

**МОДЕРНИЗАЦИЯ СИЛОВОЙ СХЕМЫ ЭЛЕКТРОВОЗА ДЭ1**

В статті обґрунтовані пропозиції з підвищення ефективності захисту тягових електродвигунів в режимі тяги і рекуперації від короткого замикання і буксування колісних пар.

В статье обоснованы предложения по улучшению эффективности защиты тяговых электродвигателей от короткого замыкания и буксования колёсных пар.

This paper deals with the well-grounded proposals for improving the efficient protection of traction motors from the short circuit and the slip of wheel sets.

В настоящее время ДЭВЗ выпустил 39 восьмиосных электровозов постоянного тока типа ДЭ1, которые в эксплуатации на железных дорогах Украины показали положительные результаты. Однако были выявлены серьёзные недостатки в их работе:

1. В режиме тяги при возникновении буксования колёсных пар для прекращения буксования автоматически вводится электронным контроллером ступенчато резисторы пускового сопротивления с интенсивностью 0,2 с на позицию до прекращения буксования. Такой принцип противобуксовочной защиты – ПБЗ применён на пассажирском электровозе ЧС7, но с механическим промежуточным контроллером. На грузовом электровозе вряд ли целесообразно применение такого принципа.

2. В режиме рекуперативного торможения в силовой схеме электровоза ДЭ1 не предусмотрена защита тяговых двигателей от внутренних коротких замыканий по схеме В. Д. Мацнева.

3. В силовой схеме тяговых двигателей МЗ-М4 со стороны «земли» в их цепь не включено стабилизирующее сопротивление в режиме рекуперативного торможения, и в случае возникновения кругового огня на коллекторе тягового двигателя или пробоя изоляции щёткодержателя двигателя ток короткого замыкания может достигать значительной величины.

4. Ряд других недостатков будут рассмотрены далее.

**Анализ предлагаемых схем модернизаций**

1. Разработка усовершенствованной противобуксовочной защиты на электровозе ДЭ1.

1.1. На современных электровозах контроль за недопущением повышенного проскальзывания колёсных пар осуществляется:

– по разнице между  $(V_{\text{мак}} - V_{\text{мин}})$  частотой вращения колёсных пар;

– по интенсивности изменения токов тяговых двигателей  $\frac{d(I_{\text{мак}} - I_{\text{сп}})}{dt}$ ;

– по интенсивности изменения минимального (в режиме тяги)  $\frac{dV_{\text{мин}}}{dt}$  или максимального (в

режиме рекуперации)  $\frac{dV_{\text{мак}}}{dt}$  числа, выделенно-

го из величины частоты вращения колёсных пар секций локомотива.

При первом и втором случаях повышение проскальзывания колёсных пар ликвидируется импульсной подачей песка. В третьем случае синхронно буксование или юз предотвращается снижением силы тяги с последующим восстановлением силы тяги до заданного уровня. Подача песка или снижение силы тяги происходит лишь в той секции, где произошло проскальзывание колёсных пар.

1.2. От чувствительности системы защиты зависит износ в контакте колесо-рельс и расход песка. В эксплуатационных условиях слишком чувствительная ПБЗ, с одной стороны, снижает износ колёсных пар, но, с другой стороны, приводит к большому расходу песка, засорению железнодорожного полотна.

На отечественных электровозах принято обеспечивать защиту от буксования и юза по абсолютной разнице скольжения колёсных пар. В среднем ПБЗ включается в работу при проскальзывании колёсных пар на уровне 0,8...1,5 м/с. Период подачи песка  $T = 1$  с, скважность  $\lambda = 0,8$ . Подача песка прекращается при прекращении проскальзывания колёсных пар электровоза.

1.3. Синхронное буксование колёсных пар и юз предотвращаются снижением силы тяги на

величину, пропорциональную интенсивности развития процесса проскальзывания. При работе защиты от синхронного буксования или юза максимальное проскальзывание колёсных пар электровоза составляет 2,5...4 м/с.

В целях оптимального расхода песка при использовании автоматической подачи песка изменяется период импульсов подачи песка в зависимости от скорости движения электровоза (предложение С. В. Покровского).

