборатории.

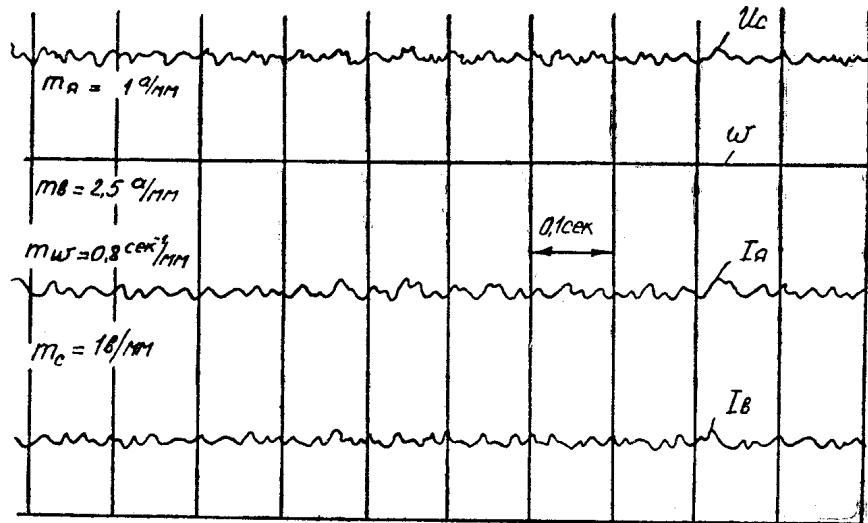


Рис. 4

рии специального конструкторского бюро тяги Рижского электромашиностроительного завода. Испытания показали, что система полностью работоспособна. На рис. 4 приведена осциллограмма квазистабилизированного процесса при рекуперативном торможении, снятая на стенде НИИ АЭМ при ТПИ. Анализ осциллограммы показывает, что пульсация тока якоря не превышает 5%.