

МОДЕРНИЗАЦИЯ ГРУЗОВОГО ПАРКА ЭЛЕКТРОВЗОВ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ВЛ80^T И ВЛ80^C НА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГАХ УКРАИНЫ

Коротко викладається зміст технічного проекту на модернізацію електровозів ВЛ80^T і ВЛ80^C на плавне тиристорне регулювання напруги на тягових двигунах з єдиною системою автоматичного керування.

Кратко излагается содержание технического проекта на модернизацию электровозов ВЛ80^T и ВЛ80^C на плавное тиристорное регулирование напряжения на тяговых двигателях с единой системой автоматического управления.

The article provides brief description of a technical project for reequipping the electric locomotives VL80T and VL80S with smooth thyristor adjusters of tractive motors with the single automatic control system.

На електрифікованих залізних дорогах України експлуатується більше трістот п'ятидесяти грузових електровозів переменного току серій ВЛ80^T і ВЛ80^C. Все ці електровози со ступенчатим контактним регулюванням напруги на тягових двигачах морально і технічно устаріли і на 60...70 % виработали свій ресурс.

Пора обновить грузовой парк электровозами с бесконтактным плавным регулированием напряжения на тяговых двигателях в режимах тяги и реостатного торможения с единой системой автоматического регулирования.

Кафедра ЭПС ДИИТа разработала технический проект на модернизацию электровозов ВЛ80^T и ВЛ80^C, согласно которому в силовой

схеме потребуется произвести относительно простые пересоединения для осуществления четырехзонного плавного регулирования напряжения на тяговых двигателях без изменения конструкции трансформатора, в цепи управления установить блок автоматического управления и блок управления полупроводниковым тиристорным преобразователем.

1. Модернизированная принципиальная схема электровозов ВЛ80^T и ВЛ80^C

На рис. 1 представлена модернизированная принципиальная схема электровозов ВЛ80^T и ВЛ80^C.

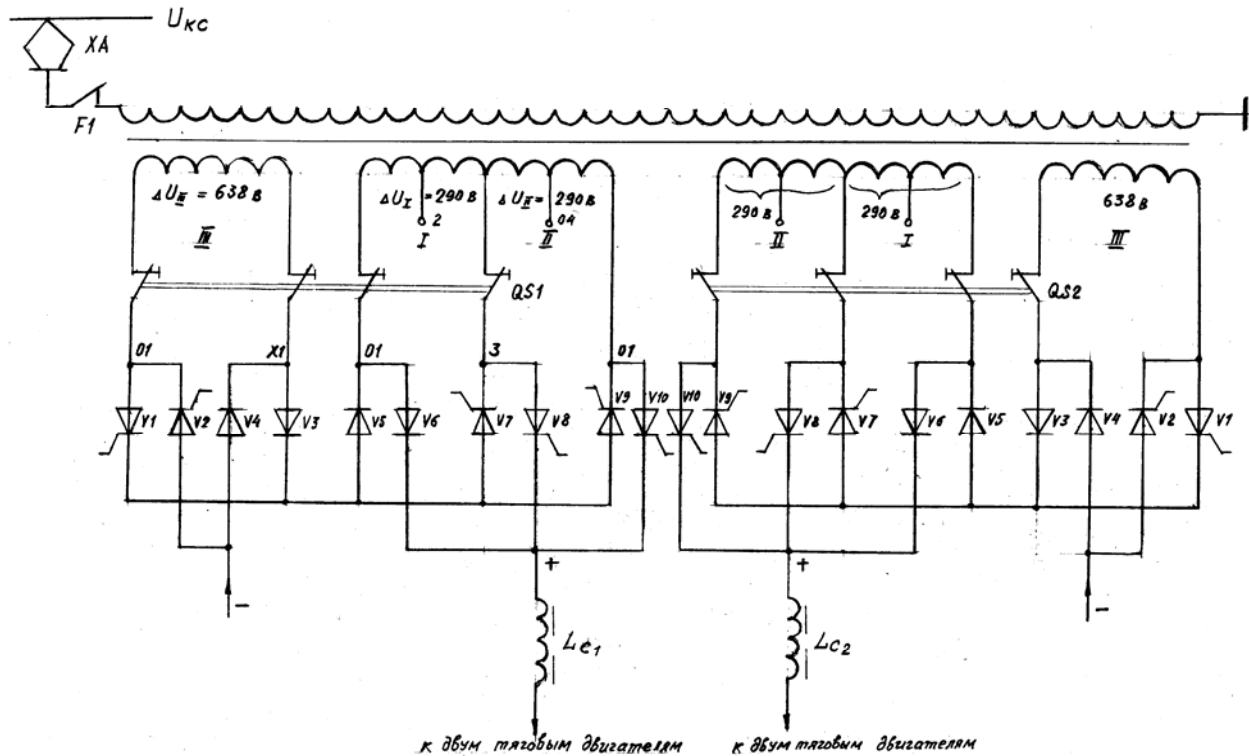


Рис. 1. Принципиальная модернизированная силовая схема электровозов ВЛ80^T и ВЛ80^C

При этом производятся следующие пересоединения во вторичной обмотке трансформатора:

1. Выводы вторичной обмотки трансформатора 2, 4, 8, 6 – не используются, т. е. остаются свободными и изолируются.

2. Произвести соединения выводов x_1 с 1 и x_2 с 5. Выводы трансформатора 02, 7, 5, a_2 соединить с тиристорной управляемой выпрямительной установкой для осуществления плавного регулирования напряжения U_d на тяговых двигателях 3 и 4. Аналогично выводы трансформатора 01, 3, 1, a_1 соединить с другой управляемой выпрямительной установкой согласно рис. 1 для осуществления плавного регулирования напряжения на тяговых двигателях 1 и 2. Плавное регулирование напряжения на тяговых двигателях производится аналогично схеме регулирования на электровозах ВЛ85, правда при более простом алгоритме управления тиристорами.