1.4. На электровозах ВЛ11м принята автоматическая система защиты от буксования с помощью датчиков буксования, каждый из которых связан с группой тяговых электродвигателей. При буксовании или юзе колесных пар любой группы тяговых электродвигателей электрической схемой ПБЗ предусмотрено:

- подача светового сигнала на пульт машиниста;

- автоматическая подсыпка песка под первые по ходу движения колёса каждой тележки электровоза на всех соединениях тяговых электродвигателей в режимах тяги и рекуперативного торможения. Переход группы тяговых электродвигателей буксующей тележки с полного возбуждения на ступень ослабленного возбуждения ОВ4 и восстановление полного возбуждения после прекращения буксования (в режиме тяги на последовательном и последовательно-параллельном соединении двигателей). Включение уравнивающего контактора для увеличения тока возбуждения группы тяговых электродвигателей буксующей тележки, перевод с ослабленного на полное возбуждение в режиме тяги на параллельном соединении тяговых электродвигателей электровоза.

1.5. Для защиты электровоза ДЭ1 от буксования и юза в режимах тяги и электрического торможения предусмотрено:

- автоматическая импульсная подача песка под колёса электровоза;

- снижение величины тока двигателей путём сброса позиций электронным контроллером и вводом резисторов пускового сопротивления с интенсивностью 0,2 с/поз.

Включение защиты электровоза от буксования и юза происходит при срабатывании реле буксования или от сигналов частотных датчиков ДгВ1, ДгВ2, ДгВ3, ДгВ4. Схема обнаружения юза и буксования реализована в ячейке ЯВЮБ, входящей в состав системы управления электровозом ДЭ1.

ПБЗ, применённая на электровозе ДЭ1, имеет следующие недостатки:

- при возникновении буксования колёсных пар какой либо тележки происходит постепенное снижение величины тока не только в цепи тяговых электродвигателей, связанными с буксующими колёсными парами, но и во всех остальных шести двигателях на последовательном соединении или в двух двигателях на последовательно-параллельном соединении.

Поэтому условия предотвращения буксования колёсных пар значительно ухудшаются, и это приводит к дополнительному уменьшению реализуемого коэффициента сцепления, увеличению износа бандажей колёсных пар, снижению надёжности работы тяговых электродвигателей и увеличению расхода песка.

1.6. Произведём расчёт и анализ эффективности предлагаемой противобуксовочной защиты для электровоза ДЭ1.

Предположим, что буксование колёсных пар, связанных с тяговыми электродвигателями М1 и М2, возникло на последовательном соединении «С» электровоза ДЭ1 при токе  $I_0$  и скорости движения  $V_0$ .

До буксования колёсных пар при  $V = V_0$  и  $I = I_0$  имел место следующий баланс напряжений

$$U_{\text{к(н)}} = U_{\text{с(н)}} = 3000 = 8C\Phi_0 V_0 + 8R_{\text{дв}} I_0, \quad (1)$$

где  $U_{\text{к(н)}}$  – номинальное напряжение в контактной сети, равное 3000 В;

$C\Phi_0$  – магнитный поток тягового электродвигателя при полном поле;

$R_{\text{дв}}$  – сопротивление тягового электродвигателя при  $t = 115$  °С, Ом:

$$R_{\text{дв}} = R_{\text{я}} + R_{\text{ко}} + R_{\text{лп}} + R_{\text{ов}} = \\ = 0,0347 + 0,0327 + 0,0253 + 0,09 = 0,1827 \text{ Ом.}$$

При срабатывании реле буксования при скорости  $V = V_0$  включается 4-я ступень ослабления возбуждения  $\beta = 0,43$  в цепи тяговых двигателей М1 и М2 и, следовательно, возникает переходной процесс при скорости вращения буксующей колёсной пары.

Предположим, что тяговые двигатели имеют одинаковые скоростные характеристики, максимальная установившаяся скорость буксования достигла  $V = V_0^*$ , а скорость вращения

небуксующих колёсных пар осталась прежней, т.е.  $V = V_0$ .

