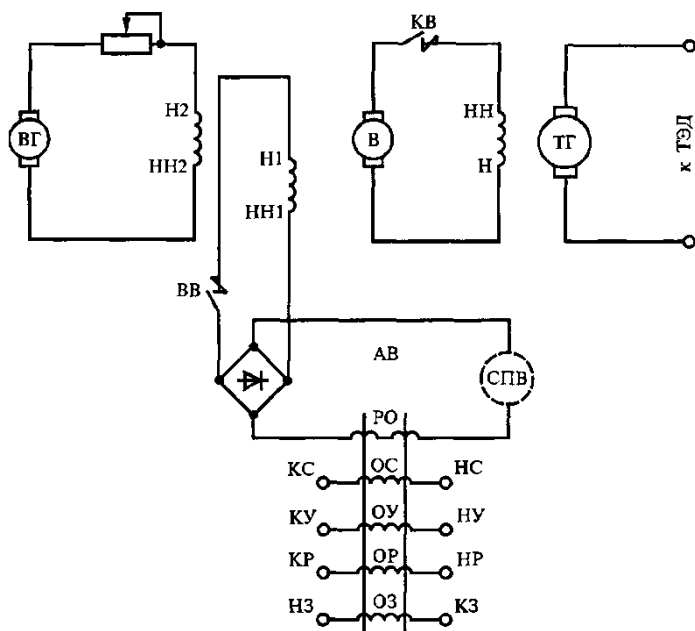


«Работа цепей возбуждения тепловоза и дизель-поезда»

Оборудование: электрическая схема тепловоза 2ТЭ116 (восьмой вариант).

Схема автоматического регулирования тяговой передачи тепловоза М62. На всех эксплуатируемых ныне магистральных тепловозах с передачей постоянно-постоянного тока (М62, 2М62, 3М62 всех индексов, 2ТЭ10М, 2ТЭ10У) применяется более современная схема автоматического регулирования тяговой передачи (рис. 1), чем схема тепловозов ТЭМ2 и ЧМЭЗ.

На нерасщепленных полюсах статора возбудителя уложены две обмотки: размагничивающая, получающая питание от вспомогательного генератора, напряжение которого поддерживается постоянным (75 В), и обмотка независимого возбуждения, получающая питание через выпрямительный мост от генератора переменного тока - синхронного подвозбудителя (СПВ).



ВГ - вспомогательный генератор; В - возбудитель; ТГ - тяговый генератор; ТЭД - тяговый электродвигатель; КВ - контактор возбудителя; ВВ - контактор возбуждения возбудителя; СПВ - синхронный подвозбудитель; АВ - амплистат возбуждения; Н-НН - обмотка возбуждения тягового генератора; Н1-НН1 - обмотка независимого возбуждения; Н2-НН2 - размагничивающая обмотка; 03, ОР, ОУ, ОС, РО - соответственно задающая, размагничивающая, управляющая, стабилизирующая и рабочая

обмотки амплитата возбуждения; НЗ, КЗ - начало и конец задающей обмотки; НР, КР - начало и конец размагничивающей обмотки; НУ, КУ - начало и конец управляющей обмотки; НС, КС - начало и конец стабилизирующей обмотки.

В цепь обмотки независимого возбуждения до выпрямительного моста введена рабочая обмотка амплитата возбуждения (АВ) - магнитного усилителя дроссельного типа, на сердечнике которого кроме рабочей, уложены четыре подмагничивающие обмотки. При пропускании по ним электрического тока магнитная система амплитата насыщается, индуктивное сопротивление рабочей обмотки снижается и сила тока в ее цепи, а следовательно, и сила тока в обмотке независимого возбуждения возбудителя возрастают. Магнитный поток, создаваемый размагничивающей обмоткой, противоположен магнитному потоку, создаваемому обмоткой независимого возбуждения, и слабее его.

Такая схема возбуждения возбудителя позволяет изменять его напряжение от нуля до максимальной величины. Без размагничивающей обмотки невозможно было бы получить напряжение возбудителя, близкое к нулю, ввиду остаточной намагниченности полюсов его статора. Иными словами, размагничивающая обмотка нейтрализует поток остаточного магнетизма.

Поддержание постоянной мощности ТГ, ограничение его максимальных силы тока и напряжения, изменение мощности ТГ с ростом частоты вращения коленчатого вала дизеля, устойчивость работы системы регулирования при переходных процессах (при изменении частоты вращения коленчатого вала или нагрузки дизеля) обеспечиваются воздействием подмагничивающих обмоток амплитата возбуждения. Рассмотрим подробнее работу каждой из них.

По задающей обмотке (ОЗ) протекает ток, сила которого пропорциональна частоте вращения коленчатого вала дизеля. Таким образом, эта обмотка обеспечивает рост тока возбуждения, а следовательно, и мощности ТГ при наборе позиций контроллера машиниста.

Обмотка получает питание от тахометрического блока (рис. 2), состоящего из двух трансформаторов - рабочего (ТР1) и компенсирующего (ТР2), выпрямительного моста и сглаживающего фильтра (дроссель и конденсатор). Блок подключен к синхронному подвозбудителю СПВ.

