

Направление подготовки: 140400 Электроэнергетика и электротехника

Профиль подготовки: Электрический транспорт

Квалификация (степень) выпускника: магистр

Форма обучения: очная

Дисциплина:

"Электрооборудование и системы управления электроподвижным составом"

Комаров В.Г.

Лекция №2

03.03.2026 г.

Тема: Принципы построения электрических схем силовых цепей электроподвижного состава

Принципы построения современных электрических схем силовых цепей ЭПС практически одинаковы для всех видов ЭПС, за исключением некоторых специфических нюансов для отдельных видов ЭПС. Поэтому в качестве основы рассмотрим принципиальную электрическую схему силовых цепей тягового электропривода вагонов метро моделей 81-765, 81-766 и 81-767, приведённую на рис. 1.

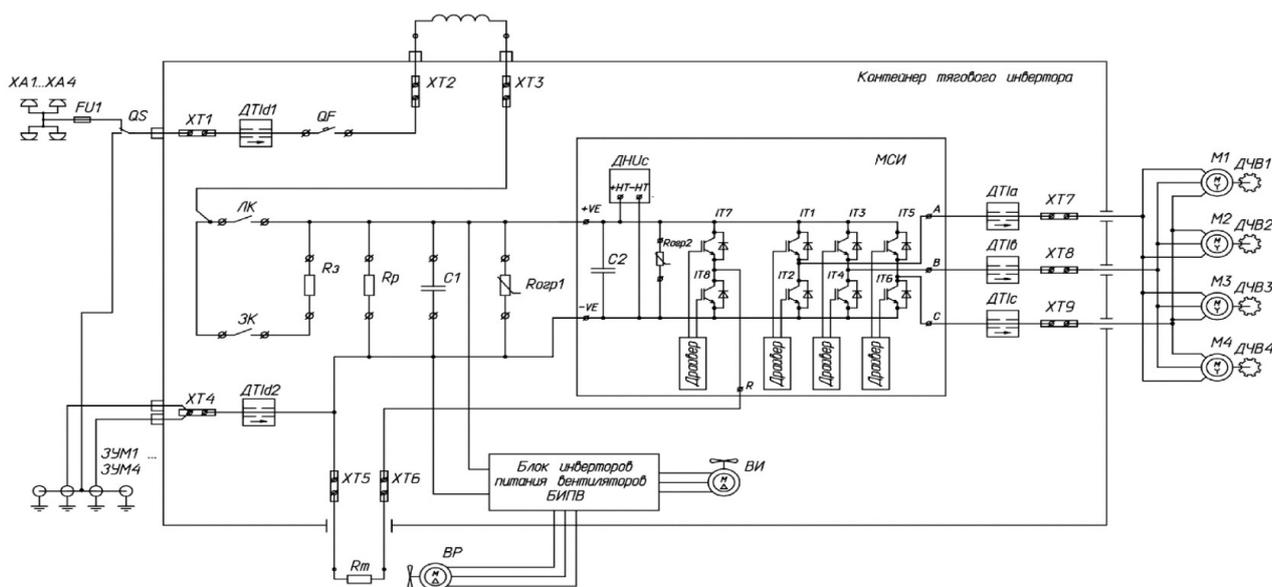


Рис. 1

Состав из вагонов 81-765, 81-766 и 81-767 приводится в движение с помощью асинхронных тяговых двигателей, установленных на моторных

тележках (по два на каждой) головных 81-765 и промежуточных 81-766 вагонов. Крутящий момент от тягового двигателя через редуктор передается к соответствующей колесной паре. Тяговые двигатели включены в электрическую силовую схему вагона параллельно. Параллельная работа тяговых двигателей вагона обеспечивается трехфазным тяговым ШИМ-инвертором, работающим от напряжения контактной сети 750 в постоянного тока. Питание тяговых инверторов осуществляется через токоприемники, установленные на тележках.

Контейнер тягового электрооборудования (КТЭ)

Практически всё тяговое электрооборудование за исключением реактора сетевого фильтра, тормозного резистора и асинхронных тяговых двигателей конструктивно размещено в контейнере тягового электрооборудования. Тяговый инвертор, оборудование которого также размещается в контейнере, является преобразователем напряжения контактной сети в трехфазное напряжение, регулируемое по амплитуде и частоте. Контейнер содержит:

- линейный контактор **ЛК**;
- зарядный контактор **ЗК**;
- зарядный резистор **РЗ**;
- датчики входного и обратного тока **ДТВХ** и **ДТВЫХ**;
- источник вторичного электропитания **ИПК**;
- панель промежуточных реле **ПР**;
- блок управления тяговым приводом **БУТП**;
- датчики тока и напряжения **ДТВ**, **ДТВ**, **ДН1, ДН2** и **ДНС**;
- модуль силового инвертора **МСИ** (транзисторы **VT1-VT8**);
- вентилятор охлаждения **МСИ**;
- блок питания вентиляторов **БПВ**;
- промежуточный дроссель **ЛП**;
- выключатель быстродействующий **БВ**;
- разрядный резистор **РР**;
- варисторы **РОГР1** и **РОГР2**;

-конденсатор сетевого фильтра **СФ**;

-конденсатор инвертора **СИ**.

Вне контейнера смонтированы реактор сетевого фильтра **ЛФ** и тормозной резистор **Rт**.

Контейнер представляет собой металлическую сварную конструкцию, разделенную на отсеки со смонтированным оборудованием. Управление тяговым инвертором производится посредством блока управления тяговым приводом.

Расположение отсеков и оборудования контейнера представлено на рис. 2.

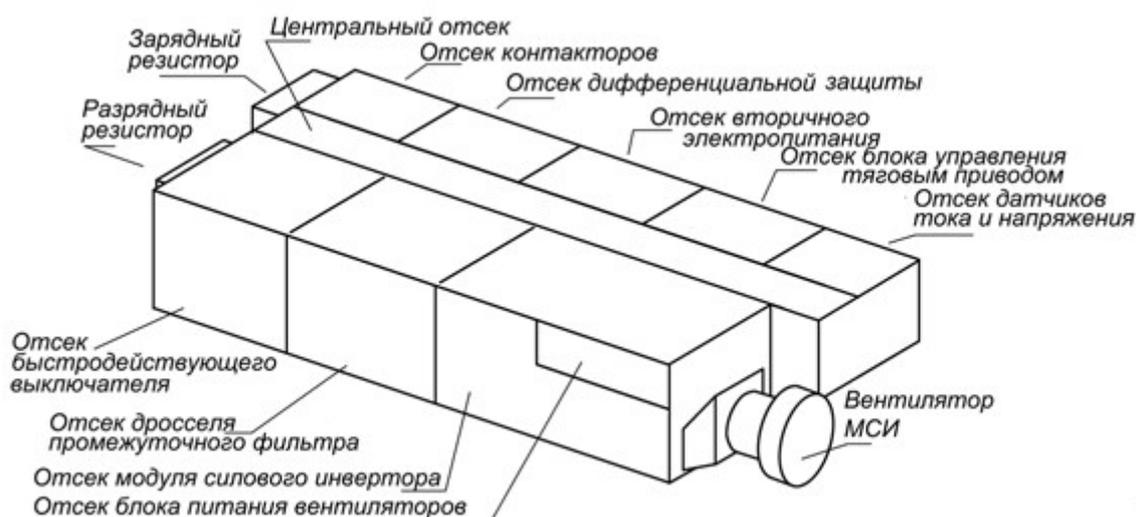


Рис. 2. Контейнер тягового электрооборудования.

Блок распределительного устройства

Блок предназначен для ручного отключения силовых цепей вагона от токоприемника и их заземления, а также защиты высоковольтных силовых и вспомогательных цепей с помощью предохранителей от токов короткого замыкания и перегрузок. Блок представляет собой металлический корпус, внутри которого на текстолитовой панели закреплены блок предохранителей и блок разъединителя. Блок предохранителей содержит: - Предохранитель FU-1, установленный в главной силовой высоковольтной цепи;

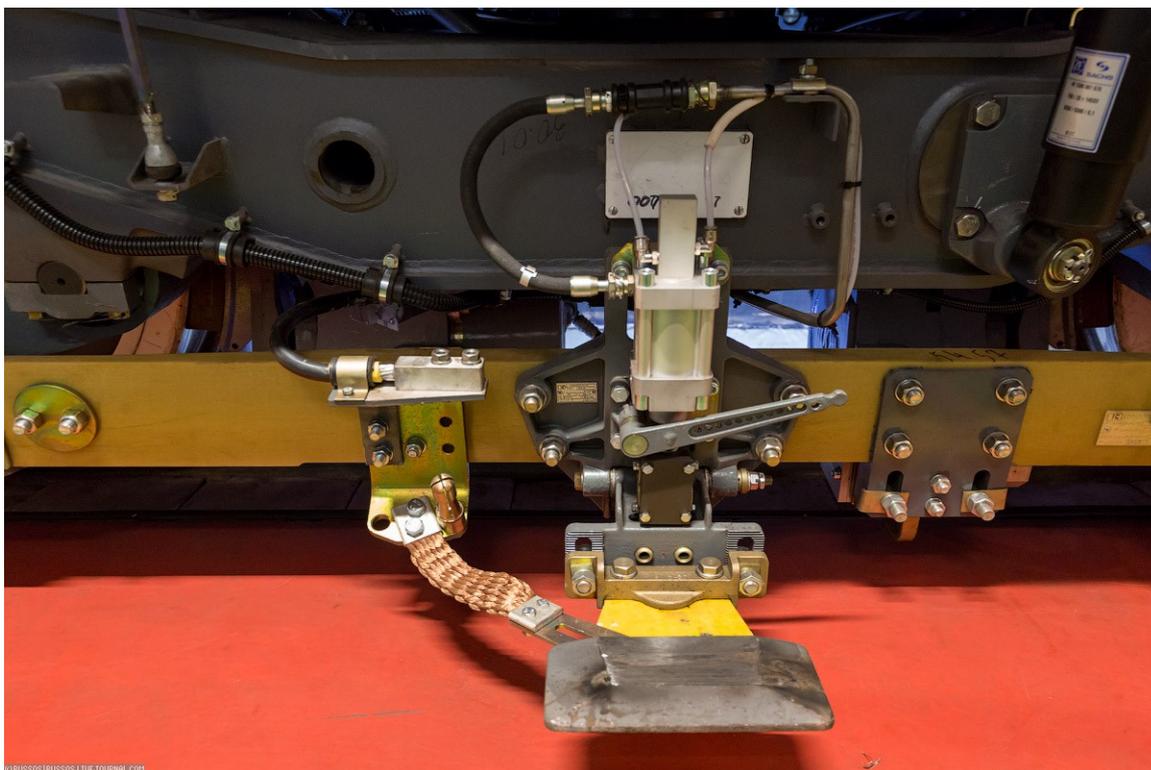
Три предохранителя плавких FU2 – FU4: - предохранитель плавкий FU2 установлен в цепи преобразователя собственных нужд ПСН-24 -

предохранители плавкие FU2 и FU4 установлены в цепях питания салонных преобразователей ELECTRA из комплекта системы кондиционирования, вентиляции и обогрева салона - сопротивление добавочное R1, установленное в цепи вольтметра V1.

Блок разъединителя представляет собой текстолитовую плиту, на которой установлен нож разъединителя (ГВ). На внешнюю сторону блока выведен вал для включения разъединителя. Для заземления ножей разъединителя в отключенном положении, на корпус блока на внешней торцевой стенке предусмотрена специальная заземляющая пластина. Переключение ГВ производится с помощью рукоятки БРУ, которая может занимать два рабочих положения: - Рукояткой привода вверх – подключение входной клеммы к высоковольтным цепям вагона. - Рукояткой привода вниз – отключение силовой цепи вагона от высокого напряжения и закорачивание ножей разъединителя вспомогательным контактом на корпус блока.

Токоприемник

Токоприемник рельсовый автоматический типа ТРА-02 с пневматическим приводом предназначен для нижнего токосъема электроэнергии с контактного рельса системы электроснабжения подвижного состава метрополитена для питания высоковольтных силовых и вспомогательных цепей вагонов. Токоприёмники монтируются на изолирующем бруске и вместе с ним устанавливаются на тележках вагонов.

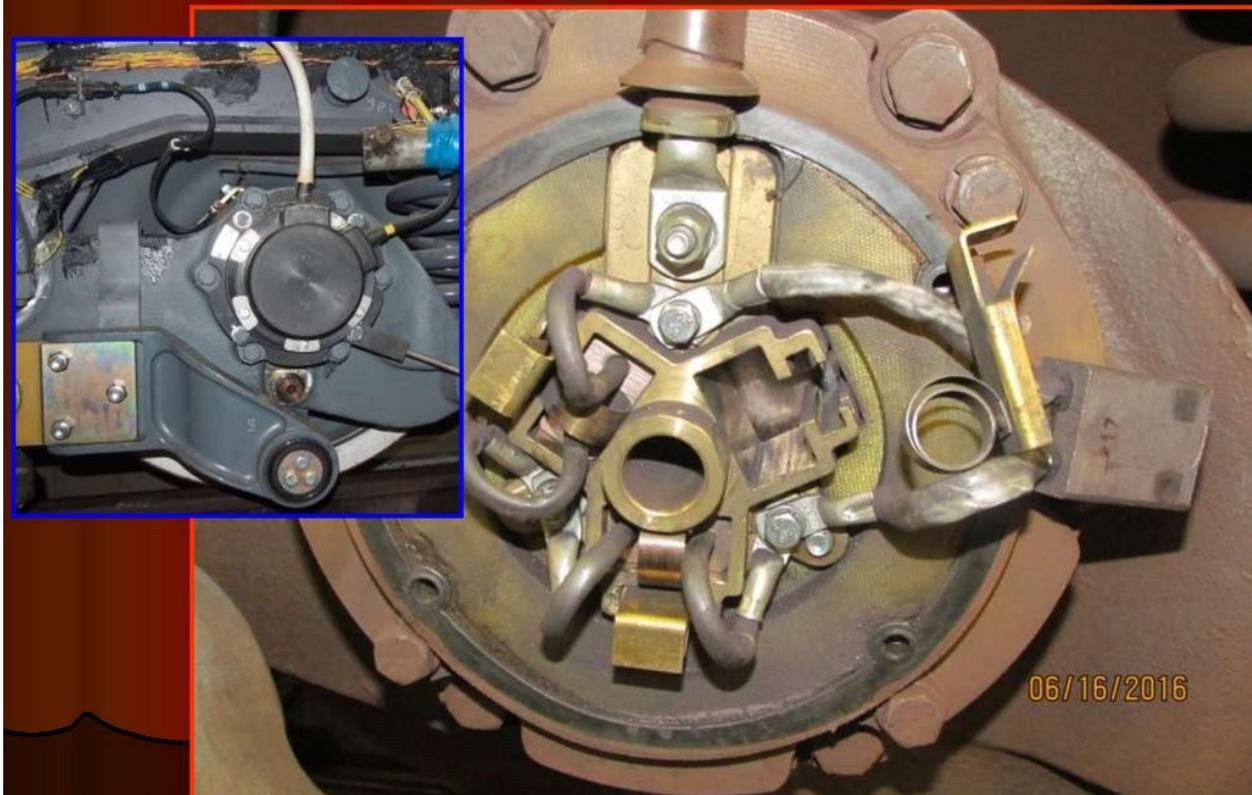


Токоотвод

Токоотвод (заземляющее устройство) предназначен для заземления «минуса» через ось колесной пары на ходовой рельс (рабочее заземление).