Тогда будем иметь следующий баланс напряжений

$$U_{\text{кв}} = 3000 = 2C\Phi_{\text{ов}0}^* V_0^* + (2R'_{\text{дв}} + 6R_{\text{дв}0}) I_0^* + 6C\Phi_{\text{ов}0}^* V_0, \quad (2)$$

где

$$R'_{\text{дв}} = R_{\text{я}} + R_{\text{ко}} + R_{\text{дп}} + \beta R_{\text{ов}} = 0,0347 + 0,0347 + 0,0327 + 0,043 \cdot 0,0253 = 0,078 \text{ Ом};$$

$V_0^*$  – установившаяся скорость вращения буксующей колёсной пары;

$I_0^*$  – значение тока в цепи тяговых электродвигателей, которое установится при скорости  $V = V_0^*$  буксующей колёсной пары;

$C\Phi_{\text{ов}}^*$  – значение магнитного потока при 4-ой ступени ослабления возбуждения, т.е. при токе  $I_0 = \beta I_0^*$ ;

$C\Phi_0^*$  – значение магнитного потока при токе  $I_0 = I_{\text{в}} = I_0^*$ .

Аналогично, при буксовании колёсной пары двигателя М1 или М2 на последовательно-параллельном соединении при скорости  $V = V_0$  и при токе  $I_0$  имеем следующие уравнения:

- до начала буксования:

$$U_{\text{квм}} = 3000 = 4C\Phi_{\text{ов}0} V_0 + 4R_{\text{дв}0} I_0; \quad (3)$$

- при буксовании:

$$U_{\text{кв}} = 3000 = 2C\Phi_{\text{ов}0}^* V_0^* + (R'_{\text{дв}} + 2R_{\text{дв}}) I_0^* + 2C\Phi_{\text{ов}0}^* V_0, \quad (4)$$

где обозначения те же, но взяты из характеристик на последовательно-параллельном соединении «СП» тяговых электродвигателей.

Результаты расчета сведены в табл. 1, из неё следует, что эффективность ПБЗ на соединениях тяговых электродвигателей «СП» ниже, чем на соединениях «С».

Таблица 1

Расчетные данные при буксовании колёсных пар тяговых электродвигателей

Вид соединения	$I_0, \text{А}$	$I_0^*, \text{А}$	$V_0, \text{км/ч}$	$C\Phi_{\text{ов}0}^*, \text{Вч/км}$	$C\Phi_{\text{ов}0}^*, \text{Вч/км}$	$\frac{I_0^*}{I_0}$	$\frac{C\Phi_{\text{ов}0}^*}{C\Phi_{\text{ов}0}}$	$\frac{F_{\text{ков}}}{F_{\text{ко}}}$
«С»	250	275	20,2	17,7	9,65	1,1	0,54	0,6
	300	335	17,2	20,5	11,6	1,11	0,56	0,63
	400	440	14,4	24,14	15,19	1,1	0,63	0,69
	500	550	12,7	26,7	17,4	1,1	0,65	0,71
	565	610	12,0	27,7	18,2	1,08	0,65	0,7
	600	650	11,7	28,4	18,7	1,08	0,65	0,71
«СП»	250	315	41,3	17,7	10,75	1,26	0,5	0,76
	300	400	35,5	20,5	13,77	1,33	0,67	0,89
	400	525	29,9	24,14	17,0	1,31	0,7	0,92
	500	675	26,7	26,7	20,0	1,35	0,74	0,93
	600	750	24,9	28,4	21,73	1,25	0,76	0,95

Предлагается для более надёжной противобуксовочной защиты тяговых электродвигателей на электровозе ДЭ1 (рис. 1 и 2) применить:

– на соединениях тяговых электродвигателей «С» – 4-ю ступень ослабления возбуждения;