Несмотря на то, что на третьей секции вторичной обмотки трансформатора напряжение больше суммы двух других на 58 В, это не будет иметь существенного значения во время перехода на «равновеликую» по напряжению третью секцию,

так как при наличии системы автоматического управления ток в двигателях будет поддерживаться не изменяемым, т. е. таким, который был задан машинистом на контроллере машиниста.

Рассмотрим принцип плавного регулирования напряжения на тяговых двигателях от преобразователя по схеме (см. рис. 1).

Вначале плавное регулирование напряжения осуществляется от первой секции вторичной обмотки трансформатора. Предположим, что э. д. с. во вторичной обмотке трансформатора (рис. 2) направлена и действует слева направо и при $\omega t = \beta_1$ открывается тиристор v_8 , тогда напряжение поступает на тяговые двигатели от части полусинусоиды. Ток протекает по цепи тяговых двигателей и на их индуктивностях происходит накопление электромагнитной энергии. Во второй полупериод, когда $\omega t < \pi + \beta_1$ тиристор v_7 закрыт и напряжение на тяговые двигатели не поступает. Однако ток в цепи двигателей поддерживается за счет накопленной электромагнитной энергии на индуктивностях тяговых двигателей и протекает через диоды IV, III, V, VI. При этом ток в цепи тяговых двигателей несколько уменьшается за счет потери энергии на сопротивлениях и на диодах.

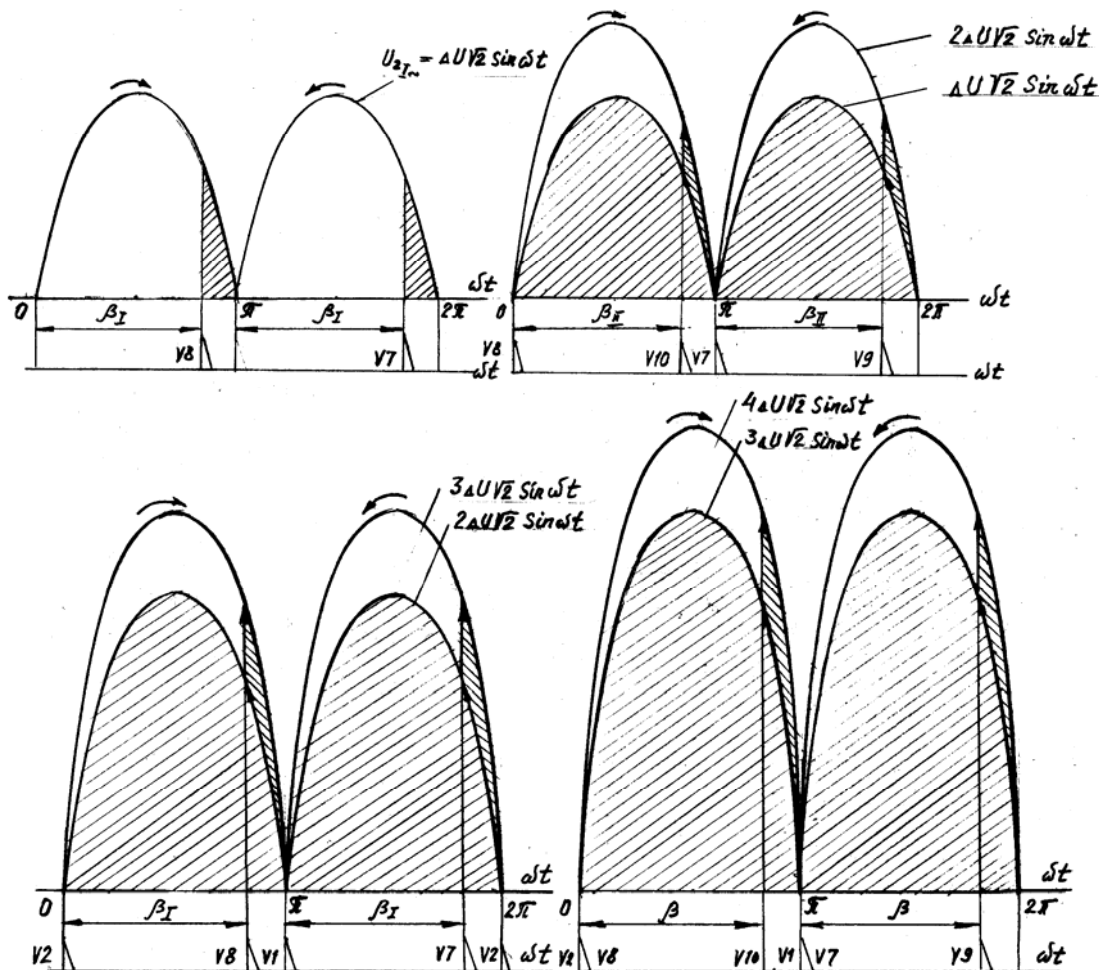


Рис. 2. Диаграммы напряжений и углы открытия тиристоров

При $\omega t = \pi + \beta_1$ открывается тиристор $v7$ и напряжение от первой секции вторичной обмотки трансформатора скачком увеличивается и поступает в цепь тяговых двигателей. При этом ток в цепи тяговых двигателей увеличивается и вновь дополнительно происходит накопление электромагнитной энергии на их индуктивностях. При $\omega t > 2\pi$ изменяется направление напряжения во вторичной обмотке трансформатора, но тиристор $v8$ закрыт. Поэтому напряжение на тяговые двигатели не поступает, но ток поддерживается за счет накопленной электромагнитной энергии на индуктивностях и проходит через диоды IV, III, V, VI, сглаживающий реактор, тяговые двигатели. При $\omega t = 2\pi + \beta_1$ вновь открывается тиристор $v8$ и далее процесс повторяется.