Электрическая связь осуществляется через медно-графитовые щетки, скользящие по оси колесной пары.

Универсальный токоотвод.



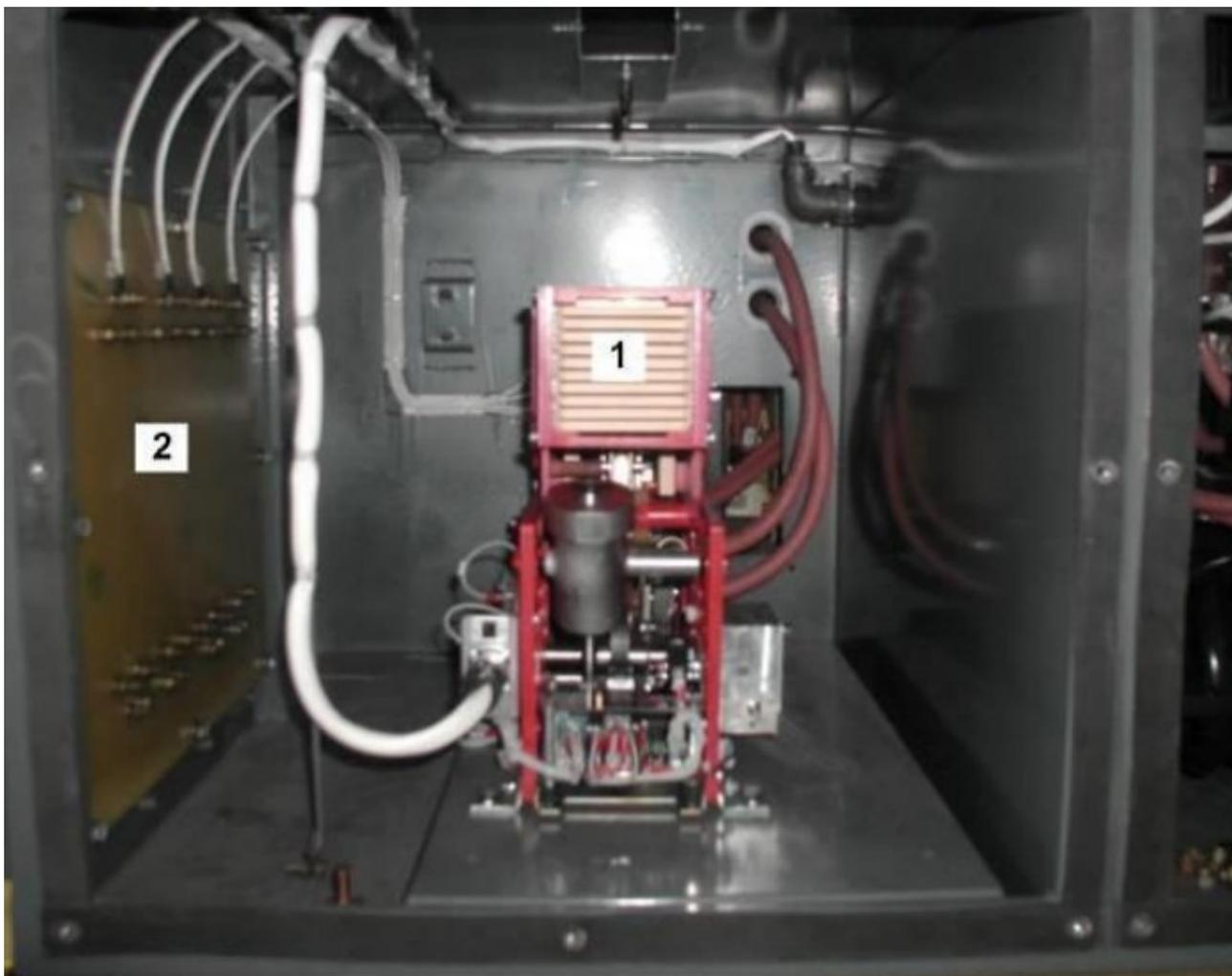
Токоотводы устанавливаются на буксах колесных пар тележек вагона, как моторных, так и немоторных, - по одному токоотводу на колесную пару.

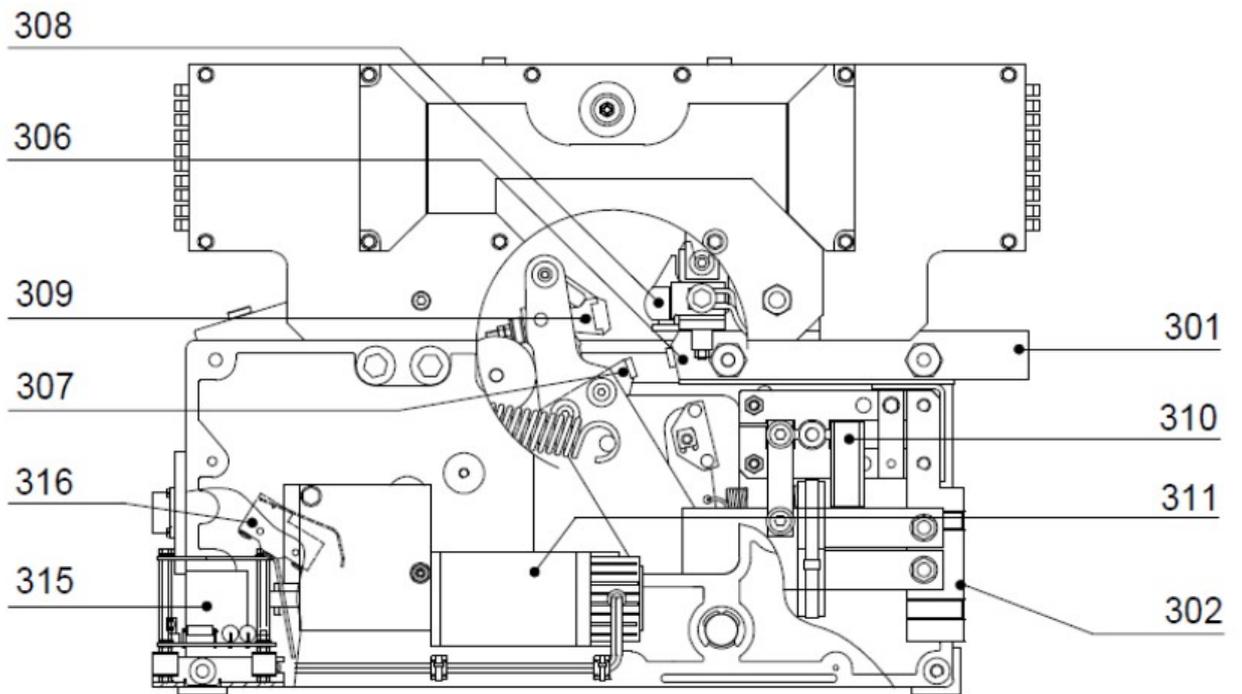
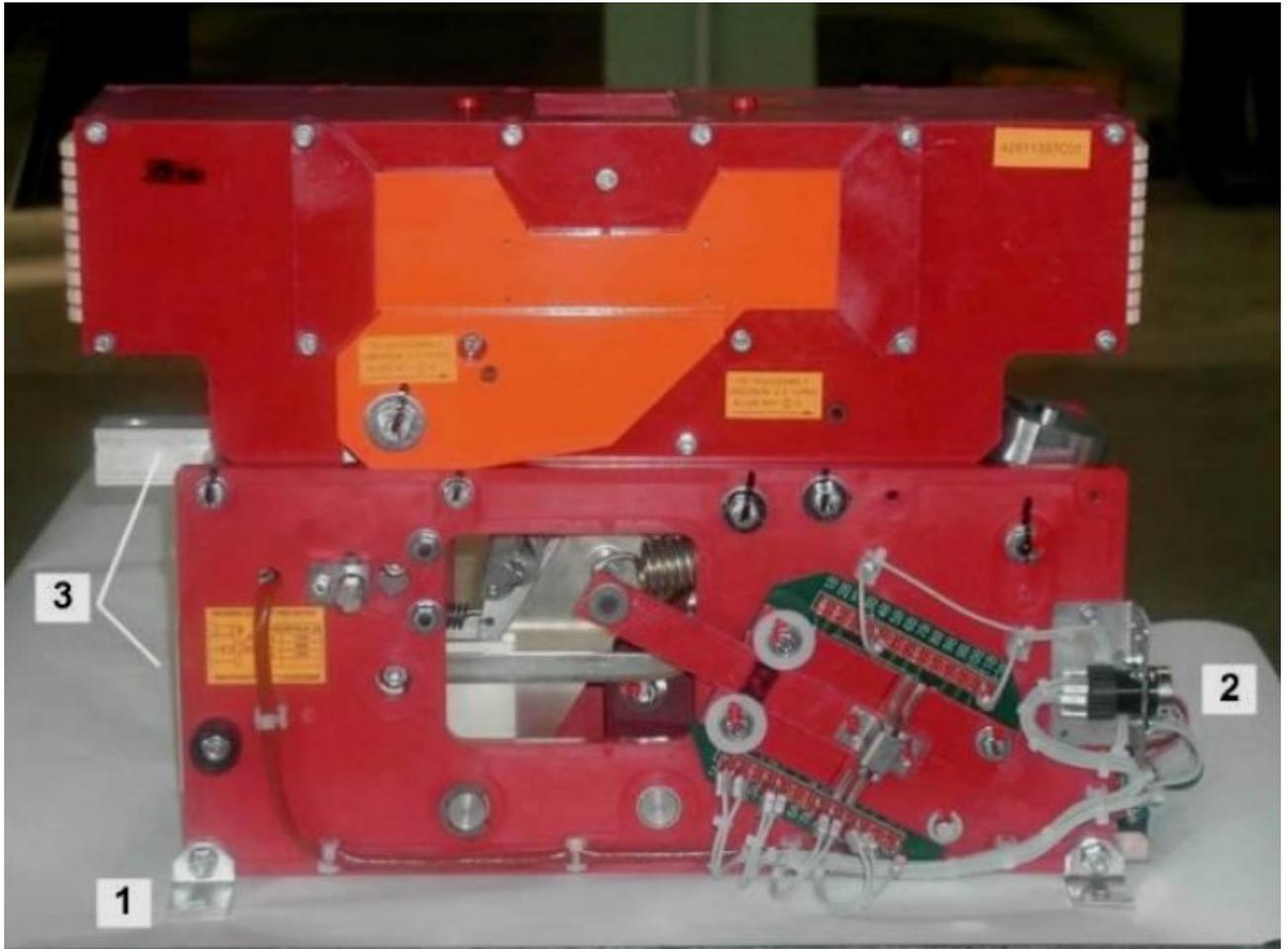


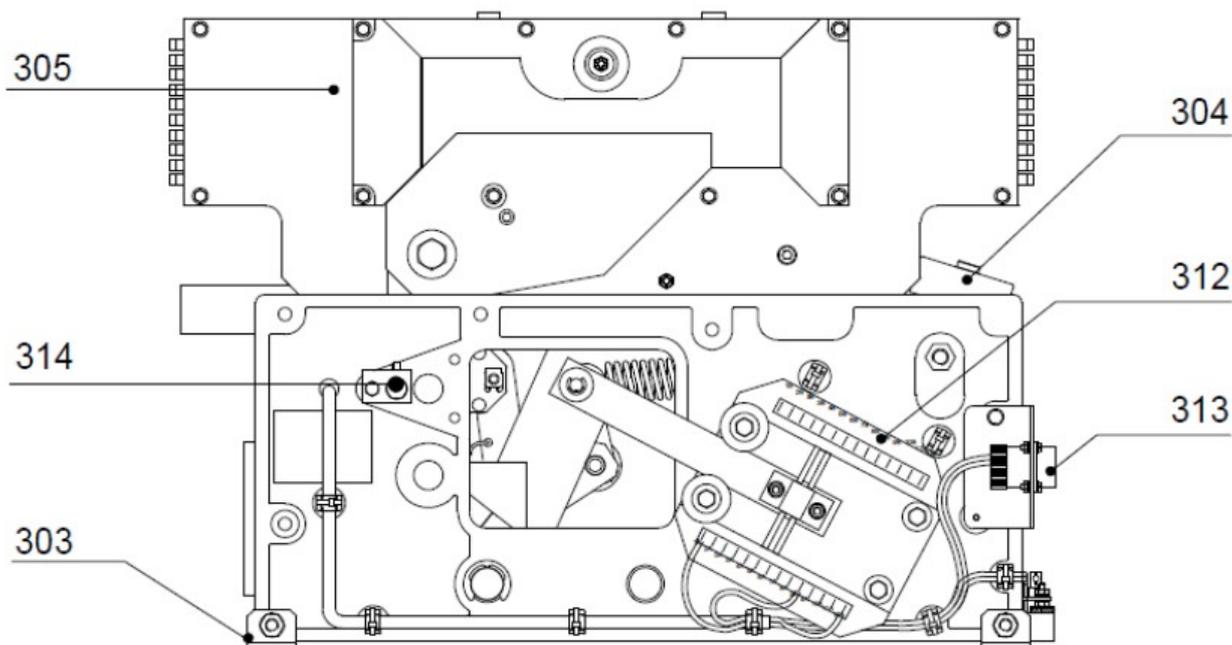
Крепление токоотводов к буксе производится при помощи четырёх болтов. При установке токоотвода на торец оси колесной пары в месте его установки крепится диск.

Выключатель быстродействующий (ВБ).