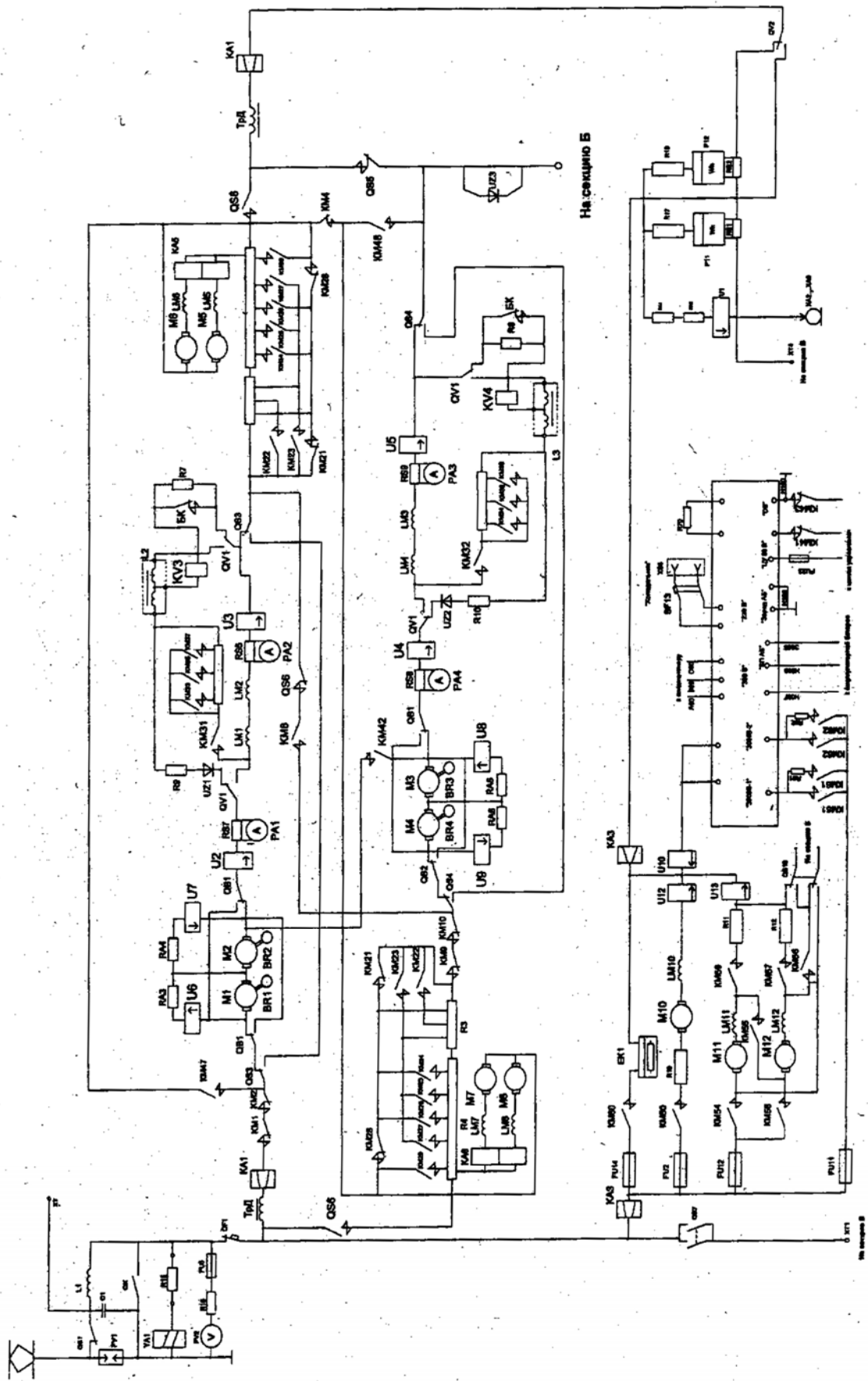


Рис. 1. Модернизированная силовая схема электровоза ДЭ1

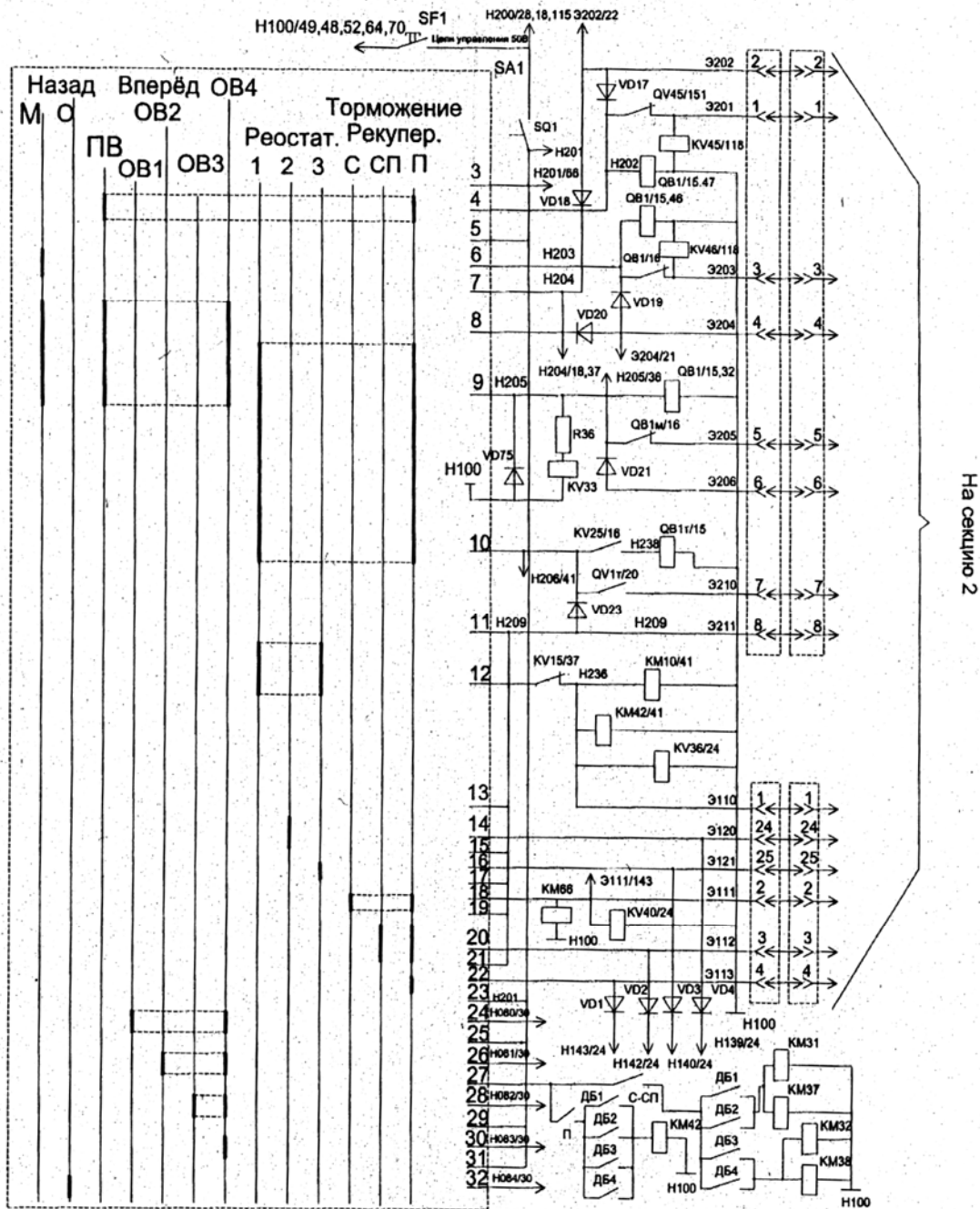


Рис. 2. Схема цепей управления ПБЗ

– на соединениях тяговых электродвигателей «СП» – 4-ю ступень ослабления возбуждения, но с сохранением существующей на электровозе ПБЗ, т.е. автоматическим вводом резисторов пускового сопротивления электронным контроллером при срабатывании реле буксования;

– на соединениях тяговых электродвигателей «П» – обмотки возбуждения двигателей М1 - М2 и М3 - М4 соединить уравнивающим контактором КМ42 (рис. 1) с сохранением существующей ПБЗ.

2. В работе [1] проанализирована система защиты тяговых электродвигателей от внешних и внутренних коротких замыканий при рекуперативном торможении на электровозе ДЭ1.

Установлено, что при к. з. в контактной сети на параллельном соединении тяговых электродвигателей ток рекуперации достигает в 6...7 раз больше часового тока двигателя при допустимом предельном 3...4 кратном значении тока. Аналогичные максимальные токи рекуперации достигают и при возникновении кругового огня на коллекторах тяговых электродвигателей.

Установленный быстродействующий выключатель типа UR26-64, вместо БВП5-02, поляризованный, но он не защищает тяговые электродвигатели в режиме рекуперации от внутренних к. з., например, от круговых огней на коллекторах тяговых электродвигателей.