Для повышения напряжения на тяговых двигателях по мере увеличения скорости движения, чтобы поддерживать во время пуска неизменным пусковой ток, автоматика плавно увеличивает угол регулирования β_1 $180 \dots 0^\circ$ и, следовательно, среднее напряжение на тяговых двигателях увеличивается $0 \dots 0,9\Delta U_1$, где ΔU_1 – действующее напряжение первой секции вторичной обмотки трансформатора. При $\omega t = \beta_1 = 0^\circ$ тиристоры VII и VIII работают как диоды, так как постоянно открываются в начале каждого полупериода. Для дальнейшего повышения напряжения на тяговых двигателях вступает в работу вторая секция II вторичной обмотки трансформатора (рис.2, б).

При $\omega t = 0^\circ$ открыт тиристор $v8$ и напряжение на тяговые двигатели поступает от первой секции вторичной обмотки трансформатора, а при $\omega t = \beta_{II}$ открывается тиристор $v10$ и к напряжению первой секции прибавляется часть

напряжения от второй секции вторичной обмотки трансформатора. Поэтому среднее напряжение на тяговых двигателях увеличивается. Аналогично во второй полупериод при $\omega t = \pi + \beta_{II}$ открывается тиристор $v9$ и к напряжению первой секции прибавляется напряжение от части полусинусоиды второй секции трансформатора. Изменяя угол регулирования β_{II} от 180° до 0° , напряжение на тяговых двигателях увеличивается $0,9 \dots 2 \cdot 0,9\Delta U$. При $\omega t = \beta_{II} = 0^\circ$ тиристоры $v10$ и $v9$ работают как диоды. Для дальнейшего повышения напряжения (см. рис. 2, в) автоматически происходит переход с напряжения двух секций вторичной обмотки трансформатора на третью, почти равновеликую по напряжению секцию, посредством постепенного закрытия тиристоров $v10$ и $v9$ и постепенного открытия тиристоров $v1$ и $v2$ под контролем тока. При $\beta_{III} = 0^\circ$ тиристоры $v1$ и $v2$ работают как диоды (соответственно в разные полупериоды).

Затем к напряжению III секции вторичной обмотки трансформатора постепенно будет прибавляться напряжение первой секции путем уменьшения угла регулирования β_1 $180 \dots 0^\circ$ и среднее напряжение на тяговых двигателях увеличится $2 \cdot 0,9 \dots 3 \cdot 0,9\Delta U$.

Аналогично происходит увеличение напряжения при регулировании напряжения второй секции вторичной обмотки трансформатора посредством изменения угла регулирования β_{II} $180 \dots 0^\circ$ (см. рис. 2, з) и напряжение на тяговых двигателях постепенно увеличится $3 \cdot 0,9 \dots 4 \cdot 0,9\Delta U$.

На рис. 3 показаны диаграммы выходных напряжений на тяговых двигателях по зонам регулирования и их скоростные характеристики.

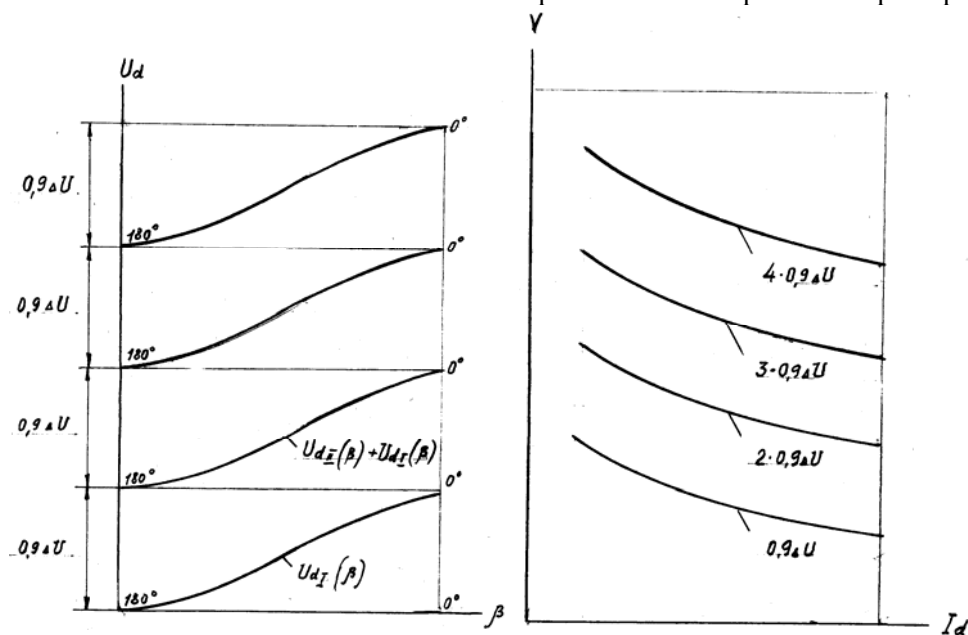


Рис. 3. Диаграммы выходных напряжений по зонам регулирования и скоростные характеристики

Полная модернизированная схема силовой цепи тяговых двигателей электровозов ВЛ80^T и ВЛ80^C представлена на рис. 4.

2. Система автоматического управления (САУ) в режиме тяги на электровозах ВЛ80^T и ВЛ80^C

На рис. 5 представлена функциональная схема САУ в режиме тяги.