Выключатель быстродействующий предназначен для защиты электрооборудования тягового привода от токов короткого замыкания. Выключатель является расцепителем максимального тока прямого действия, не содержащего каких-либо электронных цепей управления. Включение выключателя производится путем подачи управляющего напряжения по определенному алгоритму на его катушку. Выключатели оснащаются расцепителями непосредственного действия для токов протекающих в двух направлениях. Настройка уставки срабатывания расцепителя осуществляется независимо для каждого направления протекания тока, в рамках установленного диапазона настройки.







| | | |
|---------------------------------------|---|--------------------------------|
| 301 - Верхний силовой контакт | 306 – Неподвижный главный контакт | 311 - Электромотор |
| 302 - Нижний силовой контакт | 307 – Подвижный главный контакт | 312 – Вспомогательные контакты |
| 303 – Кронштейн крепления выключателя | 308 – Неподвижный дугагасительный контакт | 313 – Низковольтный разъем |
| 304 - Демпфер | 309 – Подвижный дугагасительный контакт | 314 – Шток уставки расцепителя |
| 305 – Дугагасительная камера | 310 – Удерживающий соленоид | 315 – Плата управления |
| | | 316 – Концевой выключатель |

Устройство ВБ

Если, в результате какой-либо неисправности быстродействующий выключатель не включился, то БУТП автоматически повторяет три попытки включения ВБ, после чего формируется сигнал «Блокировка ВБ», запрещающий дальнейшее включение выключателя, и на монитор машиниста выдается сигнал о неисправности тягового привода («Неисправность ТП»). При отключении быстродействующего выключателя ВБ в процессе работы привода по сигналу БУТП или по сигналу его собственной защиты от тока КЗ БУТП автоматически производит повторное включение ВБ. Выдержка времени на повторное включение (4,5 - 5,5сек), но не более трех раз в течение 30 сек, после чего формируется сигнал «Блокировка ВБ». При выключении ВБ линейный контактор (ЛК) выключается.

Реактор сетевого фильтра.

Реактор сетевого фильтра совместно с конденсатором C_{ϕ} сетевого фильтра составляют LC-фильтр низких частот, предназначенный для снижения помех в контактной сети, создаваемых инвертором, а также защиты тягового оборудования от бросков напряжения.. Эта цепочка уменьшает колебания тока, создаваемые инвертором и тем самым уменьшают помехи, передающиеся в сеть, а также защищает тяговое оборудование от бросков напряжения в контактной сети.

Катушка реактора 1 выполнена из шинной меди, намотанной плашмя, и размещена на сердечнике 2.

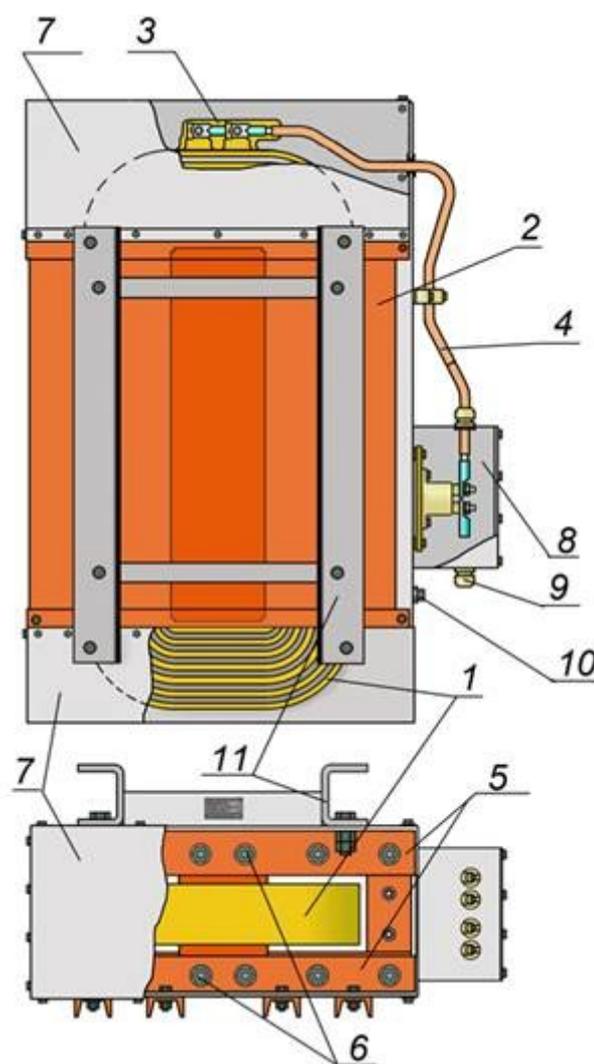


Рис. Реактор сетевого фильтра.

Концы обмотки имеют клемные наконечники 3 для подсоединения двойных кабелей 4. Сердечник броневого типа набран из штампованных листов электротехнической стали и стянут в магнитопровод уголками 5 и шпильками 6. Лобовые части катушки защищены от механических

повреждений кожухом 7. Внешние кабели подсоединяются в клеммной коробке 8 через герметичные кабельные вводы 9. Рядом с клеммной коробкой расположен болт заземления 10. Крепление на раме вагона выполнено с помощью П-образных скоб 11 четырьмя болтами.



Реактор сетевого фильтра.

Линейный контактор (ЛК)

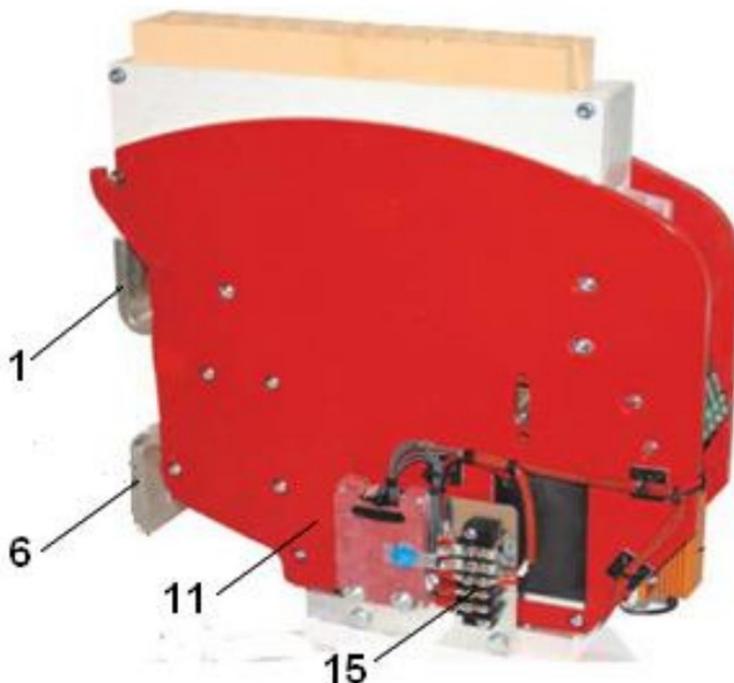
Предназначен:

Для подачи питания 850 в от токоприемников на силовой инвертор в штатном режиме;

Для отключения силовой схемы от контактной сети в аварийных режимах;

Для отключения силовой схемы от контактной сети при реостатном электрическом торможении без рекуперации энергии в контактную сеть;

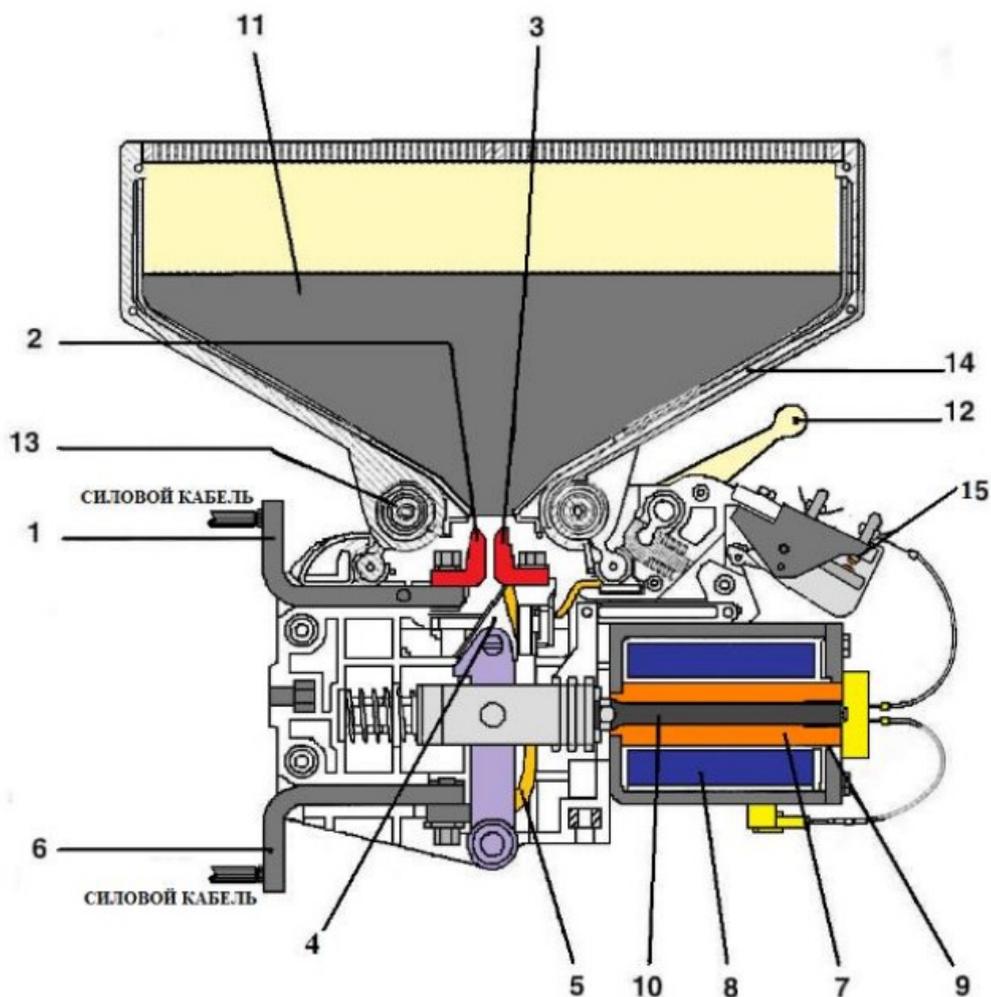
Для отключения силового инвертора от контактной сети при снижении напряжения в сети до уровня ниже 530 В.



Контакторы представляют собой оперативные аппараты с дистанционным управлением, предназначенные для частых включений и отключений электрических цепей как без тока, так и при номинальных токах нагрузки. Они в отличие от автоматических выключателей не имеют устройств для контроля значения тока.

Основная цепь включает верхний силовой вывод (1), неподвижный контакт (2), подвижный контакт (3), опора подвижного контакта (4), гибкое соединение (5) и нижний силовой вывод (6). Управляющее устройство включает сердечник (7), катушку (8), магнитопровод (9) и замыкающий стержень (10). Подвижный контакт 3 приводится управляющим механизмом с помощью изолирующего рычага. Контакт установлен на пружинах во избежание колебаний и позволяет ему перекапываться по неподвижному контакту с небольшим скольжением, убирающим слой грязи (пыли) или оксида, которые могут образоваться при работе контактора. Дугогасительная камера (11) установлена к контактной группе и закреплена блокирующим рычагом (12).

Для обеспечения надежного гашения дуги, дугогасящая камера оснащена парой катушек (13), которые проводят ток только во время горения дуги. Поэтому, полярность не имеет значения.

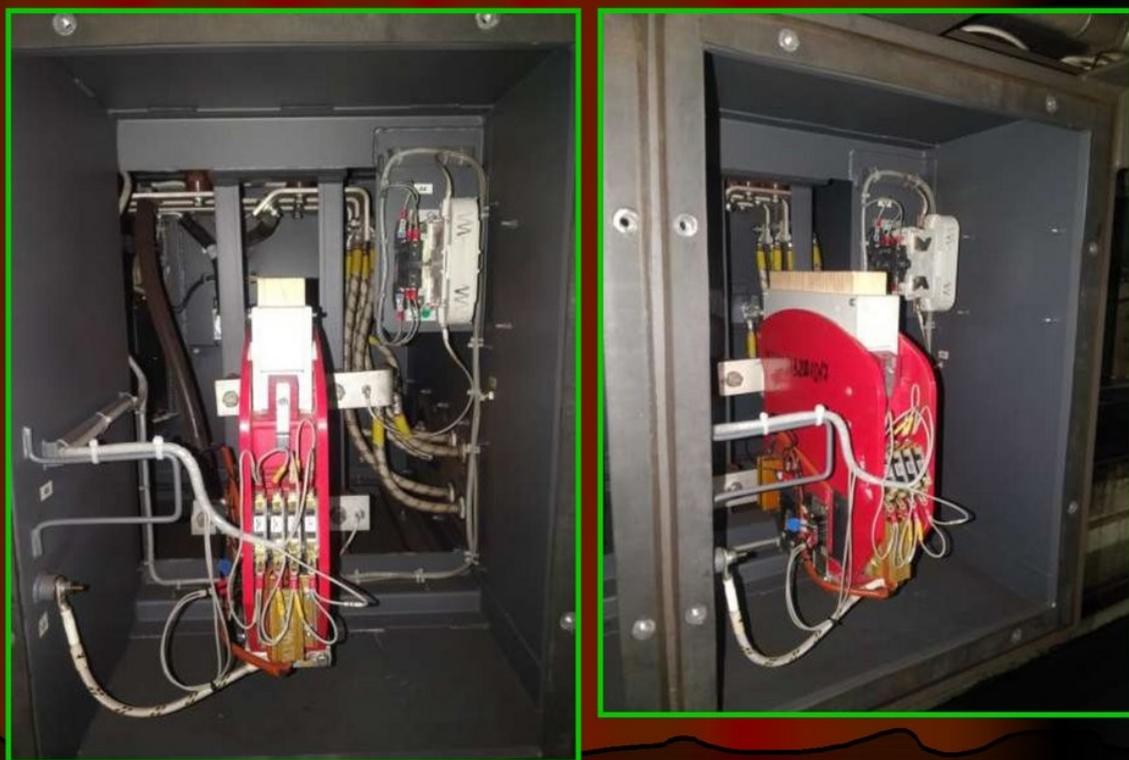


Дугогасительные решетки в камере выполняют следующие функции:

- Снижение напряжения дуги
- Эффективное охлаждение дуги.

Вспомогательные контакты (15) могут быть нормально разомкнутыми и нормально замкнутыми в зависимости от того, как рабочие кулачки установлены.

Отсек №1. Контактторов.