Предлагается на электровозах ДЭ1 дополнить систему защиты тяговых электродвигателей от внутренних и внешних к. з. при рекуперации установкой быстродействующих контакторов со стороны «земли» после стабилизирующих сопротивлений последовательно с тяговыми электродвигателями в каждой параллельной ветви (рис. 1).

Необоснованно выбрана величина стабилизирующего сопротивления 0,378 Ом, тогда как на электровозах ВЛ8, ВЛ10 и ВЛ11м она не превышает 0,15 Ом.

Выбор рациональной величины стабилизирующего сопротивления требует отдельного исследования.

3. На электровозах 2ЭС4К «Дончак» [2] и 2ЕЛК для предотвращения появления контурных токов при переходе тяговых электродвигателей в режим рекуперативного торможения на высоких скоростях движения устанавливаются «диодные пробки» в цепь якорей двигателей, работающих генераторами.

Для осуществления этого на электровозе

ДЭ1 рекомендуется в цепи тяговых двигателей М3 - М4 и М2 - М1 переставить существующие диоды UZ1 и UZ2 согласно схеме рис. 1. В этом случае диоды UZ1 и UZ2 будут выполнять не только прежнюю роль бесконтактных реле рекуперации, но и роль «диодных пробок».

4. На электропоездах ЭР2Т и ЕПЛ2Т применяется дифференциальная система защиты си-

ловой цепи тяговых электродвигателей  $\frac{dI}{dt}$ ,

которая реагирует на разность скоростей изменения тока в дифференциальном трансформаторе ТрД в начале и конце силовой цепи в аварийных режимах.

Предлагается в силовую схему электровоза ДЭ1 установить на входе одну первичную обмотку дросселирующего трансформатора, а в конце силовой цепи электровоза перед токоотводящим устройством – другую первичную обмотку этого же трансформатора. Вторичную обмотку дросселирующего трансформатора

подключить к устройству защиты  $\frac{dI}{dt}$ , а имен-

но, к выпрямителю «VD» (рис. 3). Для уменьшения пульсаций на выходе «VD» установлен конденсатор С1. Напряжение на зажимах сопротивления R1 подается через сопротивление резистора R2 на стабилитрон VD1, диод VD2 и на резистор R3, т.е. на управляющий электрод тиристора VS1. Предварительно конденсатор С2 заряжен напряжением 110 В через сопротивление резистора R4 и минус источника питания цепей управления. В цепь конденсатора С2 включено реле KV1, а минус его подсоединён через тиристор VS1 и через н. з. контакт реле KV1, а также через н. р. контакт реле KV1 и кнопку н. з. SA1 «Восстановление защиты». Блокировка н. з. контакта реле KV1 включена в цепь линейного контактора К1.

Дросселирующий трансформатор ТрД реагирует на разность скоростей изменения тока в начале и конце силовой цепи в аварийных режимах (пробой изоляции, переброс дуги на заземлённые части и др.).

С вторичной обмотки ТрД подается аварийный сигнал на блок защиты БЗ. В результате срабатывает реле KV1 и выключается контактор силовой цепи К1, разрывая цепь двигателей. Направление тока в первичных обмотках ТрД встречное.