Функциональная схема САУ в режиме тяги представляет собой два замкнутых контура регулирования, а именно: контур регулирования тока якоря (внутренний) и контур регулирования скорости движения (внешний); а также включает в себя токовую защиту путем снятия импульсов управления управляемого выпрямителя.

Оба контура регулирования состоят: из задающего (задатчика тока якоря ЗТ – сельсин и задатчик скорости ЗС – другой сельсин) контроллера машиниста КМ; блока автоматического управления БАУ (элемент «ИЛИ – min»), регулятор скорости РС, блок выделения минимальной скорости БДС, задатчик интенсивности ЗИ, ограничитель максимального тока «Огр. $I_{я}$ », регулятора тока якоря РТЯ, согласующий элемент СЭ, блоки выделения избыточного скольжения БВС и защиты от боксования БЗ; блока управления БУУВ; управляемого выпрямителя УВ; тягового трансформатора Т, тягового электродвигателя ТД; звеньев обратной связи – датчика тока ДТЯ и датчика скорости ТГС совместно с блоками измерений БИ-1 и БИ-2. Токовая защита состоит из блоков токовой защиты БТЗ и промежуточных реле БПР.

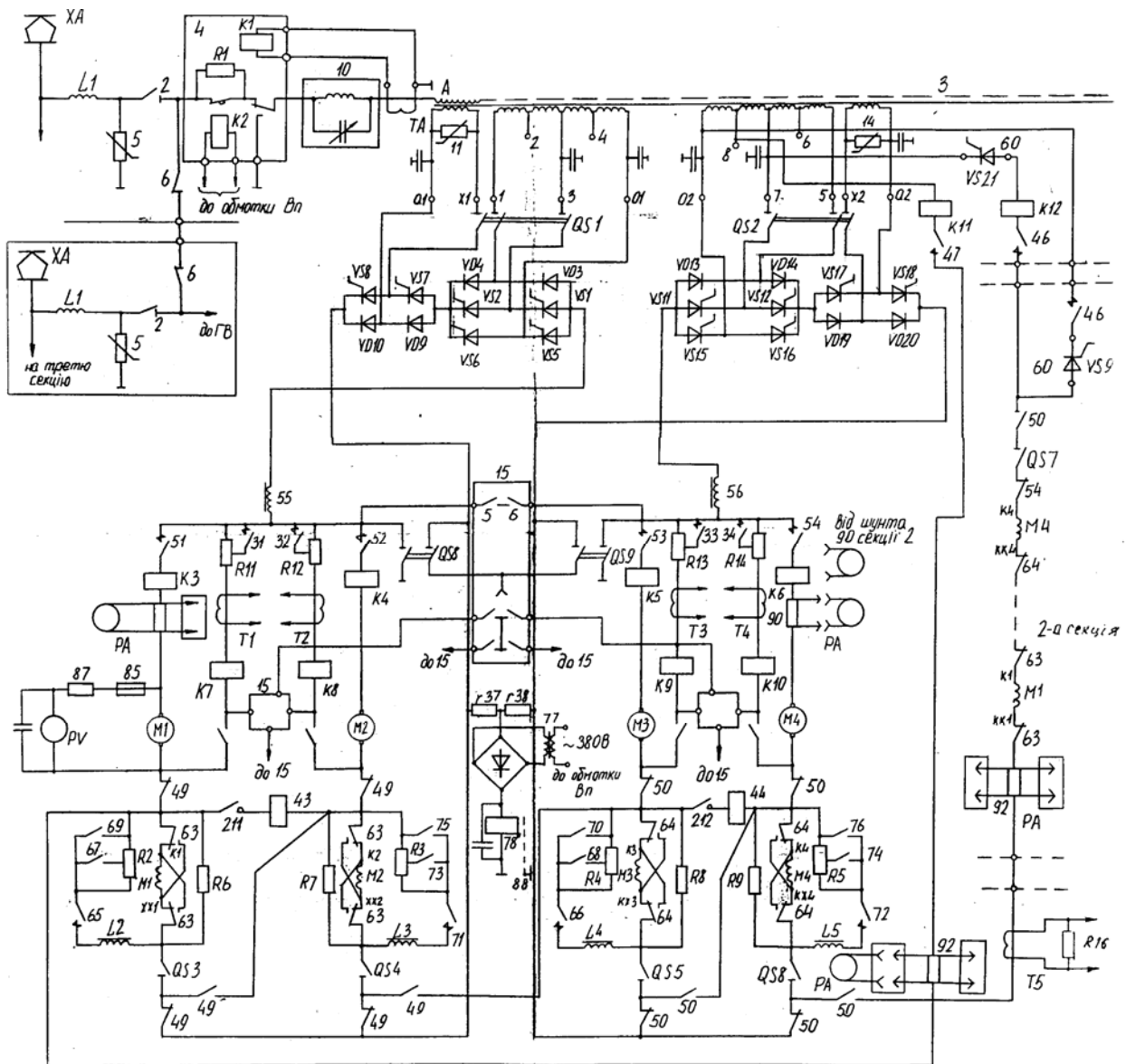


Рис. 4. Силовая схема модернизированного электровоза ВЛ80^T (ВЛ80^C)