Зарядный контактор (ЗК)

Зарядный контактор подключает подводимое напряжение 750 В контактной сети через зарядный резистор R_z к тяговому инвертору для ограничения зарядного тока и апериодического заряда конденсатора сетевого фильтра без возникновения перенапряжения.

Контактором управляет блок управления тяговым приводом (БУТП-2). Перед включением линейного контактора ЛК силовые контакты зарядного контактора ЗК на короткое время замыкаются, подключая конденсатор фильтра к напряжению 750 В через резистор заряда конденсатора R_s . После того, как конденсатор зарядился, замыкаются контакты линейного контактора ЛК, шунтируя контакты ЗК и сопротивления R_z . После этого происходит отключение зарядного контактора и тяговый инвертор получает питание через линейный контактор. Таким образом, зарядный контактор размыкается без нагрузки, когда зарядный резистор и контактор шунтированы контактами ЛК.

Зарядный контактор LTC-250.



Зарядный резистор конденсатора фильтра (КЗ) номинальным сопротивлением $(14 \pm 10\%)$ Ом - предназначен для ограничения тока заряда конденсатора сетевого фильтра. Резистор состоит из резистивного элемента, расположенного внутри алюминиевого корпуса с ребрами охлаждения и шпилькой заземления. Резистор имеет вынесенную клеммную коробку для подключения его выводов. Номинальная мощность зарядного резистора 500 Вт. Масса 3 кг.



Конденсатор сетевого фильтра.

Конденсатор сетевого фильтра состоит из малоиндуктивных конденсаторов С1 и С2 и используется для силового инвертора и реостатного тормозного чоппера. Конденсатор С1 установлен в отсеке контейнера, конденсатор С2 включен в конструкцию модуля силового инвертора МСИ-3. Конденсаторы включены параллельно.

Диагностика предотказного состояния каждого конденсатора обеспечивается применением датчика превышения внутреннего давления. Сигналы с датчиков поступают в БУТП. Вместе Lф, С1 и С2 образуют LC-фильтр низких частот.

Основные технические характеристики: - емкость конденсатора С1 – 16000 мкФ; - емкость конденсатора С2 – 24000 мкФ; - номинальное напряжение постоянного тока – 950В; - броски напряжения постоянного тока - до 1300В; - масса конденсатора С1 - 50 кг.



Тормозной резистор

Тормозной резистор Rт предназначен для рассеивания избыточной электроэнергии, вырабатываемой тяговыми машинами в режимах электрического торможения.

Конструкция тормозного резистора представляет собой набор малоиндуктивных резистивных элементов, помещенных в стальной корпус 4 (Рис. 17), оборудованный принудительной вентиляцией.

Тормозной резистор состоит из трёх секций 5, соединённых последовательно. Каждая секция состоит из трёх соединённых параллельно элементов. Три элемента, составляющие секцию 5, монтируются на двух вертикальных боковых крышках 7. Между крышками установлены три пары горизонтальных стержней 16 (по два на каждый элемент), закреплённых с помощью гаек 17 и 18 (рис.17 в и г).

Через изоляционные трубки и керамические вставки 20 между стержнями расположены отрезки резистивной ленты 19, соединённые сваркой в единую последовательную цепь.

Конструкция элемента тормозного резистора представлена на рис. 17 г.

Для соединения элементов между собой и внешними цепями к концам элементов приварены соединительные клеммы 8. Внутренние электрические соединения выполнены шинами 11, соединенными с выводными клеммами 12. Посредством четырех изоляторов 10 боковые крышки элементов резистора крепятся внутри корпуса к его боковым стенкам.

Двигатель вентилятора размещен в цилиндрической кожухе 2 и закрепляется фланцем на корпусе резистора. Входное сопло 1 защищено решеткой. Выход воздуха осуществляется через выходное сопло 9 на противоположном конце корпуса резистора. Сопло защищено решёткой и направляет нагретый воздух вниз.

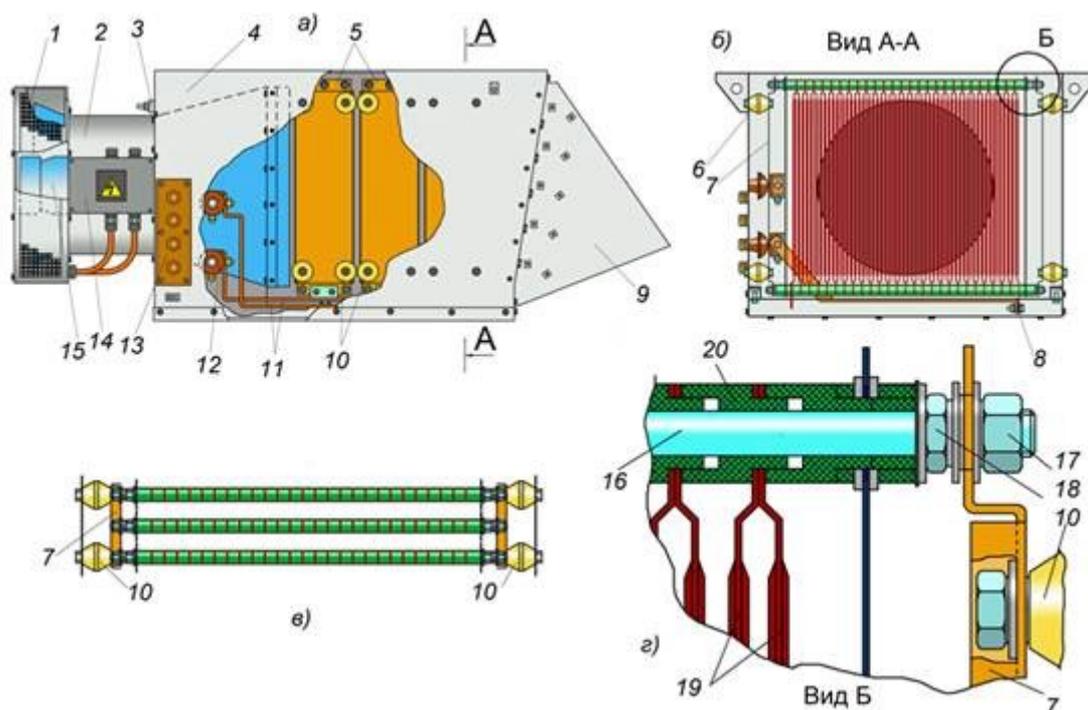


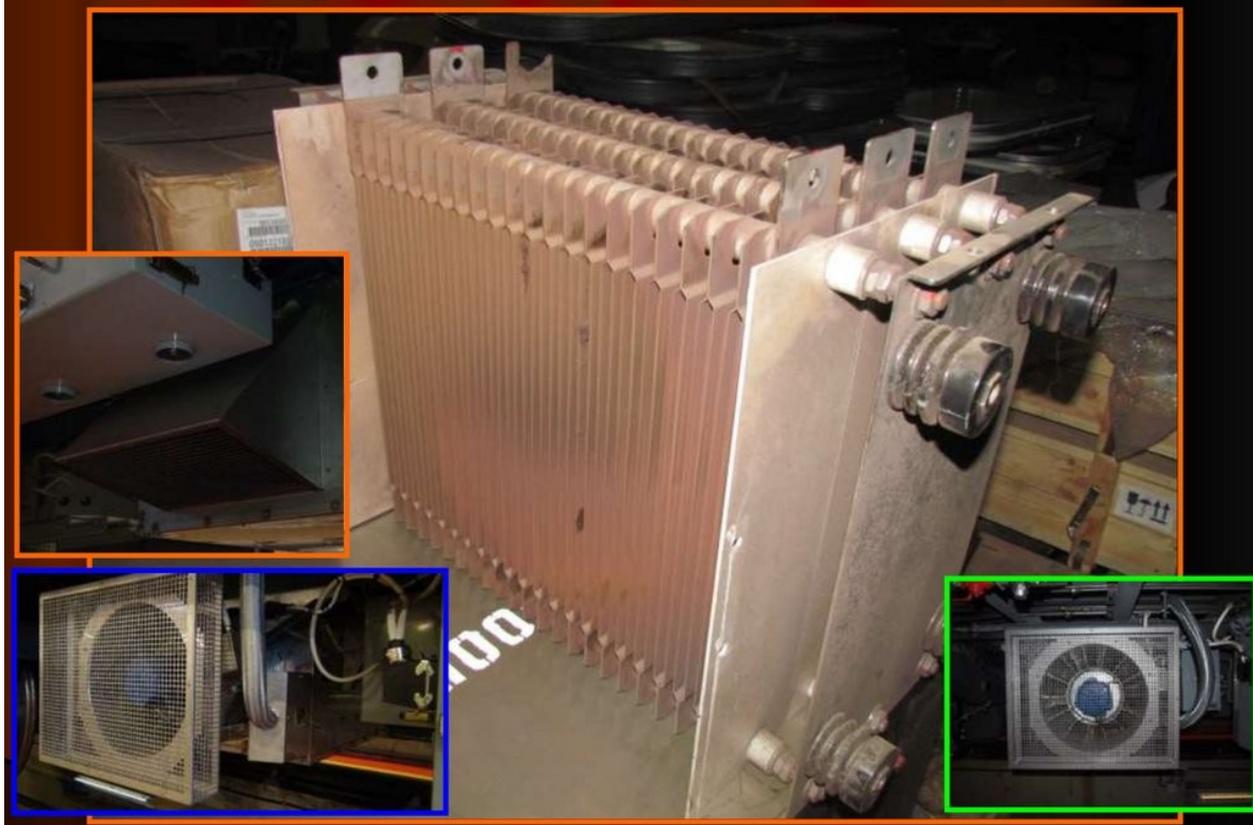
Рис. 17. Тормозной резистор: а) Вид с боку; б) Разрез по А-А; в) Секция; г) Вид Б.

Корпус тормозного резистора крепится на раме вагона и заземляется медным шунтом посредством болта 3.

Внешние провода подключения тормозного резистора подведены через уплотнения на панели 13. Провода двигателя вентилятора 15 подключены в клеммной коробке 14.

Асинхронный двигатель вентилятора получает питание от БПВ.

Тормозной резистор.



Тяговый привод

Тяговым приводом вагона являются 4 тяговых электродвигателя, а также комплект электрооборудования для питания двигателей КАТП-1 или КАТП-2 (комплект асинхронного тягового привода).

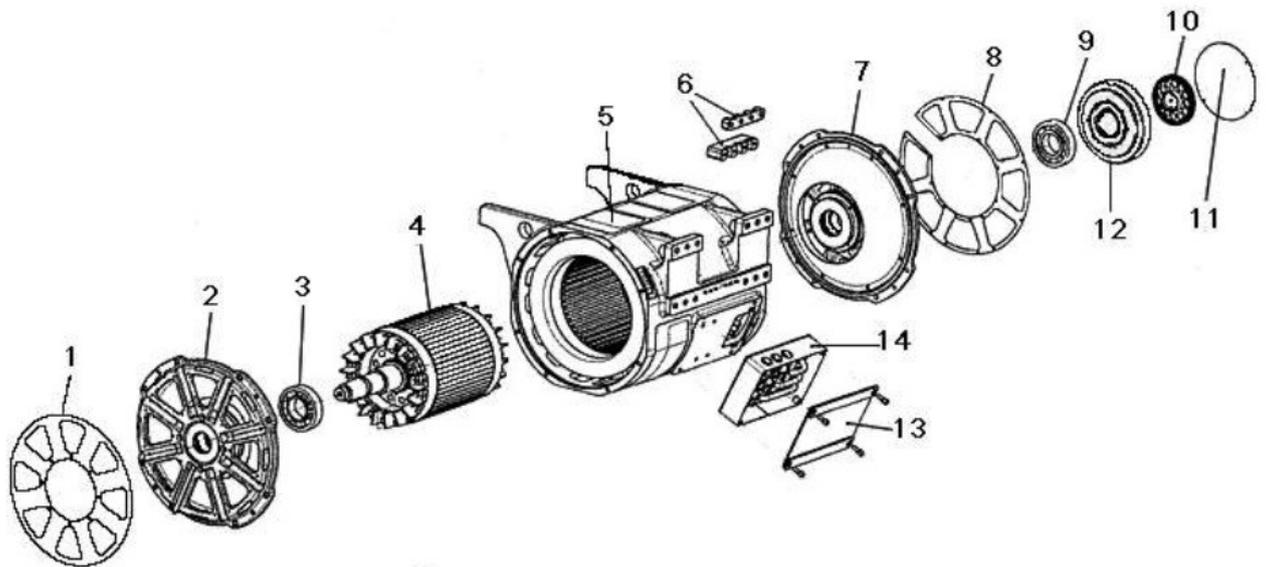
Тяговые электродвигатели

Трехфазные асинхронные тяговые двигатели предназначены для установки на вагонах метрополитена для приведения вагона в движение и создания тормозной силы при электрическом торможении. Двигатель является составной частью асинхронного тягового электропривода и рассчитан для питания от инвертора напряжения.

Вагоны могут комплектоваться двигателями: ТАД 280М 4У2 производства АЭК "Динамо; ДАТЭ-170 4У2 производства "ООО Электротяжмаш-Привод" г. Лысьва; ТАДВМ-280 4У2 производства ОАО "НИПТИЭМ" г. Владимир; ДАТМ-2У2 производства "ОАО Псковский электромашиностроительный завод"; ДТА 170 У2 АО "Рижский электромашиностроительный завод"; ТА 280 4МУ2 производства "ОАО ELDIN" (Ярославский машиностроительный завод). Асинхронные двигатели для вагонов метрополитена, выпускаемые разными заводами-изготовителями, конструктивно аналогичны, т.к. созданы на основе двигателя ТАД 280М 4У2 производства АЭК «Динамо». Двигатели имеют принципиально одинаковое устройство: габариты, конструкционные размеры, обмоточные данные и др.



