

Гетьман Г. К., проф., зав. кафедры «ЭПС жел. дорог»,  
 Висин М. Г., проф.,  
 Кийко А. И., декан факультета «Электрификация железных дорог»,  
 Власенко Б. Т., доцент, Днепрпетровский национальный университет железнодорожного транспорта им. В. Лазаряна

УДК 621.337.522

# МОДЕРНИЗАЦИЯ СИЛОВОЙ СХЕМЫ ЭЛЕКТРОВОЗА ДЭ1

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

**Д**непрпетровский электровозостроительный завод (ДЭВЗ) выпустил 39 восьмиосных электровозов постоянного тока типа ДЭ1, которые показали положительные результаты в эксплуатации на железных дорогах Украины. Однако в их работе были выявлены определенные недостатки.

1. В режиме тяги при возникновении буксования колесных пар для его прекращения электронным контроллером автоматически вводятся ступенчато резисторы пускового сопротивления с интенсивностью 0,2 с на позицию до прекращения буксования. Такой принцип противобуксовочной защиты — ПБЗ — применен на пассажирском электровозе ЧС7, но с механическим промежуточным контроллером. На грузовом электровозе применение такого принципа вряд ли является целесообразным.
2. В режиме рекуперативного торможения в силовой схеме электровоза ДЭ1 не предусмотрена защита тяговых двигателей по схеме В. Д. Мацнева от коротких внутренних замыканий.
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 щеткодержателя двигателя ток короткого замыкания может достигать значительной величины.
4. Ряд других недостатков, которые будут рассмотрены далее.

## АНАЛИЗ ПРЕДЛАГАЕМЫХ СХЕМ МОДЕРНИЗАЦИЙ

1. Разработка усовершенствованной противобуксовочной защиты на электровозе ДЭ1.

1.1. На современных электровозах кон-

троль за недопущением повышенного проскальзывания колесных пар осуществляется:

- по разнице между  $(V_{\text{макс}} - V_{\text{мин}})$  частотой вращения колесных пар;
- по интенсивности изменения токов тяговых двигателей  $\frac{d(I_{\text{макс}} - I_{\text{сп}})}{dt}$ ;
- по интенсивности изменения минимального (в режиме тяги)  $\frac{d(V_{\text{мин}})}{dt}$  или максимального (в режиме рекуперации)  $\frac{d(V_{\text{макс}})}{dt}$  числа, выделенного из величины частоты вращения колесных пар секций локомотива.

В первом и втором случаях повышенное проскальзывание колесных пар ликвидируется импульсной подачей песка. В третьем случае синхронное буксование или юз предотвращаются снижением силы тяги с последующим ее восстановлением до заданного уровня. Подача песка или снижение силы тяги происходит лишь в той секции, где присутствовало проскальзывание колесных 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 колесных пар, но, с другой стороны, приводит к большому расходу песка и засорению железнодорожного полотна.

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

ска прекращается при прекращении проскальзывания колесных пар электровоза.

1.3. Синхронное буксование колесных пар и юз предотвращаются снижением силы тяги на величину, пропорциональную интенсивности развития процесса проскальзывания. При работе защиты от синхронного буксования или юза максимальное проскальзывание колесных 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 ВЛ11<sup>к</sup> используется 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 предусмотрены:

- подача светового сигнала на пульт машиниста;
- автоматическая подсыпка песка под первые по ходу движения колеса 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 уравнительного контактора для увеличения тока возбуждения группы тяговых электродвига-

телей 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 предусмотрены:

- автоматическая импульсная подача песка под колеса электровоза;
- снижение величины тока двигателей путем 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, которая входит в состав системы управления электровозом ДЭ1.

Принцип противобуксовочной защиты (ПБЗ), примененный на электровозе ДЭ1, имеет следующий недостаток: при возникновении буксования колесных пар какой-либо тележки происходит постепенное снижение величины тока не только в цепи тяговых электродвигателей, связанных с буксующими колесными парами, но и в остальных шести двигателях при последовательном соединении или в двух двигателях при последовательно-параллельном соединении.