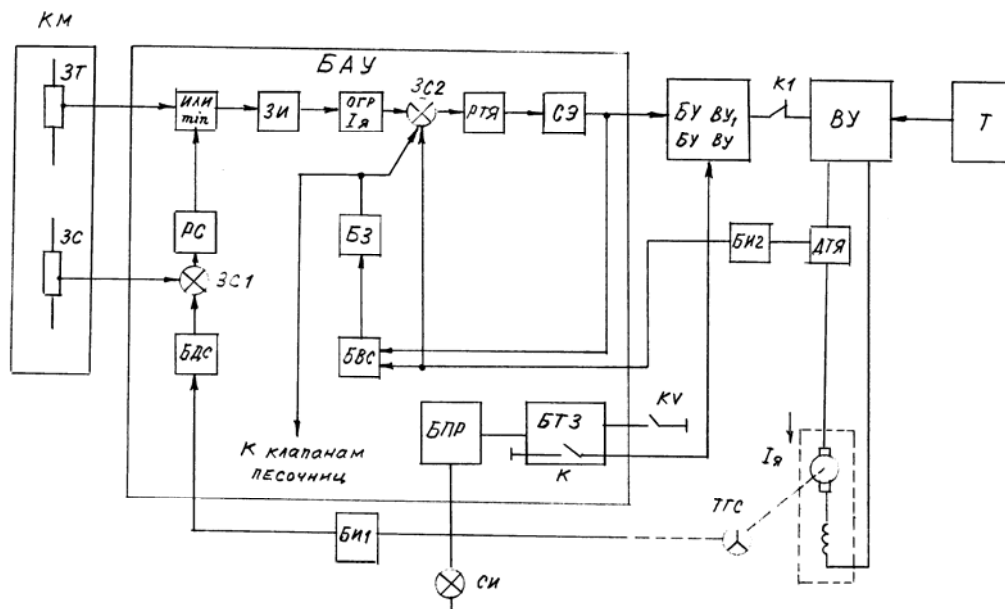


Рис. 5. Функциональная схема САУ в режиме тяги на ВЛ80^Т и ВЛ80^С

Контур регулирования тока якоря тяговых электродвигателей работает по принципу стабилизации тока; точнее незначительное уменьшение тока при увеличении скорости движения. При пуске постоянное напряжение 0...50 В с контроллера машиниста КМ поступает в качестве заданных значений тока якоря и скорости движения в блок БАУ.

Напряжения пропорциональны соответственно току якоря 0... I_{\max} и скорости движения 0...110 км/ч.

Задание тока якоря в блоке БАУ поступает на один из входов элемента «ИЛИ-min», на другой вход подается сигнал с выхода регулятора РС, который выполняет функции автоматического задатчика тока якоря для контура тока. На вход элемента «ИЛИ-min» будет проходить наименьшее значение из этих двух сигналов, которое поступает на вход задатчика интенсивности ЗИ. Задатчик интенсивности преобразует входной сигнал с элемента «ИЛИ-min» в линейно-зависимый от времени выходной, т. е. обеспечивает плавное нарастание (с заданной интенсивностью) тока якорей тяговых электродвигателей до заданной величины. Напряжение, пропорциональное заданному значению тока якорей тяговых двигателей, с задатчика интенсивности ЗИ поступает на вход ограничителя тока якорей, который ограничивает ток на уровне I_{\max} . Задание тока якоря с выхода ограничителя поступает на элемент сравнения ЭС2, где сравнивается с сигналом, соответствующим значению максимального тока, поступающим с блока измерений БИ-2.

Блоки измерений БИ-2 совместно с датчиками тока ДТЯ формируют напряжения, про-

порциональные токам якорей тяговых электродвигателей и выделяют напряжение, пропорциональное току наиболее загруженного тягового электродвигателя.

Таким образом, поддержание заданного значения тока якоря ведется по наиболее загруженному тяговому электродвигателю.

Сигнал рассогласования между заданным и фактическим значениями тока с выхода ЭС-2 поступает на регулятор тока якоря РТЯ, выходной сигнал которого является управляющим и через согласующий элемент СЭ поступает к БУУВ.

Согласующий элемент СЭ предназначен для согласования уровней выходного сигнала БАУ и уровней входного сигнала БУУВ по каналу управления УВ (а ВУВ в режиме реостатного торможения). Выходное напряжение БАУ изменяется в пределах от 0 до 50 В по каналу УВ (и от 0 до 10 В по каналу ВУВ).

Блок БУУВ предназначен для управления УВ, обеспечивая при этом плавное зонное регулирование напряжения на тяговых электродвигателях в режиме тяги, а также для управления выпрямительной установкой возбуждения в режиме реостатного торможения.

При спуске, когда заданное значение скорости выше, чем фактическое, на выход элемента «ИЛИ-min» будет проходить сигнал заданного значения тока якорей. При этом регулятор РТЯ будет поддерживать ток якорей тяговых электродвигателей на заданном уровне, т.е. обеспечивает разгон электровоза с заданным значением токов якорей тяговых электродвигателей до заданной скорости.

В контуре регулирования скорости на регулятор скорости РС поступает сигнал с элемента

сравнения ЭС1, на котором сравниваются заданное значение скорости, поступающее с датчика скорости ЗС, и реальное значение скорости, поступающее с датчиков скорости ТГС через блоки измерений БИ-1 к блоку датчиков скорости БДС.

В качестве датчиков скорости используются трехфазные синхронные тахогенераторы ТГС, которые установлены на каждой тележке электровоза. Блок измерения БИ-1 предназначен для выпрямления напряжения, поступающего с датчиков скорости. Выпрямленное напряжение, пропорциональное частоте вращения колесных пар, поступает в БАУ на блок датчиков скорости БДС.

Блок БДС предназначен для сглаживания выпрямленного напряжения, поступающего с БИ-1, и выделения напряжения, соответствующего минимальной в режиме тяги и максимальной в режиме реостатного торможения частоте вращения колесных пар.

Таким образом, в режиме тяги поддержание заданного значения скорости движения ведется по минимальному фактическому значению частоты вращения колесных пар, так как частота вращения колесной пары, у которой произошел срыв сцепления, будет выше, чем у нормально сцепленной колесной пары.