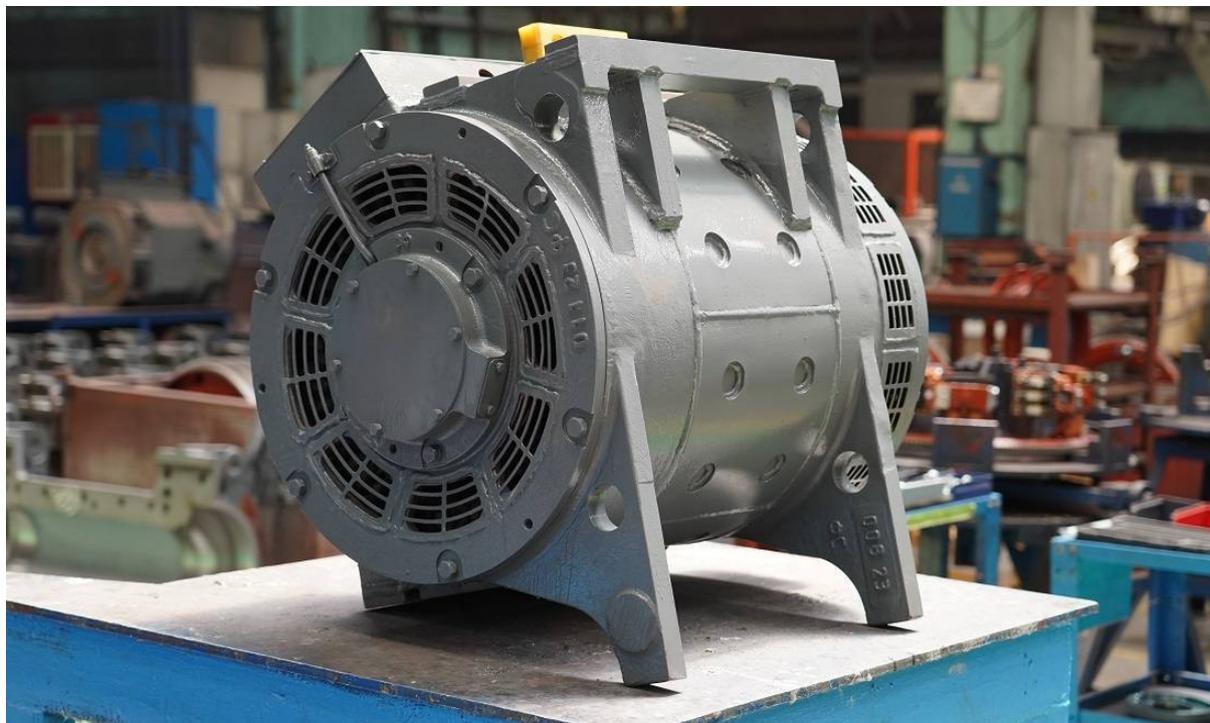
Тяговый двигатель в раме тележки



Составные элементы двигателей: 1 - защитная сетка с пластиной; 2 - щит подшипниковый (сборка); 3 - подшипник роликовый; 4 - ротор; 6 - клица; 7 - щит подшипниковый (сборка); 8 - защитная сетка с пластиной; 9 - подшипник шариковый; 10 - колесо зубчатое; 11 - пластина; 12 - крышка подшипниковая; 13 - крышка коробки выводов; 14 - коробка выводов.

Асинхронный тяговый электродвигатель ДТА-170 производства предприятия «ТМХ-Электротех» (входит в состав компании «ТМХ-Энергетические решения»), разработка «ТМХ-Инжиниринга».

Двигатель ДТА 170 У2 - самовентилируемый четырехполюсный с короткозамкнутым ротором.



В обозначении двигателя: ДТА - двигатель тяговый асинхронный; 170 - мощность в кВт; У2 - климатическое исполнение и категория размещения.

Основные параметры двигателя:

Мощность часового режима - 170 кВт

Номинальный режим работы - повторно-кратковременный S2-60 мин.

(с длительностью рабочего периода неизменной нагрузки 60 мин.)

Номинальное линейное напряжение - 530 В

Номинальная частота тока - 43 Гц

Максимальная частота тока- 120 Гц

Номинальный линейный ток - 237 А

Номинальная частота вращения - 1290 об/мин.

Максимальная частота вращения - 3600 об/мин.

Номинальное скольжение - не менее 1,5 %

КПД - 0,92

Перегрузочная способность ($M_{max}/M_{ном}$) - 3,5

Шаг по пазам обмотки статора 1-12

Масса двигателя - 765 кг.

Двигатель состоит из статора, ротора и двух подшипниковых щитов. Разрез двигателя представлен на рис.

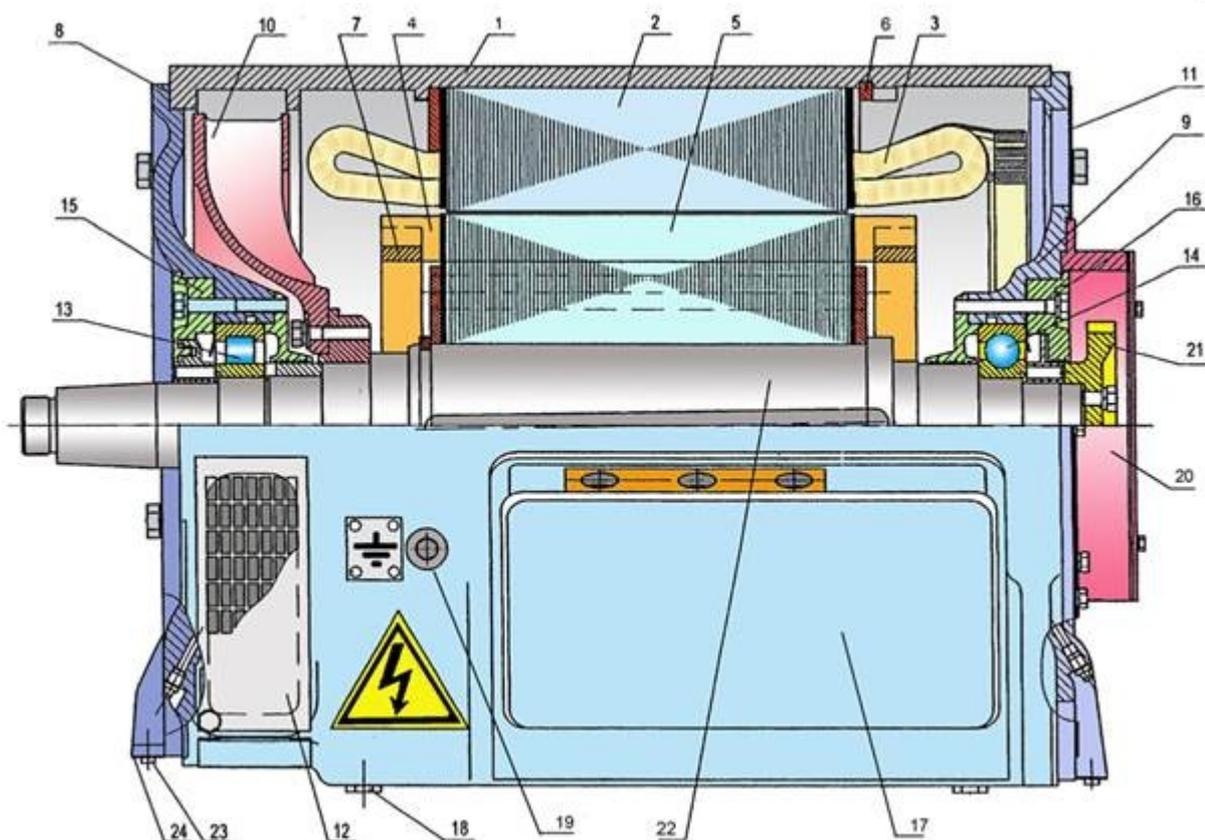


Рис. Двигатель ДТА 170У2. 1 - Станина. 2 - Сердечник. 3 - Обмотка статора. 4 - Стержень обмотки ротора. 5 - Сердечник ротора. 6 - Сегментная шпонка. 7 - Закорачивающее кольцо. 8,9 - Подшипниковый щит. 10 - Вентиляторное колесо. 11 - Вентиляционное отверстие. 12 - Защитная сетка. 13,14 - Подшипник. 15,16 - Крышка подшипника. 17 - Клемная коробка. 18 - Болт сливного отверстия. 19 - Болт заземления. 20 - Корпус установки ДЧВ. 21 - Шестерня ДЧВ. 22 - Вал ротора. 23 - Заглушка. 24 - Устройство добавления смазки.

Статор.

Статор - неподвижная часть двигателя - состоит из станины 1, сердечника 2 и обмотки 3.

Станина.

Станина 1 статора имеет цилиндрическую форму и отлита из конструкционной стали. Крепление двигателя к тележке вагона осуществляется с помощью кронштейнов, отлитых заодно со станиной. Станина так же имеет приливы, предохраняющие двигатель от падения в случае нарушения целостности крепления. Перемещение двигателя при монтаже осуществляется за транспортировочные отверстия в кронштейнах. Со стороны выходного вала станина имеет вентиляционные отверстия, закрытые сетками 12. Торцевые части станины имеют расточку и резьбовые отверстия для установки переднего 8 и заднего 9 подшипниковых щитов.

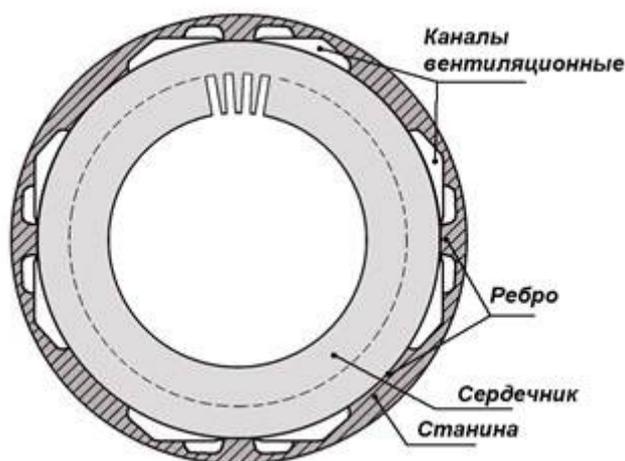


Рис. Фрагмент листа сердечника статора

К боковой поверхности станины приваривается коробка выводов 17 с тремя отверстиями для подвода кабелей от преобразователя. Для заземления двигателя предусмотрен заземляющий болт 19, который расположен на боковой грани станины со стороны коробки выводов и обозначен табличкой с указанием знака заземления. На внутренней поверхности станины имеются продольные ребра, образующие аксиальные вентиляционные каналы (рис.). Для спуска влаги, появляющейся в процессе эксплуатации двигателя, в станине имеются два сливных отверстия, заглушенные болтами 18. Каждый двигатель, выпускаемый изготовителем, имеет на корпусе табличку с основными техническими данными: тип, заводской номер, масса и дата изготовления двигателя.

Обмотка статора.

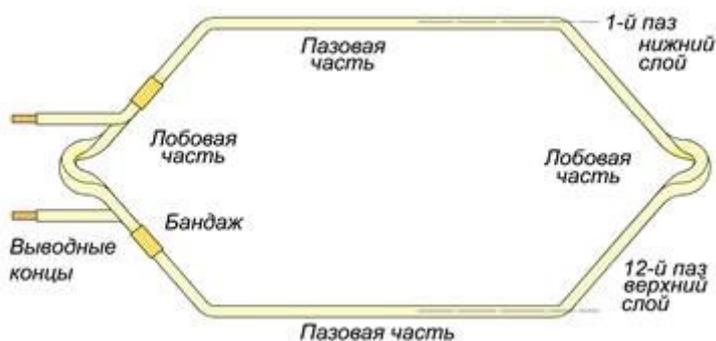


Рис. Секция обмотки статора.

Обмотка статора двухслойная петлевая, выполнена из 60-ти ромбовидных жестких секций (рис.). Каждая секция состоит из восьми витков прямоугольного медного эмалированного провода сечением 1,8 x 6,3 мм. Витки изолированы лентой, пропитанной лаком.

Общая изоляция секции выполнена слюдянитовой лентой. Секции уложены шагом 1-12.

Активные части обмотки закреплены в пазах стекло-текстолитовыми изоляционными клиньями. Расположение секций в пазу представлено на рис.

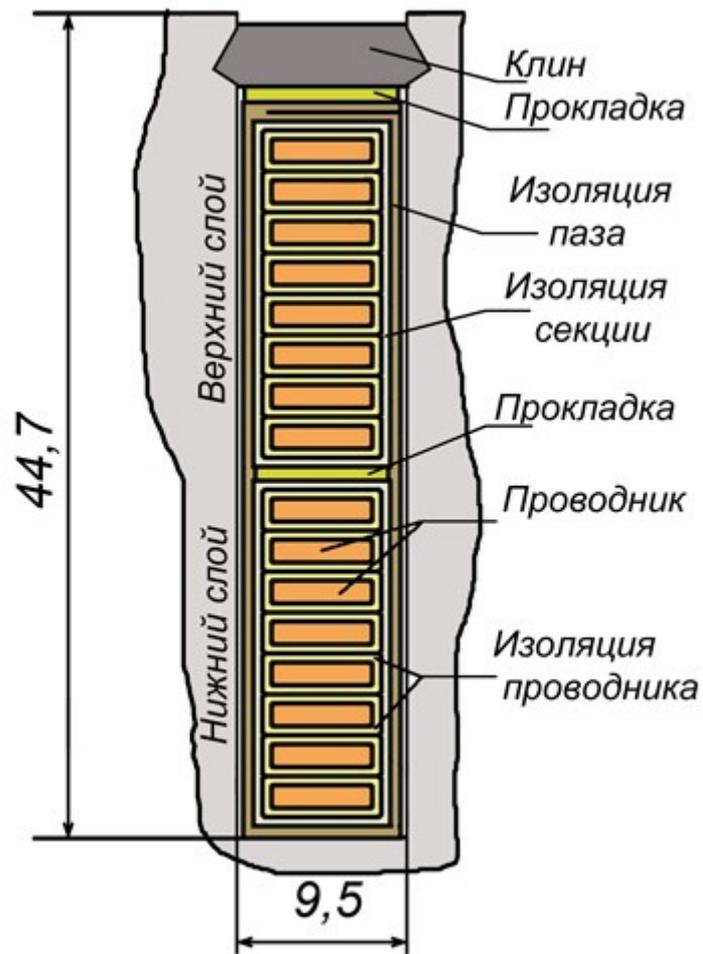


Рис. Расположение проводников обмотки статора в пазу

Схема обмотки статора представлена на рис. Пунктирной линией показана пазовая часть секции в нижнем слое паза.

Обмотка статора состоит из трех фазных обмоток, которые образованы из четырех катушечных групп (по пять секций в каждой), включенных параллельно.

Соединения секций выполнено пайкой со стороны заднего подшипникового щита. Паяные соединения изолированы. Фазные обмотки глухим соединением включены по схеме «звезда». Выводные концы обмотки крепятся в коробке 17. Обозначение выводов - U, V, W.