Таким образом, условия предотвращения буксования колесных пар значительно ухудшаются, и это приводит к дополнительному уменьшению реализуемого коэффициента сцепления, увеличению износа бандажей колесных пар, снижению надежности работы тяговых электродвигателей, а также увеличению расхода песка.

1.6. Произведем расчет и анализ эффективности предлагаемой противобуксовочной защиты для электровоза ДЭ1.

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

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

$$U_{\text{сст}} = U_{\text{шт}} = 3000 = 8C\Phi_c V_0 + 8R_{\text{ш}} I_0, \quad (1)$$

где  $U_{\text{сст}}$  — номинальное напряжение в контактной сети, равное 3000 В;  $C\Phi_0$  — магнитный поток тягового электродвигателя при полном поле;

Таблица 1. Расчетные данные при буксовании колесных пар тяговых электродвигателей

Вид соединения	$I_c, A$	$I_{c0}, A$	$V_c, \text{ км/ч}$	$C\Phi^*_{0c}, \text{ Вч/км}$	$C\Phi^*_{0\text{ст}}, \text{ Вч/км}$	$I^*_{c0}/I_0$	$C\Phi^*_{0c}/C\Phi_0$	$F_{\text{сст}}/F_{\text{шт}}$
«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

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

$$R_{\text{ш}} = R_n + R_{\text{св}} + R_{\text{лр}} + R_{\text{сб}} = 0,0347 + 0,0327 + 0,0253 + 0,09 = 0,1827 \text{ Ом.}$$

При срабатывании реле буксования при скорости  $V = V0^*$  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 колесной пары.

Предположим, что тяговые двигатели имеют одинаковые скоростные характеристики, максимальная установившаяся скорость вращения достигла  $V = V_c$ , а скорость вращения небуксующих колесных пар осталась прежней, т. е.  $V = V_0$ .

Тогда будем иметь следующий баланс напряжений:

$$U_{\text{шт}} = 3000 = 2C\Phi^*_{\text{св}} V^*_{c0} + (2R'_{\text{ш}} + 6R_{\text{св}}) I^*_{c0} + 6C\Phi^*_{c0} V_{c0}, \quad (2)$$

где  $R'_{\text{ш}} = R_n + R_{\text{св}} + R_{\text{лр}} + \beta R_{\text{сб}} = 0,0347 + 0,0347 + 0,0327 + 0,043 \cdot 0,0253 = 0,078 \text{ Ом};$

$V^*_{c0}$  — установившаяся скорость вращения буксующей колесной пары;

$I^*_{c0}$  — значение тока в цепи тяговых электродвигателей, которое установится при скорости  $V = V_c$  буксующей колесной пары;

$C\Phi^*_{\text{св}}$  — значение магнитного потока при 4-й ступени ослабления возбуждения, т. е. при токе  $I_c = \beta I_0$ ;

$C\Phi^*_{c0}$  — значение магнитного потока при токе  $I_c = I_0 = I_0^*$ .

Аналогично, при буксовании колесной 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:

$$U_{\text{шт}} = 3000 = 4C\Phi_c V_0 + 4R_{\text{ш}} I_0; \quad (3)$$

• при буксовании:

$$U_{\text{шт}} = 3000 = 2C\Phi^*_{\text{св}} V^*_{c0} + (R'_{\text{ш}} + 2R_{\text{св}}) I^*_{c0} + 2C\Phi^*_{c0} V_{c0}, \quad (4)$$

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

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

Для более надежной противобуксовочной защиты тяговых электродвигателей на электровозе ДЭ1 (рис. 1, 2) предлагается применить:

- на соединениях тяговых электродвигателей «С» — 4-ю ступень возбуждения;
- на соединениях тяговых электродвигателей «СП» — 4-ю ступень ослабления возбуждения, но с сохранением существующего 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 уравнительным контактором КМ42 (рис. 1) с сохранением существующего 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 коротком замыкании в контактной сети на параллельном соединении тяговых электродвигателей ток рекуперации достигает значения в 6–7 раз больше часового тока двигателя (при допустимом предельном 3–4-кратном увеличении). Аналогичные максимальные токи реку-

перации достигают и при возникновении кругового огня на коллекторах тяговых электродвигателей.