Регулятор РС по рассогласованию заданного и фактического значений скорости вырабатывает сигнал, пропорциональный заданному значению тока якоря, для поддержания скорости движения состава в соответствии с заданным значением.

При разгоне, когда фактическое значение скорости будет приближаться к заданному, сигнал с выхода регулятора РС начнет уменьшаться и после того, как его величина станет меньше, чем заданное значение тока якоря, он будет определять величину тока якорей тяговых электродвигателей.

При скорости электровоза, равной заданному значению, сигнал с выхода регулятора РС будет равен нулю. Это приведет к тому, что на выходе элемента «ИЛИ-min» будет отсутствовать задание тока якоря, и САУ зарегулирует ток до нуля.

В процессе пуска и разгона электровоза может возникать боксование как отдельных колесных пар, так и синхронное. Для защиты от боксования колесных пар в САУ предусмотрено устройство выявления избыточного скольжения (блок БВС), работа которого основана на сравнении интенсивностей приращения активной мощности, подведенной к тяговым электродвигателям, и частоты вращения колесных пар. Информацию о подведенной мощности несут: сигнал с выхода СЭ и датчики тока ДТЯ, а о частоте вращения – тахогенераторы ТГС. Сигнал с выхода блока БВС поступает непо-

средственно на исполнительный элемент (блок БЗ), который воздействует по двум каналам: первый – включение клапанов песочниц, второй – уменьшение заданного значения тока якорей тяговых электродвигателей.

При срыве в боксование колесных пар вначале работает канал подачи песка (как безынерционный), а если восстановления сцепления колесной пары с рельсами не происходит, то в работу вступает канал по току. Уменьшение заданного значения тока якорей тяговых электродвигателей происходит на величину, пропорциональную скорости избыточного скольжения колесных пар до восстановления сцепления. После восстановления сцепления САУ плавно увеличивает ток якорей тяговых электродвигателей до заданного значения, которое предшествовало боксованию. При срабатывании защиты от боксования на пульте машиниста загорается сигнальная лампа.

Блок БТЗ предназначен для защиты тяговых электродвигателей от аварийных токов в режиме тяги путем запрета на прохождение импульсов управления с БУУВ на все ВУ электровоза и управления промежуточным реле в блоке БПР, включающим сигнальную лампу «СИ» на пульте машиниста. Входное напряжение с блока измерения БИ-2 поступает на блок БТЗ, где сравнивается с опорным напряжением, определяющим уставку срабатывания токовой защиты. В исходном состоянии, когда опорное напряжение выше, чем напряжение с блока БИ-2, контакт «К» в блоке БТЗ разомкнут и с выхода БУУВ на УВ подаются импульсы управления согласно алгоритму работы БУУВ. При протекании аварийных токов в цепи тяговых электродвигателей с блока измерений БИ-2 на блок БТЗ будет поступать сигнал, уровень которого выше, чем опорное напряжение. Это приведет к срабатыванию реле в блоке БТЗ. Блок БТЗ даст команду через замкнутый контакт «К» на запрет прохождения импульсов управления с БУУВ, а также создаст цепь питания промежуточного реле в блоке БПР и через его контакты питание лампы «СИ».

3. Система автоматического управления в режиме реостатного торможения на электровозах ВЛ80^Т и ВЛ80^С

На рис. 6 представлена функциональная схема САУ в режиме реостатного торможения.

Функциональная схема САУ в режиме реостатного торможения представляет собой три замкнутых контура регулирования, а именно: контур регулирования тока возбуждения, контур регулирования силы (мощности) торможения и контур регулирования скорости движения.

вает плавное нарастание силы (мощности) торможения (с заданной интенсивностью) во всех режимах реостатного торможения.

Напряжение, пропорциональное заданному значению тока якорей тяговых двигателей, с выхода задатчика интенсивности ЗИ поступает на вход ограничителя «Огр. $I_{Я}$ », который ограничивает ток якоря на уровне $I_{Ч}$. Задание тока якоря с ограничителя «Огр. $I_{Я}$ » поступает на элемент сравнения ЭС2, где сравнивается с сигналом, соответствующим фактическому значению максимального тока якоря, поступающего с блока измерений БИ-2. Назначение блока измерений БИ-2 совместно с датчиками тока ДТЯ описано ранее.

Сигнал рассогласования между заданным и фактическим значениями тока якоря поступает на вход регулятора силы торможения РСТ.

Сигнал с выхода регулятора РСТ в качестве заданного значения тока возбуждения поступает на вход ограничителя «Огр. $I_{В}$ », который ограничивает ток возбуждения тяговых электродвигателей на уровне $I_{В(ЧАС)}$. С выхода ограничителя «Огр. $I_{В}$ » сигнал 0...4 В поступает на вход элемента ЭС3, где сравнивается с сигналом, соответствующим фактическому значению тока возбуждения, поступающим с блока измерений БИ-2. Сигнал, соответствующий фактическому току возбуждения тяговых электродвигателей формируется блоком измерений БИ-2 совместно с датчиком тока возбуждения ДТВ.

Сигнал рассогласования между заданным и фактическим значениями тока возбуждения поступает на вход регулятора тока возбуждения РТВ, выходной сигнал которого через согласующий элемент СЭ и блок БУУВ (канал ВУВ) управляет выпрямительной установкой возбуждения ВУВ.