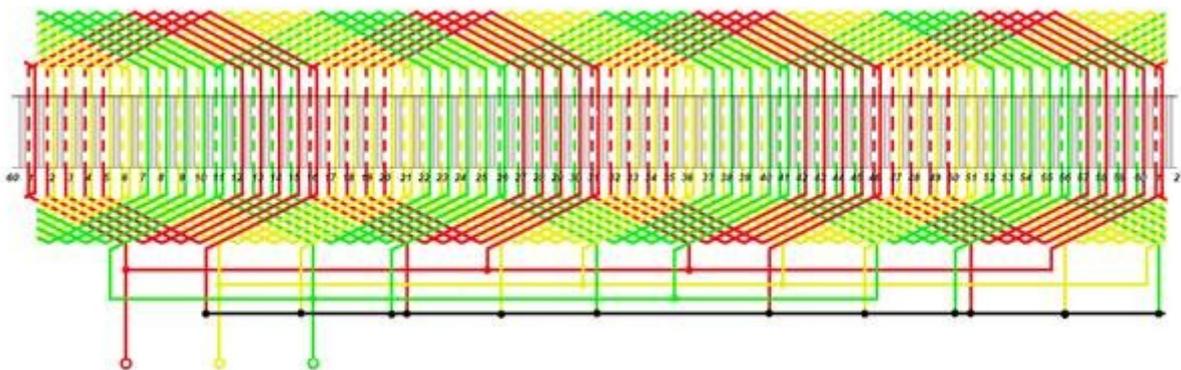


Рис. Схема статорной обмотки.

Ротор.

Подвижная часть двигателя - ротор - состоит из вала 22, сердечника 5 с короткозамкнутой обмоткой и вентиляторного колеса 10.

Вал ротора.

Вал ротора изготовлен из высокопрочной стали и имеет конический рабочий выходной конец для соединения с тяговой передачей. На валу имеются участки разных диаметров для размещения на них составных частей ротора. В средней части вала имеются выступ (бурт), кольцевая выточка под стопорное кольцо, а также осевая канавка под шпонку.

Сердечник ротора.

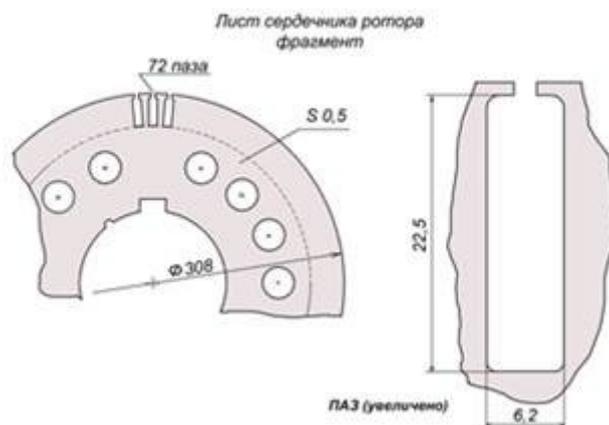


Рис. Фрагмент листа сердечника ротора.

Между буртом и стопорным кольцом посредством шпонки закреплен сердечник 5, представляющий собой пакет штампованных изолированных пластин электротехнической стали толщиной 0,5 мм. В пластинах выштампованы пазы под обмотку, отверстия для установки на вал и вентиляции. Фрагмент пластины и конфигурация паза представлены на рис. Жесткость пакету придают крайние пластины толщиной 5 мм. В собранном виде у поверхности сердечника образуются полузакрытые пазы, а в теле сердечника вентиляционные каналы.

Обмотка ротора.

В пазы сердечника вставляются медные стержни 4 сечением 5,6 x 22 мм, выступающие концы которых замкнуты накоротко медными кольцами 7. При этом образуется короткозамкнутая обмотка, равномерно распределенная по окружности ротора. Электрическое соединение выполнено методом газовой

сварки с медным присадочным материалом. Более поздняя технология предусматривает метод индукционной пайки стержней к кольцам ротора с серебряной присадкой. Такое соединение обеспечивает повышенное качество электрического соединения и надежности машины.

Вентилятор.

Для обеспечения движения воздуха внутри двигателя на валу ротора установлено вентиляторное колесо 10.

Примечание. Обмотка ротора двигателя ТАДВМ-280 Владимирского завода выполнена методом литья из алюминия, при этом заодно с короткозамыкающими

кольцами отлиты вентиляционные лопатки, обеспечивающие движение охлаждающего воздуха.

Подшипниковые щиты.

Подшипниковые щиты - передний 8 и задний 9 - являются опорой подшипников ротора и представляют собой фасонные стальные отливки. Они вставляются в расточку станины и закрепляются болтами, ввернутыми в торцевую часть станины.

В подшипниковых щитах установлены однорядные подшипники качения открытого исполнения с токоизолирующим покрытием на наружной обойме. Оно обеспечивает исключение электрической связи вала ротора со статором. Со стороны приводного конца вала установлен роликовый подшипник, с противоположной стороны - упорный шариковый, фиксирующий положение ротора и поглощающий осевое давление от редуктора.

Подшипники закрыты внутренними и наружными крышками 15 и 16. Лабиринтные уплотнения, которыми снабжены крышки, удерживают смазку и защищают подшипники, что обеспечивает увеличение срока службы смазки. В подшипниках применена смазка Литол-24. Конструкция подшипниковых узлов предусматривает возможность пополнения смазки через выведенные наружу трубки.

Задний подшипниковый щит имеет вентиляционные окна 11, которые закрыты крышками с металлическими сетками.

Вентиляция.

По конструкции двигатель является самовентилируемым. Под действием вращающегося вентиляторного колеса наружный воздух поступает через отверстия в подшипниковом щите, обтекает лобовые части обмотки статора как со стороны соединений, так и со стороны привода, а так же сердечники статора и ротора и выбрасывается наружу через вентиляционные отверстия станины со стороны привода. Внутри машины охлаждающий воздух проходит тремя путями:

- по каналам, образованным сердечником статора и внутренними ребрами станины;
- через воздушный зазор между статором и ротором;
- по аксиальным каналам сердечника ротора.

Примечание: Движение охлаждающего воздуха в двигателе ТАДВМ-280 Владимирского завода обеспечивается лопатками на короткозамыкающих кольцах обмотки ротора.

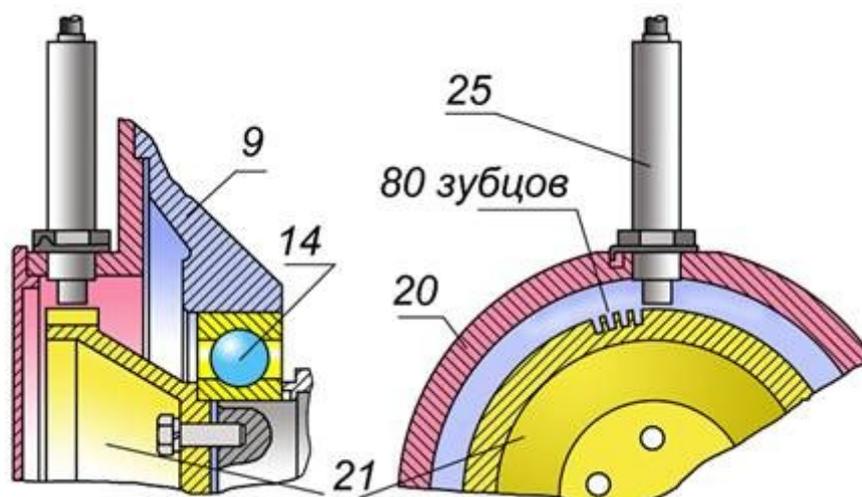


Рис. Датчик частоты вращения.

Для формирования управляющего воздействия на инвертор тягового тока, его блок управления (БУТП) получает информацию о частоте вращения роторов тяговых электродвигателей. Для этого на валу каждого двигателя установлено зубчатое колесо 21, закрепленное болтами в торец вала. В металлическом корпусе 20, прикрепленном к заднему подшипниковому щиту, с зазором 0,6 мм устанавливается датчик частоты вращения ДЧВ 25, подключенный к блоку управления тяговым приводом. При вращении зубчатого колеса в датчике вырабатываются импульсы с частотой, пропорциональной скорости вращения ротора.

Источники информации по тяговым электродвигателям вагонов метро:

1. Двигатель асинхронный тяговый ТАДВМ 280. Руководство по эксплуатации. ВАКИ.520205.279 РЭ (г.Владимир)

2. Электродвигатель асинхронный тяговый ДАТМ-2У2. Руководство по эксплуатации. ЕИАЦ.526813.003 РЭ (г.Псков)

3. Двигатель асинхронный тяговый ДАТЭ170. Руководство по эксплуатации. ИБЖК.556672.008 РЭ (г.Лысьва)

4. Электродвигатель тяговый асинхронный ДТА 170 У2 для метрополитена. Руководство по эксплуатации. ОТР.460.054 ТО (г.Рига)

5. Двигатель асинхронный тяговый ТА280М4 У2. Руководство по эксплуатации. ДТ.52025.083РЭ. (г.Ярославль)

6. Тяговый асинхронный двигатель ТАД 280М 4У2. Комплект чертежей АЭК«Динамо»

ТИБЛ.712324.001 РЭ (г.Москва)

Комплект асинхронного тягового привода КАТП-3

В состав тягового электрооборудования вагонов 81-765 и 81-766 входит комплект силового электрооборудования тягового привода КАТП-3, который обеспечивает:

Пуск и регулирование скорости с четырьмя различными темпами разгона по командам блока компьютера вагонного управления (БКВУ), а также пуск и регулирование скорости в тяговом режиме с двумя различными темпами разгона по командам резервного управления.

Следящее рекуперативно-реостатное торможение по командам БКВУ, с тремя различными темпами замедления в диапазоне скоростей от максимальной до минимально возможной (не более 7 км/ч) без ограничения скорости начала торможения.

Изменение направления движения по командам БКВУ или реверсора резервного управления.

Работу при повторно-кратковременных режимах с максимальной нагрузкой и продолжительностью стоянки на станции 25 сек при скорости сообщения 48 км/ч на перегоне 1700 м с интенсивностью движения не менее 40 циклов пусков в час.

Автоматическое регулирование тягового и электродинамического тормозного усилий в зависимости от сигналов устройства контроля загрузки вагонов.

Управление движением по системе многих единиц и сохранение работоспособности при проезде неперекрываемых токоразделов в режимах тяги и рекуперативно - реостатного торможения при изменениях напряжения от 550 до 975 в.

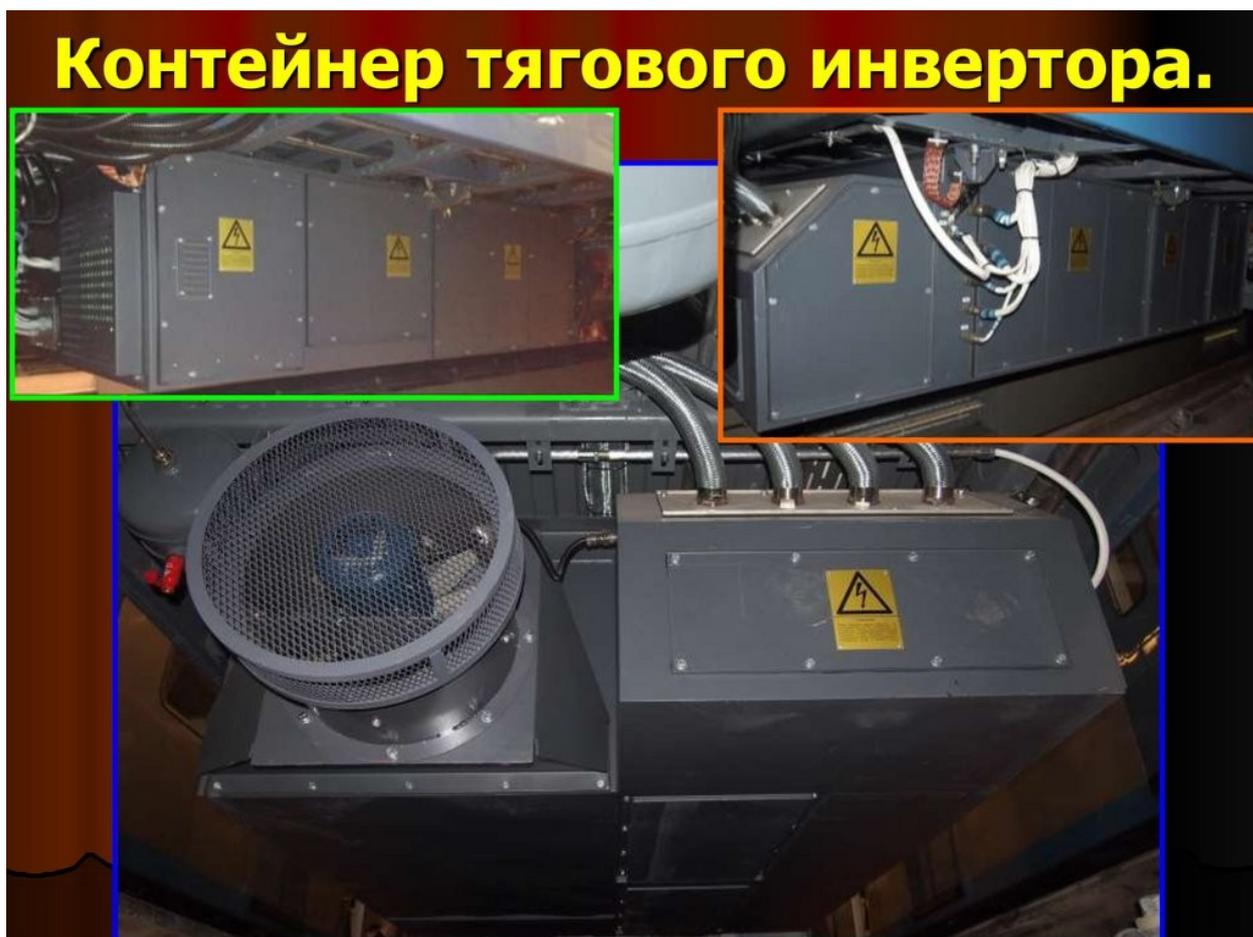
Контроль параметров электрического торможения и формирование при его отказе, снижении эффективности или истощении в зоне малых скоростей сигналов «Отказ электротормоза», «Электротормоз не эффективен», используемых для формирования команд на замещение электрического торможения пневматическим.

Прием сигналов управления от БКВУ и передачу диагностических сигналов о состоянии и параметрах электрооборудования в БКВУ.

Для защиты от импульсных перенапряжений в силовых цепях полупроводниковых преобразователей используются сабберы. Саббер – это демпфирующее устройство, работающее в качестве фильтра низкой частоты, которое выполняет действия по замыканию на себе тока переходного процесса. Устройство предназначено для понижения значений перенапряжений в переходных процессах, которые появляются при коммутационных действиях с силовыми полупроводниками.