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

Предлагается на электровозах ДЭ1 дополнить систему защиты тяговых электродвигателей от внутренних и внешних коротких замыканий 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 ВЛ11<sup>М</sup> она не превышает 0,15 Ом.

Выбор рациональной величины стабилизирующего сопротивления требует отдельного исследования.

3. На электровозах ЭЭС4К «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 силовой цепи тяговых электродвигателей  $di/dt$ , 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 следует подключить к устройству защиты  $di/dt$  — 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 подсоединен 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 K1.

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

Со вторичной обмотки ТрД подается аварийный сигнал на блок защиты БЗ. В результате срабатывает реле KV1 и выключается контактор силовой цепи K1, разрывая цепь двигателей. Направление тока в первичных обмотках ТрД встречное.

Если возрастание тока не превышает 1000 А/с, то наведенная э.д.с. на вторичной 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 произойдет выключение контактора K1.

Если в силовой цепи произошло возрастание тока  $di/dt > 1000$  А/с, что сигнализирует о каком-то повреждении, то в этом случае стабилитрон VD1 откроется, на управляющий электрод тиристора VS1 поступит достаточное напряжение,

он откроется, катушка реле KV1 получит импульс напряжения, включится и станет на самоподпитку через KV1. При этом в цепи катушки линейного контактора разомкнется н. з. контакт KV1 реле KV1, и он отключится, разрывая ток силовой цепи. Так же прекратится цепь тока в тиристоре VS1, так как н. з. контакт KV1 будет разомкнут, и он восстановит свои запирающие свойства. Конденсатор С2 вновь зарядится на напряжение 110 В через сопротивление R4. Для восстановления схемы защиты достаточно кратковременно выключить кнопку SA1, а затем включить.

Таким образом, предложенная модернизация силовой схемы электровоза ДЭ1 значительно повысит надежность его работы и позволит Днепротрестовскому электровозостроительному заводу продолжить их выпуск.

#### ЛИТЕРАТУРА

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 залізничн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. — 2005. — Вып. 9. — Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2005. — С. 115–119.
2. Особенности электрической схемы электровоза ЭЭС4К [Текст] / А. М. Мавинский и др. // Локомотивы. — 2008. — № 8. — М., 2008. — С. 45–47.

УДК 621.337.522

Гетьман Г. К., Висин М. Г., Кійко А. І., Власенко Б. Т.

#### Модернізація сигової схеми електровоза ДЭ1

У статті обґрунтовано пропозиції щодо підвищення ефективності захисту тягових електродвигунів у режимі тяги та рекуперативі від коротких замыкань та буксування колісних пар.

UDC 621.337.522

Get'man G., Visin M., Kiyko A., Vlasenko B.  
Main-circuit Connections' Modernization of DE1 Locomotives

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.

#### ВЫ — НАСТОЯЩИЙ ЛЮБИТЕЛЬ ПЕЗДОВ, ЕСЛИ:

- 1) Вы приезжаете на вокзал за 2 ч до отправления только из-за того, чтобы посмотреть на другие поезда и посмотреть, как подадут Ваш состав;
- 2) Вы обожаете плацкарт несмотря на то, что это неудобно;
- 3) Вы всегда слите на верхней полке;
- 4) Вы не можете спать на остановках, т. к. нет стука колес;
- 5) Вы обожаете эти прикольные подстанкички;
- 6) Вы любите покушать доширак с яйцом, колбасой, хлебом, картошкой, огурцами, помидорами, а потом запить все это чаем — пусть желудок знает, что он здесь не главный;
- 7) Вы любите выходить на станциях погулять и помахать себе же в окошко;
- 8) Вы плевали на храп бабки, спящей внизу;
- 9) Вы просто обожаете смотреть в окошко ночью или днем — главное, чтобы скорость большая была;
- 10) Вы плюете на очереди в туалет — в это время Вы рассматриваете расписание остановок.

По материалам  
www.gelezka.com