При торможении, когда фактическая скорость движения на спуске станет равной или меньше заданного значения, вступает в работу внешний контур регулирования скорости. В контуре регулирования скорости движения на регулятор скорости РС поступает сигнал с элемента сравнения ЭС1, в котором сравнивается заданное, поступающее с задатчика скорости ЗС и фактическое значение скорости, поступающее с датчиков скорости ТГС через блоки измерений БИ-1 и БДС (блока датчиков скорости). Поддержание заданного значения скорости движения на спуске ведется по максимальному фактическому значению частоты вращения колесных пар, так как частота вращения колесной пары, у которой произошел срыв сцепления, будет ниже, чем у нормальной сцепленной колесной пары. По рассогласованию заданного и фактического значения скорости движения на спуске регулятор РС вырабатывает сиг-

нал, пропорциональный заданному значению тока якоря, для поддержания этой скорости.

Канал ограничения максимальной силы торможения по условиям коммутации тяговых электродвигателей работает при высоких скоростях движения от 110 до 60 км/ч, если нарушится соотношение $I_{В} \geq \beta_{\min} I_{Я}$.

Если это соотношение токов якорей и возбуждения тяговых электродвигателей превышает $1/\beta_{\min}$, то с блока «Огр. СТ» поступает сигнал, который меньше сигнала с задатчика тока ЗТ или с регулятора скорости РС, в блоке «ИЛИ-min» и является задающим током якоря. Ток якоря уменьшается, но уменьшается и ток возбуждения тяговых электродвигателей. Однако уменьшение тока якоря происходит в большей степени, нежели ток возбуждения; поэтому соотношение $I_{В}/I_{Я} > 1/\beta_{\min}$ и действие блока «Огр. СТ» прекращается.

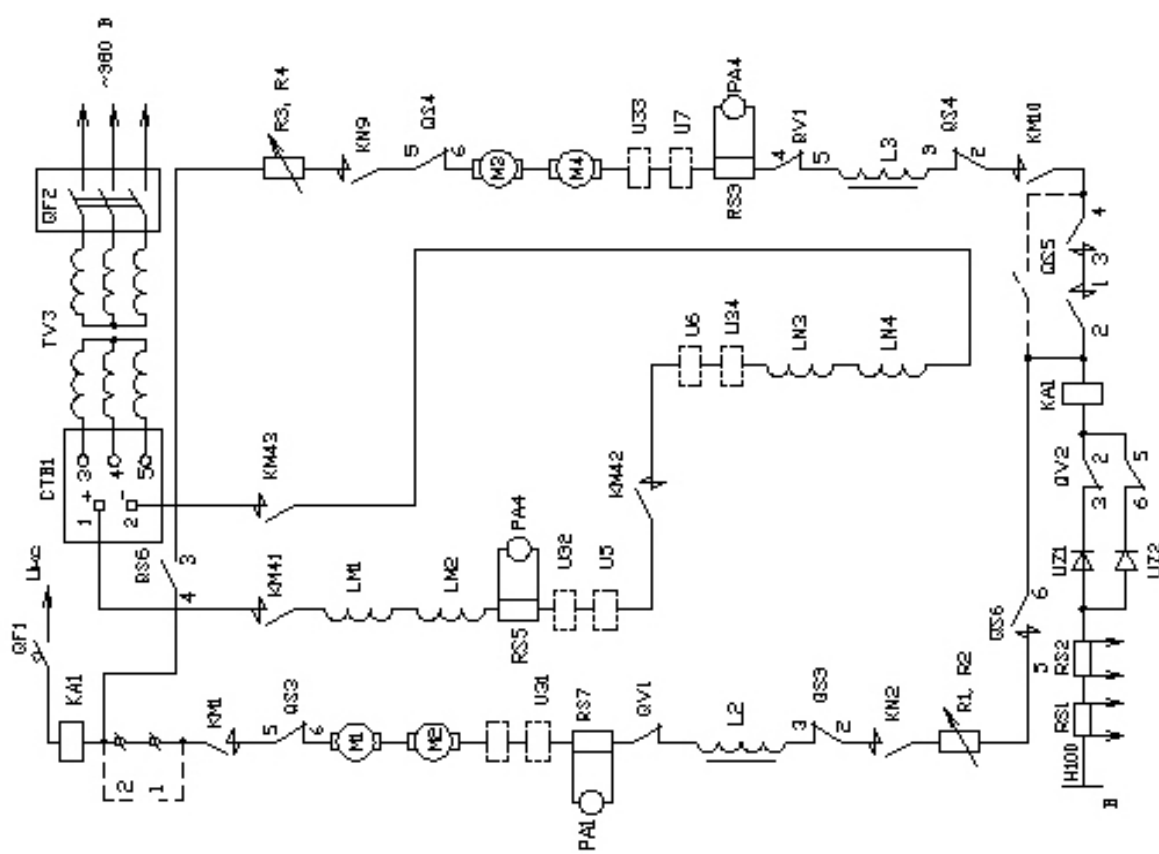
Режим реостатного торможения начинается с предварительного торможения, а САУ, в зависимости от скорости движения на спуске, стремится поддержать заданную величину силы торможения на уровне 6...8 тс.

Для защиты от юза колесных пар в режиме реостатного торможения в САУ предусмотрено устройство выявления избыточного скольжения (блок БВС) и исполнительный элемент (блок БЗ), принцип работы которого описан ранее.

Как в режиме тяги, защита от юза должна воздействовать по каналам: канал включения клапанов песочниц и канал уменьшения тока якорей тяговых электродвигателей до восстановления сцепления. При восстановлении сцепления САУ плавно увеличивает ток якорей тяговых электродвигателей до заданного значения, которое предшествовало юзу. При срабатывании защиты от юза на пульте машиниста должна загореться сигнальная лампа.