В новой конструкции круглые сабберные конденсаторы заменены одним мощным низкоиндуктивным пленочным конденсатором, установленным над IGBT-модулями и системой шин. Этот конденсатор одновременно несет функцию саббера и является частью конденсатора сетевого фильтра. Такая компоновка позволяет уменьшить расстояния между IGBT-модулями,

существенно упростить систему шин внутри нового контейнера КТИ-3 и существенно снизить паразитные индуктивности силовых электрических шин.

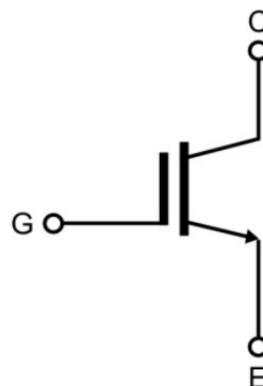


В режиме тяги компоненты силовой цепи преобразуют напряжение сети постоянного тока, снимаемое с контактного рельса, в трехфазное напряжение с регулируемой амплитудой и частотой, для питания тяговых асинхронных двигателей. Так же компоненты силовой цепи используются для режима динамического реостатного торможения. Напряжение тяговой сети поступает в контейнер тягового инвертора через силовые устройства вагона: токоприемники ХА1 – ХА4, главный предохранитель FU1 и разъединитель QS. Контейнер закреплен к раме под вагоном и содержит все оборудование тягового привода, кроме тормозного резистора R_t и дросселя сетевого фильтра L_f . Тормозной резистор и дроссель сетевого фильтра закреплены к раме вагона отдельно. Тяговые двигатели М1 – М4 с датчиками частоты вращения ротора двигателя установлены на тележках.

Силовой тяговый ШИМ-инвертор

Трёхфазный инвертор состоит из двенадцати IGBT- модулей, соединённых параллельно.

Биполярный транзистор с изолированным затвором (БТИЗ, англ. Insulated-gate bipolar transistor, IGBT) - трёхэлектродный силовой полупроводниковый прибор, сочетающий два транзистора в одной полупроводниковой структуре: биполярный (образующий силовой канал) и полевой (образующий канал управления). Каскадное включение транзисторов двух типов позволяет сочетать их достоинства в одном приборе: выходные характеристики биполярного (большое допустимое рабочее напряжение) и входные характеристики полевого (минимальные затраты на управление). Управляющий электрод называется затвором, как у полевого транзистора, два других электрода — эмиттером и коллектором, как у биполярного. Выпускаются как отдельные БТИЗ, так и силовые сборки (модули) на их основе, например, для управления цепями трёхфазного тока. Основное применение БТИЗ — это инверторы, импульсные регуляторы тока, частотно-регулируемые приводы.



Реостатный чоппер состоит из четырех IGBT 1 (БТИЗ) модулей, так же соединённых параллельно. В чоппере нижний транзистор полумоста в работе не используется, постоянно закрыт и выполняет роль обратного диода.

В режиме реостатного торможения, транзистор IT7 начинает работать с частотой 1200 Гц и переменной скважностью, тем самым, рассеивая тормозную

энергию в тормозном резисторе R_t . Реостатное торможение необходимо, когда тяговая сеть не может принять ток рекуперации. При этом напряжение на конденсаторе сетевого фильтра составляет 925 В.

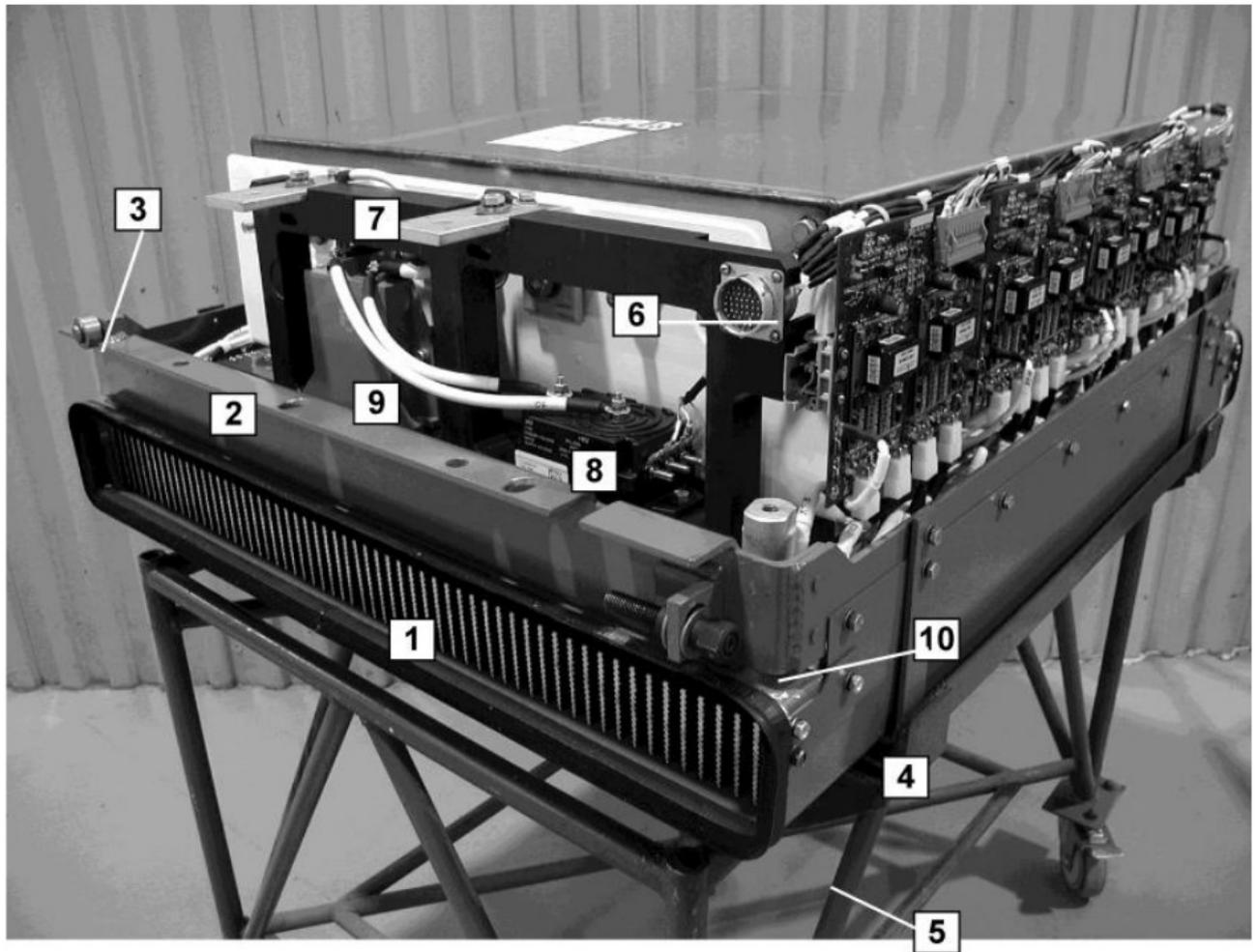
Реостатный тормозной чоппер также используется в режиме тяги в качестве шунтирующей нагрузки при превышении напряжения тяговой сети свыше 1000 В. МСИ содержит электронное оборудование, установленное на основании – охладителе (1). Обратная поверхность охладителя снабжена ребрами для эффективного отвода тепла. IGBT – модули имеют изолированное основание и поэтому установлены прямо на заземленном основании – охладителе через специальную теплопроводящую пасту. Два изолированных токоотвода соединяют силовые транзисторы между собой по входному напряжению. Каждый IGBT модуль включает в себя по два транзистора и обратных диода. Все IGBT установлены на охладителе с принудительной вентиляцией.

По обеим сторонам охладителя расположены угловые крепления (2), при помощи которых модуль закреплен внутри блока тягового инвертора. Крепления снабжены роликами (3), для упрощения изъятия модуля из отсека.

Ребра охладителя забраны в металлический кожух (4), который образует вентиляционный канал для принудительного воздушного охлаждения. Модуль устанавливается в контейнер таким образом, что вентиляционный канал МСИ через резиновое уплотнение (5) стыкуется с воздушным каналом вентилятора охлаждения. Модуль инвертора имеет низковольтный разъем (6) цепей управления. Подключение силовых цепей осуществляется через шины (7). В держателе этих шин установлены датчик напряжения на конденсаторе сетевого фильтра (8) и защитный варистор (9).

Для защиты тягового оборудования от перенапряжений в контактной сети, параллельно конденсатору фильтра модуля силового инвертора включены варисторы Ro_{gr1} и Ro_{gr2} .

Варистор - нелинейный полупроводниковый резистор предназначен для защиты тягового оборудования от перенапряжения.



Варисторы (англ. vari(able) переменный (resi)stor — резистор) - это полупроводниковые резисторы, в которых используется эффект уменьшения сопротивления полупроводникового материала при увеличении приложенного напряжения, за счет чего они являются наиболее эффективным (и дешевым) средством защиты от импульсных напряжений любого вида. Отличительной особенностью варистора является симметричная, резко выраженная нелинейная вольт- амперная характеристика. За счет этого варисторы позволяют просто и эффективно решать задачи защиты различных устройств от импульсных напряжений. Варистор включается параллельно защищаемому оборудованию и при нормальной эксплуатации находится под действием рабочего напряжения защищаемого устройства. В рабочем режиме ток через варистор пренебрежимо мал, и он в этих условиях представляет собой изолятор. При возникновении импульса напряжения варистор благодаря нелинейности вольт-амперной характеристики резко уменьшает свое сопротивление до долей Ома и

шунтирует нагрузку, защищая ее, и рассеивая поглощенную энергию в виде тепла. В этом случае через варистор кратковременно может протекать ток, достигающий нескольких тысяч ампер. После гашения импульса напряжения он вновь приобретает очень большое сопротивление.

Модуль силового инвертора оборудован датчиком температуры, который подает сигнал о перегреве в блок управления тяговым приводом. Датчик состоит из двух термостатов, установленных на радиаторе и соединенных последовательно. Настроен на уставку температуры срабатывания +85 градусов (размыкает контакты), при снижении температуры до +70 – контакты замыкаются снова.

Основные технические характеристики:

- выходное напряжение длительное 0-530В;
- частота коммутации ШИМ инвертора 2400Гц;
- частота коммутации ШИМ тормозного чоппера 1200Гц;
- частота входного 3-х фазного напряжения питания двигателей 1-120Гц;
- номинальная мощность 1000 кВт;
- напряжение цепей управления 15В +/- 5%;
- масса 210 кг.

Защита силовых цепей тягового привода

Основными аварийными режимами работы тягового привода являются:

- срыв в работе регуляторов тока и напряжения из-за сбоев в системе управления или плохого токосъема энергии с контактного рельса;
- замыкание на корпус одной из точек силовой цепи из-за нарушения или пробоя изоляции;
- выход из строя транзистора силового инвертора.

Во всех случаях могут возникнуть аварийные сверхтоки, приводящие к повреждению электрического оборудования. Задачей устройств защиты является быстрое действующее отключение силовой цепи для ограничения развития аварийных сверхтоков на уровне, не приводящем к выходу из строя силовых полупроводниковых приборов тягового привода. В качестве основного

аппарата защиты в тяговом приводе используется выключатель быстродействующий QF-1 типа UR6-31 с уставкой максимальной токовой защиты 1500А. БВ отключает токи короткого замыкания в силовых цепях привода в режиме тяги и рекуперативного торможения. Дополнительно в своем составе тяговый привод содержит устройства электронной защиты:

- от перегрузки по току в цепи питания; - от перенапряжений в контактной сети;

- от перегрузки инвертора по выходному току;

- от замыканий силовой цепи на землю;

- от перегрева инвертора и тормозного реостата.

Электронная защита предназначена для предотвращения развития аварийных сверхтоков и напряжений в силовой цепи тягового привода в нештатных режимах работы на уровне, когда контролируемые параметры превосходят рабочие значения, но еще не достигли уставок аппаратной защиты. При срабатывании любой из защит БУТП выключает силовой инвертор тягового привода, снимая импульсы управления транзисторами модуля силового инвертора.

При перенапряжении в контактной сети свыше 1000 В первый уровень электронной защиты в любом режиме работы привода включает чоппер тормозного резистора, если рост напряжения не прекращается, то второй уровень электронной защиты принудительно выключает БВ по цепи управления в следующих случаях:

- если ток в звене постоянного тока в режиме выбега или стоянки превышает 100А на время более 3с, то БВ тягового привода выключается и блокируется;

- если при стоянке ($V=0$) зафиксировано два случая срабатывания тормозного чоппера, то БВ тягового привода выключается и блокируется;

- если при стоянке ($V=0$) зафиксировано два случая срабатывания электронной защиты по входному току, то БВ тягового привода выключается и блокируется;

Решение о включении привода в работу по повагонному управлению принимает машинист.

Дифференциальная защита работает только в режиме тяги и так же сопровождается принудительным выключением БВ. Если срабатывание БВ произойдет 3 раза в течение 5 минут, то такой привод считается неисправным. При этом БУТП запрещает дальнейшее включение привода. Его повторное включение можно осуществить только снятием и повторной подачей питания 80В на контейнер тягового привода.

Защита от юза и боксования

Работа устройств защиты от боксования и юза разбивается на три этапа:

1. своевременное выявление процесса боксования и юза;
2. быстрое вмешательство в процесс регулирования с целью снижения задания силы тяги и тормозных усилий, а так же частоты вращения колесных пар путем уменьшения токов двигателей без изменения режима работы привода;
3. восстановления тяги (торможения) после прекращения боксования (юза) с более медленным темпом нарастания тока тяговых двигателей до заданного значения .

Для быстрого выявления склонности колесных пар к боксованию нужно знать частоту вращения колесных пар и линейную скорость вагона. Тогда на основании сравнения частоты вращения каждой колесной пары с линейной скоростью вагона, можно определить моменты начала и окончания процессов боксования и юза. В БУТП линейная скорость вагона определяется с помощью математического моделирования. Исходной информацией для вычисления линейной скорости вагона являются сигналы датчиков частоты вращения роторов 4-х тяговых двигателей вагона. При выходе скорости колесной пары за допустимые линейной скоростью вагона пределы, формируется сигнал защиты, который является командой на автоматическое снижение уставки задания тока привода. После прекращения боксования или юза, система защиты с более медленным темпом восстанавливает заданное значение тяговой или тормозной уставки тока.