Если возрастание тока не превышает 1000 А/с, то наведенная ЭДС на вторичной

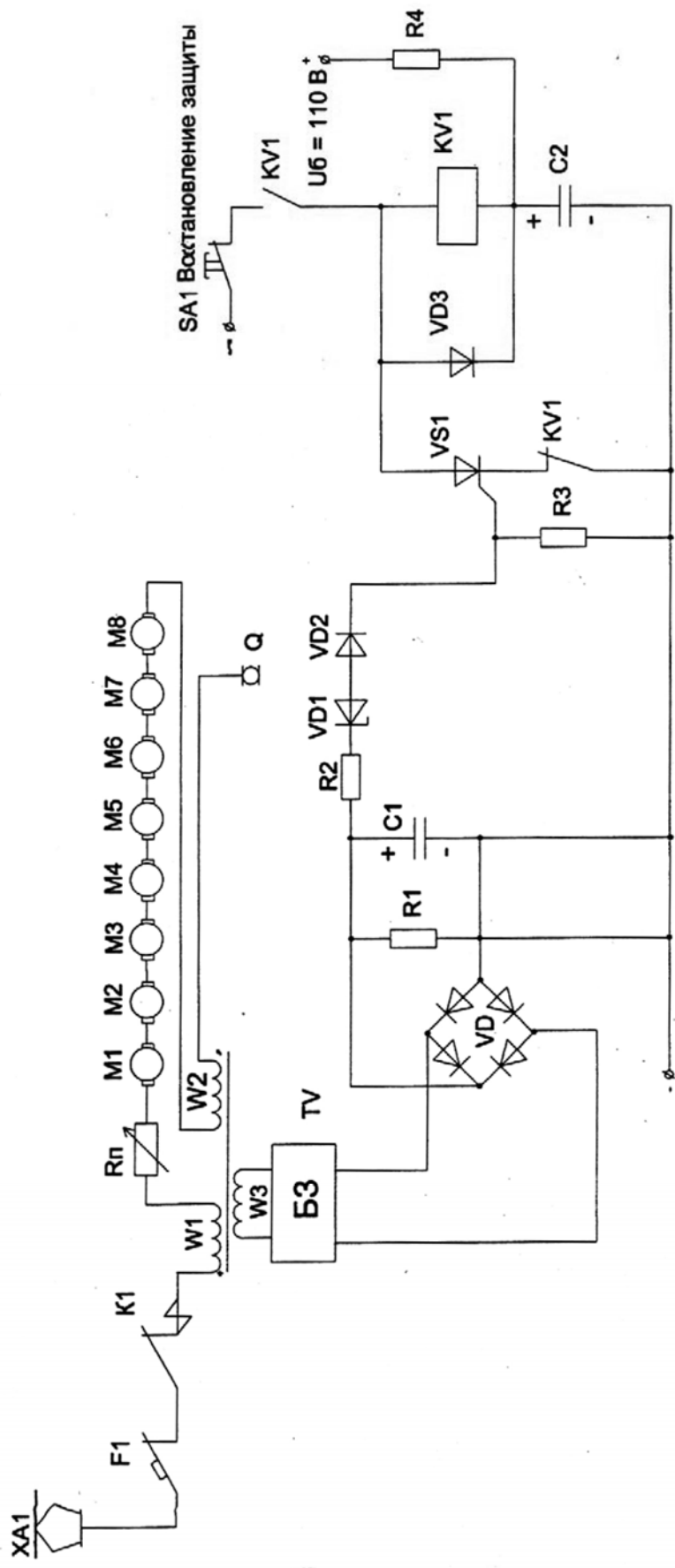


Рис. 3. Схема защиты электровоза от скорости нарастания тока в цепи тяговых двигателей

обмотке ТрД после выпрямления не сможет открыть стабилитрон VD1, и поэтому тиристор VS1 не сможет открыться и не получит импульс напряжения катушка реле KV1, т.е. не произойдёт выключение контактора K1.

Если произошло в силовой цепи возрастание тока  $\frac{dI}{dt} > 1000$  А/с, что характеризует ка-

кое-то повреждение, то в этом случае откроется стабилитрон VD1, поступит достаточное напряжение на управляющий электрод тиристора VS1, он откроется, и катушка реле KV1 получит импульс напряжения, включится и станет на самоподпитку через KV1. При этом в цепи катушки линейного контактора разомкнётся н. з. контакт KV1 реле KV1, и он отключится, разрывая ток силовой цепи. Так же прекратится цепь тока в тиристоре VS1, т.к. н. з. контакт KV1 будет разомкнут, и он восстановит свои запирающие свойства. Конденсатор C2 вновь зарядится на напряжение 110 В через сопротивление R4. Для восстановления схемы защи-

ты достаточно кратковременно выключить кнопку SA1, а затем включить.

### Выводы

Предложенная модернизация силовой схемы электровоза ДЭ1 значительно повысит надёжность его работы и позволит ДЭВЗу продолжить их выпуск.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Повышение эффективности схемы защиты тяговых двигателей от внешних и внутренних коротких замыканий при рекуперативном торможении на электровозах ДЭ1 [Текст] / Н. Г. Висин и др. // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2005. – Вип. 9. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2005. – С. 115-119.
2. Особенности электрической схемы электровоза 2ЭС4к [Текст] / А. М. Иванишкин и др. // Локомотив. – 2008. – № 8. – М., 2008. – С. 40-41.

Поступила в редколлегию 05.02.2009.