При модернизации грузовых электропоездов ВЛ80^Т и ВЛ80^С вместо выпрямительных установок потребуется поставить управляемые выпрямительные установки, которые как показали расчеты, размещаются в тех же габаритах. Необходимо будет изменить контроллер машиниста и соответственно систему управления, выполнить ее аналогично электропоезду ВЛ85.

Механическое и значительное большинство электрического оборудования практически совпадают. В результате модернизации мы получим силовую схему и систему управления как и на электропоезде ВЛ85, но с реостатным торможением и единой системой автоматического регулирования. Надежность силовой схемы и узлов системы автоматического управления на предлагаемых к модернизации электропоездах ВЛ80^Т и ВЛ80^С фактически подтверждена эксплуатацией электропоездов ВЛ85.



Расчетная схема рекуперативного торможения на электровозе ДЭ1 на параллельном соединении

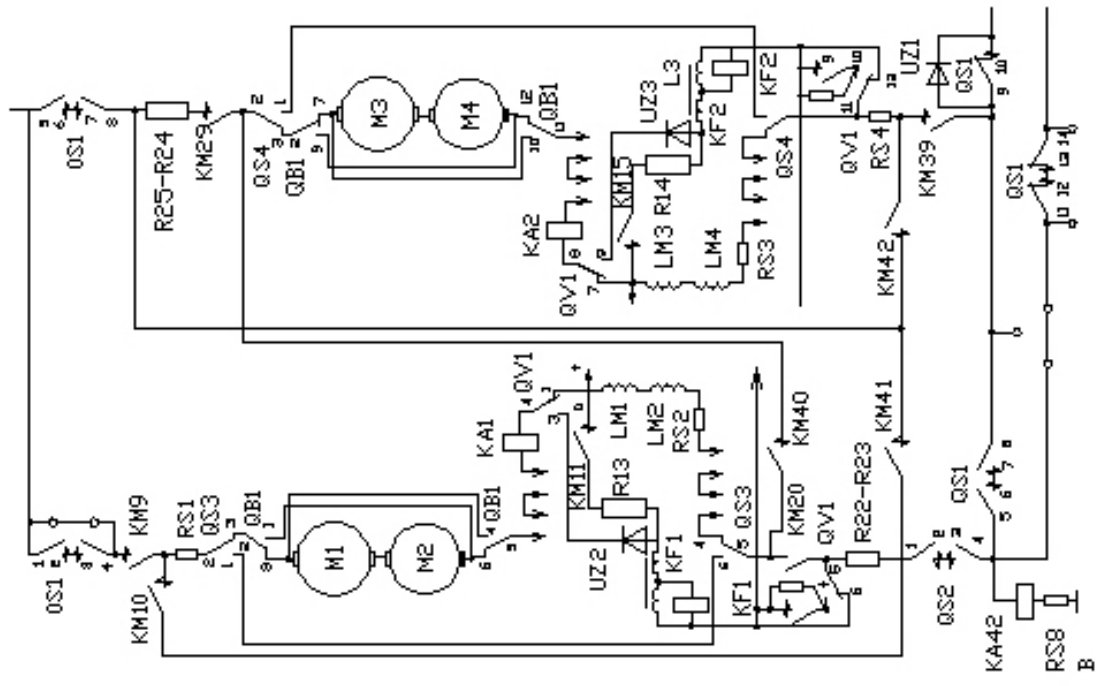


Схема одной секции электровоза ДЭ1 при рекуперативном торможении на параллельном соединении тяговых двигателей с применением быстродействующего контактора

Модернизированные электровозы ВЛ80^{ТМ} и ВЛ80^{СМ} позволяют получить лучшие показатели и преимущества.

Устраняются групповые переключатели типа ЭКГ-8Ж весом 960 кг и два переходных реактора ПРА-48 общим весом 900 кг, облегчается ремонт и уменьшаются затраты на обслуживание электровоза в эксплуатации.

При плавном бесконтактном автоматическом тиристорном регулировании силы тяги увеличивается масса поезда при ограничении ее по сцеплению на 200...400 т [3], повышается скорость движения на 12 %, уменьшается удельный расход электроэнергии на 14 % [4].

Повышается надежность работы тяговых двигателей НБ-418К6 из-за отсутствия толчков тока при регулировании напряжения, особенно при несимметрии фаз, и улучшаются потенциальные условия на коллекторе при их работе.

Как показали расчеты – экономический эффект от модернизации одного электровоза ВЛ80^Т (ВЛ80^С) составит около 85 тыс. грн в год, а окупаемость составит 2,7 года.

По мере освоения электровозов двойного питания с асинхронными тяговыми двигателями можно вполне обновить грузовой парк существ-

ующих электровозов ВЛ80^Т (ВЛ80^С) по выше изложенным разработкам кафедры ЭПС ДИИТа.

Заключение

Модернизированная схема силовой цепи электровозов ВЛ80^Т и ВЛ80^С для осуществления плавного тиристорного автоматического регулирования скорости в режимах тяги и реостатного торможения с единой системой автоматического регулирования напряжения на тяговых двигателях рекомендуется к внедрению в заводских условиях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тихменев Б. Н. Подвижной состав электрифицированных железных дорог / Б. Н. Тихменев, Л. М. Трахтман. – М.: Транспорт, 1980.
2. Бочаров В. И. Магистральные электровозы / В. И. Бочаров и др. – М.: Энергоатомиздат, 1994.
3. Тихменев Б. Н. Электровозы переменного тока с тиристорными преобразователями / Б. Н. Тихменев, В. А. Кучумов. – М.: Транспорт, 1988.
4. Пыров А. Е. Электрические схемы электровоза ВЛ40^П / А. Е. Пыров, А. М. Хотимский. // Локомотив. 2004. – № 7.

Поступила в редколлегию 20.04.2005.