Вспомогательное электрооборудование

Преобразователь собственных нужд (ПСН)

ПСН предназначен для питания низковольтных электрических цепей, заряда аккумуляторной батареи и питания асинхронного двигателя компрессора.

ПСН обеспечивает:

- преобразование постоянного напряжения контактной сети 750В в симметричное трёхфазное напряжение, регулируемое по частоте и амплитуде в диапазоне от 0 до 400В частотой 50 Гц, для питания асинхронного электродвигателя компрессорного агрегата;

- преобразование постоянного напряжения контактной сети 750 В постоянного тока в напряжение бортовой сети 80 В постоянного тока для питания низковольтных электрических цепей вагона;

- заряд АКБ постоянным током;

- парциальное питание по поездной магистрали цепей другого вагона с вышедшим из строя ПСН.

ПСН состоит из трех устройств и платы сопряжения, объединенных в единой конструкции:

- инвертор двигателя компрессора (ИДК);
- бортовой преобразователь напряжения (БПН);
- конвертор заряда и стабилизации (КЗС);
- плата сопряжения CAN.

Батарея аккумуляторная (АКБ)

Батарея аккумуляторная вагона является автономным источником бортового питания и предназначена для электропитания номинальным напряжением постоянного тока 70 В электрических цепей управления вагона, в том числе и низковольтных вспомогательных цепей при отсутствии напряжения в контактной сети. При этом АКБ также обеспечивает работу аварийного освещения и сигнальных фонарей.

АКБ предназначена для питания цепей управления и оборудования вагонов номинальным напряжением питания 70 В постоянного тока в трёх режимах в качестве:

- автономного источника питания при отсутствии высокого напряжения контактной сети (режим 1);
- резервного источника при наличии высокого напряжения (режим 2)
- аварийного (резервного) источника питания при наличии высокого напряжения (режим 3).

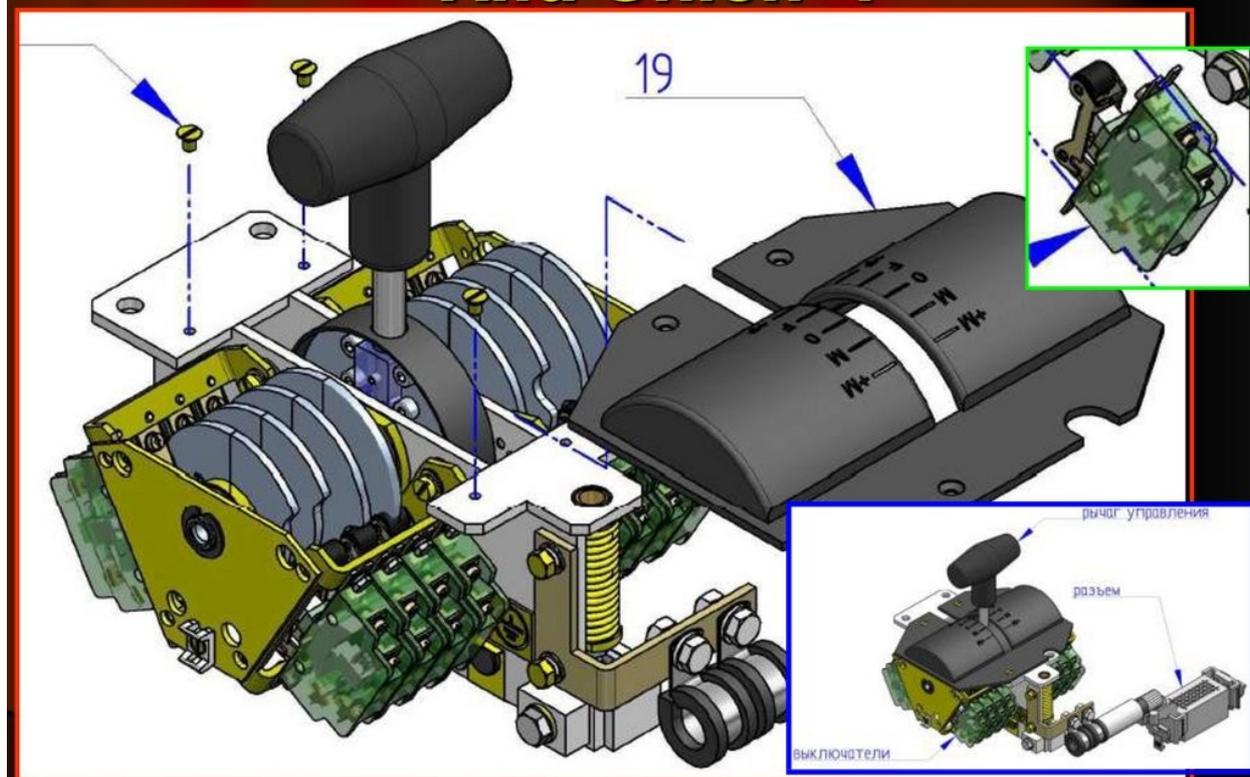
АКБ относится к необслуживаемым и её элементы (аккумуляторные блоки) не подлежат восстановительным ремонтам, за исключением восстановления ёмкости при помощи заряда батареи.



Пульт управления поездом



Контроллер машиниста «Alfa Union».



Работа силовой цепи в различных режимах

Тяговый режим.

Пуск тяговых двигателей.

При включении напряжения бортовой сети блок управления электроприводом БУТП инициализируется и включает выключатель быстродействующий ВБ и зарядный контактор ЗК. При включении главного разъединителя и наличии напряжения сети происходит заряд конденсатора фильтра Сф через зарядный резистор Rз и дроссель сетевого фильтра Lф. При напряжении на Сф близком к напряжению сети БУТП включает линейный контактор ЛК и размыкает ЗК. После установки основного контроллера реверса ОКР в положение «Вперед» или «Назад» привод готов к отработке команд управления тягой. При переводе рукоятки контроллера машиниста (КМ) в одно из ходовых положений Ход1 - 4 - задаются токовые уставки соответственно - 150А, 200А, 260А, 330А, которые автоматически корректируются при загрузке вагона и в процентном отношении составляют соответственно 40, 60, 75, 100% от максимального тока на один двигатель. Каждая уставка тока автоматически корректируется в соответствии с загрузкой вагона. Задание тока двигателей осуществляется плавно с определенным темпом. Сигнал о переводе рукоятки КМ в ходовое положение через УПИ-1, БКПУ, БКВУ поступает в блок управления тяговым приводом (БУТП). В начале пуска асинхронных двигателей тяговый инвертор работает с частотой 1-2 Гц. При этом к обмотке статора двигателей подводится напряжение, составляющее 2-5% напряжения контактного рельса. Регулирование подводимого напряжения обеспечивается путем изменения коэффициентов заполнения транзисторных ключей (широотно-импульсная модуляция). По мере разгона вагонов постепенно повышается напряжение на обмотках статора асинхронных двигателей и увеличивается частота тока в них. Последнее осуществляется путем повышения частоты работы транзисторных ключей, импульсы управления на которые начинают поступать чаще. При пуске момент на валу двигателей поддерживается постоянным. Мощность, развиваемая тяговым приводом, постепенно

увеличивается до максимального значения. Затем мощность привода поддерживается на максимальном уровне и уменьшается магнитный поток двигателей. В конце регулирования с ростом частоты вращения роторов двигателей мощность, реализуемая тяговым приводом, постепенно уменьшается. Во всех режимах напряжение на конденсаторе входного фильтра имеет достаточный уровень, что обеспечивает устойчивую работу силового ШИМ-инвертора. В связи с этим процесс электрического торможения может начинаться независимо от наличия напряжения в контактной сети. Переход из режима тяги в режим торможения осуществляется путем изменения частоты работы инвертора в сторону уменьшения. При этом двигатели переходят в генераторный режим, инвертор выполняет функции управляемого выпрямителя. Для работы двигателей в режиме торможения с установленной мощностью в цепь обмоток двигателей включен тормозной резистор R_T , на котором рассеивается часть тормозной энергии в диапазоне высоких скоростей. При отсутствии в сети потребителей рекуперированная энергия через тормозной преобразователь (чоппер) поступает в тормозной резистор и рассеивается в нем.

Проезд непрекрываемых токоразделов.

Для обеспечения благоприятного протекания переходных процессов в тяговом приводе при проезде непрекрываемых токоразделов предусмотрено автоматическое выключение тягового привода по сигналу датчика сетевого тока привода. При $I_d < 30$ А привод выключается (снимаются импульсы управления с транзисторов силового инвертора). Если при проезде непрекрываемого токораздела напряжение на конденсаторе сетевого фильтра станет меньше 530 В, то линейный контактор размыкается и включается зарядный контактор. При появлении сетевого напряжения происходит заряд конденсатора фильтра до напряжения сети через зарядный контактор, последующее включение линейного контактора и автоматическое включение силового инвертора. Если напряжение на конденсаторе фильтра не успевает снизиться до 530 В, то дозаряд конденсатора происходит без зарядного резистора. Время на повторное автоматическое включение привода в тягу не превышает 2.5 сек. В режиме

электрического торможения, при отсутствии рекуперации, линейный контактор размыкается, поэтому, если до токораздела тяговый привод вошел в режим реостатного торможения, то проезд токораздела не окажет никакого влияния.

Переход из тяги в выбег.

При установке контроллера машиниста в позицию «Выбег» в соответствии с сигналами БКВУ блок управления приводом производит быстрое снижение тока двигателей с последующим снятием управляющих импульсов с силовых транзисторов МСИ. Выключение производится по специальному алгоритму, обеспечивающему эффективное снижение остаточных э.д.с. двигателей с целью возможности быстрого перехода в любой другой режим. Линейный контактор остается включенным. Режим тяги с выбега. В этом режиме вводится дополнительная функция – ограничение темпа нарастания сигнала задания напряжения на двигателях до значения, соответствующего текущей скорости движения вагона. Такой алгоритм входа в тягу призван обеспечить плавное, без рывков нарастание реализуемой мощности двигателей, особенно на высоких скоростях движения поезда.

Резервное управление.

Резервное управление осуществляется только в режиме тяги и независимо от команд управления БКВУ. В общем случае БКВУ может быть вообще выключен. После установки резервного контроллера реверса РКР в положение «Вперед» или «Назад» привод готов к отработке команд управления тягой по резервному управлению от кнопок «Ход 1» и «Ход 2».

Режим электрического торможения.

Вход и работа привода в тормозном режиме. Если с БКВУ приходит сигнал «Рекуперация отключена» линейный контактор размыкается, отключая тяговый привод от сети. За счет работы двигателей в генераторном режиме напряжение на конденсаторе Сф возрастает до величины 925 В, после чего в работу вступает тормозной чоппер, рассеивая генерируемую энергию в тормозном резисторе. Начиная со скорости движения вагона 15 км/ч до скорости 5 км/ч заданное значение напряжения на конденсаторе фильтра

линейно снижается до 600 В для улучшения формы фазных токов двигателей. При достижении минимальной скорости электрического торможения (5 км/час) тяговый привод автоматически выключается. При этом снимаются импульсы управления с транзистора чоппера и транзисторов силового инвертора, происходит заряд конденсатора фильтра до напряжения сети через зарядный контактор и последующее включение линейного контактора.

При движении вагона на высоких скоростях (более 45 км/ч)

напряжение асинхронных генераторов задается постоянным и максимально допустимым для двигателей – 650 В. При снижении скорости вагона, когда поддержать такое значение напряжения невозможно, БУТП регулирует напряжение генераторов, поддерживая постоянное значение потока статора в функции заданной уставки тока.

При торможении с максимальной скорости с заданным машинистом максимальным тормозным током двигателей («Тормоз 3», полная загрузка вагона) система регулирования начиная со скорости 55 км/ч автоматически линейно снижает величину тока задания до 260 А в точке 20 км/ч. Регулирование тока статора ТАД в тормозном режиме осуществляется силовым инвертором путем изменения скважности ШИМ управления транзисторами. Предусмотрены три тормозные позиции «Тормоз 1», «Тормоз 2», «Тормоз 3», которые в процентном отношении составляют соответственно 40, 65, 100% от максимального тока на один двигатель. Каждая уставка тока автоматически корректируется в соответствии с загрузкой вагона по сигналам БКВУ.

При истощении электрического торможения в зоне низких скоростей или при отказах в цепях электрического тормоза происходит автоматическое замещение электрического торможения пневматическим.

Если рекуперация включена, то линейный контактор остается включенным и в тормозном режиме. При этом электрическая энергия торможения передается потребителям, подключенным к контактной сети. Это системы питания собственных нужд составов, поезда находящиеся в режиме тяги, другие потребители. При рекуперативном торможении входное

напряжение привода (напряжение на конденсаторе сетевого фильтра) определяется напряжением контактной сети, и, в общем случае, оно всегда меньше напряжения 925 В, которое формируется на входе привода при реостатном торможении. Поэтому, чтобы предотвратить снижение тормозной мощности при низких напряжениях в контактной сети, в поездную систему управления заложен следующий алгоритм формирования команды управления рекуперацией:

1. При работе в тяге и выбеге в привод должна поступать команда на отключение рекуперации с тем, чтобы быстро перейти в тормозной режим реостатного торможения по команде АРС независимо от напряжения в контактной сети.

2. Если команда на торможение поступает с контроллера машиниста, то, независимо от тормозной уставки, анализируется величина напряжения в контактной сети (U_c). При этом:

- если $U_c > 750$ В в привод должна поступать команда на включение рекуперации;
- если $920 \text{ В} \leq U_c \leq 750 \text{ В}$ в привод должна поступать команда на выключение рекуперации.

При отсутствии достаточных потребителей в контактной сети или при проезде неперекрываемого токораздела входное напряжение привода повысится до величины 925 В, после чего в работу вступает тормозной чоппер, рассеивая генерируемую энергию в тормозном резисторе. При этом линейный контактор привода остается включенным. Таким образом осуществляется режим следящего рекуперативно – реостатного торможения.

Переход из торможения в выбег.

При установке контроллера машиниста в позицию «Выбег» в соответствии с сигналами БКВУ блок управления приводом производит быстрое снижение тока двигателей с последующим снятием управляющих импульсов с транзистора чоппера и силовых транзисторов МСИ. Выключение производится по специальному алгоритму, обеспечивающему эффективное

снижение остаточных э.д.с. двигателей с целью возможности быстрого перехода в любой другой режим. После выключения МСИ происходит заряд конденсатора фильтра до напряжения сети через зарядный контактор и последующее включение линейного контактора. При выходе из рекуперативного торможения привод сразу готов к включению в тягу, поскольку напряжение на конденсаторе фильтра равно сетевому напряжению и линейный контактор замкнут.