Сердечник рабочего трансформатора выполнен из магнитомягкого легконасыщаемого материала. Таким образом, уже при незначительной силе тока в первичной обмотке происходит насыщение сердечника. Поскольку в зоне насыщения величина магнитного потока почти не зависит от силы тока в обмотке, то при пропускании через первичную обмотку синусоидального напряжения амплитуда магнитного потока почти не зависит от амплитуды силы тока в первичной обмотке.

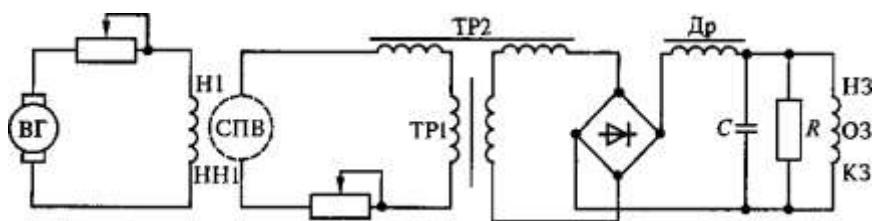


Рисунок 2 - Упрощенная схема подключения задающей обмотки амплитата возбуждения тепловоза М62:

ВГ- вспомогательный генератор; СПВ - синхронный подвозбудитель; С - конденсатор; R - резистор; ОЗ - задающая обмотка амплитата возбуждения; H3, K3 - начало и конец задающей обмотки; ТР1 - рабочий трансформатор; ТР2 - компенсирующий трансформатор; Др - дроссель; H1-HH1 - обмотка независимого возбуждения.

Амплитуда ЭДС, наводимой во вторичной обмотке, пропорциональна скорости изменения магнитного потока, т. е. амплитуде магнитного потока и частоте его изменения, которая равна частоте напряжения, приложенного к первичной обмотке, т. е. частоте вращения ротора подвозбудителя и коленчатого вала дизеля.

Таким образом, во вторичной обмотке рабочего трансформатора наводится ЭДС, амплитуда которой, пропорциональная частоте вращения коленчатого вала дизеля, лишь незначительно увеличивается с ростом амплитуды силы тока в первичной обмотке. Последняя зависимость обусловлена не идеальностью магнитной характеристики сердечника: даже при насыщении величина магнитного потока несколько увеличивается с ростом силы тока в обмотке.

Этот недостаток устраняется введением в схему компенсирующего трансформатора с обычным магнитомягким сердечником. ЭДС вторичной обмотки этого трансформатора прямо пропорциональна силе тока в первичной. Поскольку вторичные обмотки рабочего и компенсирующего трансформаторов включены в цепь встречно, при изменении силы тока в первичных обмотках изменения ЭДС во вторичных противоположны и компенсируют друг друга.

Управляющая обмотка (ОУ) подключена к селективному узлу, представляющему из себя два диодных моста, выводы постоянного напряжения которых соединены параллельно (рис. 3). При такой схеме включения мостов открываются диоды лишь того из них, к которому подведено большее по амплитуде напряжение, поскольку диоды другого моста оказываются постоянно подключенными к обратному напряжению.

Оба моста со стороны переменного тока подключены ко вторичным обмоткам распределительного трансформатора (ТР), первичная обмотка которого получает питание от синхронного под-возбудителя. В цепь одного из мостов введена рабочая обмотка трансформатора постоянного напряжения (ТПН) - магнитного усилителя дроссельного типа, подмагничивающая обмотка которого подключена к напряжению ТГ.

С ростом напряжения тягового генератора индуктивное сопротивление ТПН уменьшается и возрастает амплитуда напряжения, приложенного к мосту 1, т.е. амплитуда этого напряжения пропорциональна напряжению ТГ.

В цепь моста 2 введены рабочие обмотки трансформатора постоянного тока (ТПТ) - магнитного усилителя дроссельного типа, подмагничивающей обмоткой которого являются кабели ТЭД, пропущенные сквозь его сердечник. С ростом силы тока ТЭД, а значит, и ТГ индуктивное сопротивление ТПТ уменьшается, а амплитуда напряжения, приложенного к мосту 2, возрастает. Таким образом, амплитуда этого напряжения пропорциональна силе якорного тока ТГ.

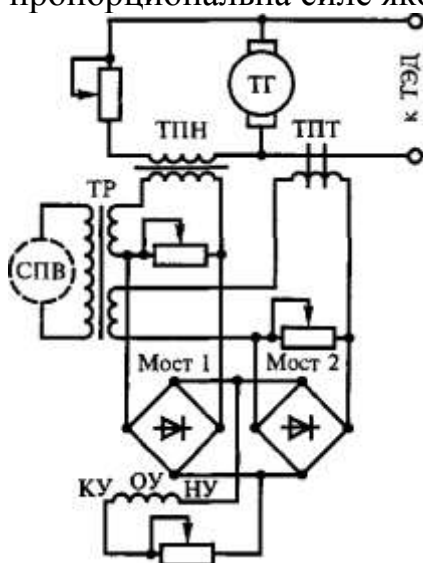


Рисунок 3 - Упрощенная схема подключения управляющей обмотки амплистата возбуждения тепловоза М62:

СПВ - синхронный подвозбудитель; ТГ - тяговый генератор; ТЭД - тяговый электродвигатель; ТПТ - трансформатор постоянного тока; ТПН - трансформатор постоянного напряжения; ТР - распределительный трансформатор; ОУ- обмотка управления амплистата возбуждения; НУ, КУ - начало и конец обмотки управления амплистата возбуждения; Мост 1, Мост 2 - диодные мосты

Задающая и управляющая обмотки создают магнитные потоки, противоположные по направлению, причем магнитный поток, создаваемый задающей обмоткой, сильнее. Таким образом, при росте выходного напряжения селективного узла суммарный поток, создаваемый подмагничивающими обмотками амплистата возбуждения, уменьшается, его индуктивное сопротивление повышается, а сила тока независимой обмотки возбуждения возбудителя и его напряжение снижаются, вследствие чего уменьшаются сила тока возбуждения и напряжение тягового генератора.

В момент, когда тепловоз трогается и начинается разгон, сила тока ТГ велика, а его напряжение мало. Таким образом, диоды моста 2 открываются, а диоды моста 1 - нет, и напряжение на выходе селективного моста пропорционально силе тока ТГ. Рост силы тока ТГ вызывает увеличение силы тока в управляющей обмотке и, следовательно, уменьшение силы тока

возбуждения ТГ. Вследствие этого сила тока тягового генератора в начале движения и разгона ограничена.

По мере разгона сила тока ТГ снижается, вследствие чего уменьшается сила тока в управляющей обмотке и напряжение генератора возрастает. В какой-то момент амплитуды напряжений, приложенных к мостам селективного узла, оказываются равными, после чего начинают открываться диоды обоих мостов (точка б, рис. 4). При дальнейшем разгоне сила тока задающей обмотки определяется как силой тока, так и напряжением ТГ, вследствие чего зависимость напряжения от силы тока представляет собой наклонную прямую линию (участок б-в, рис. 4). В некоторый момент (точка в, рис. 4) амплитуда напряжения, приложенного к мосту 1, окажется больше амплитуды напряжения, приложенного к мосту 2, после чего будет ограничено в росте напряжение (участок в-г, рис. 4).

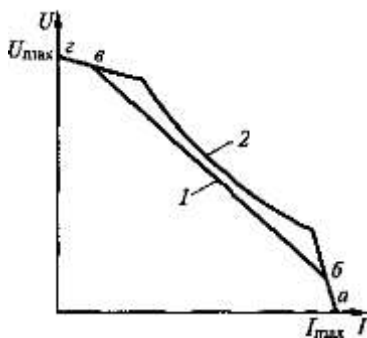


Рисунок 4 - Селективная (1) и внешняя (2) характеристики тягового генератора: U и U_{max} - напряжение и его максимальное значение; I и I_{max} - сила тока и ее максимальное значение; а - з точки совпадения селективной и внешней характеристик ТГ.

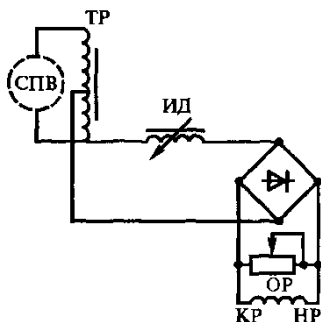


Рисунок 5 - Упрощенная схема подключения регулировочной обмотки амплитата возбуждения тепловоза М62:

СПВ - синхронный подвозбудитель; ТР - распределительный трансформатор; ИД - индуктивный датчик; ОР - регулировочная обмотка амплитата возбуждения; НР, КР - начало и конец регулировочной обмотки амплитата возбуждения.

Отметим, что передача тепловоза фактически не работает в режиме ограничения напряжения, поскольку при разгоне ступень ослабления поля включается до достижения максимального напряжения ТГ, однако такой режим может возникнуть в случае неисправности схемы управления ослаблением поля.

Описанная выше характеристика тягового генератора называется селективной. Она, как видно, не обеспечивает полного использования свободной мощности дизеля.

Этот ее недостаток устраняется регулировочной обмоткой (ОР), получающей питание от выпрямительного моста, подключенного к обмотке распределительного трансформатора. В цепь переменного тока обмотки включен индуктивный датчик (ИД) регулятора дизеля (рис. 5). Магнитный поток, создаваемый этой обмоткой, однонаправлен с магнитным потоком, создаваемым задающей обмоткой; таким образом, с ростом силы тока в ней напряжение тягового генератора возрастает.

При разгоне, после преодоления участка ограничения по силе тока ТГ, наличие тока в регулировочной обмотке приводит к тому, что характеристика ТГ проходит выше, чем селективная (см. рис. 4).

Индуктивный датчик регулятора дизеля представляет собой дроссель с подвижным сердечником, связанным с механизмом управления рейками топливных насосов высокого давления. При выходе дизеля на максимальную мощность сердечник датчика вдвигается в катушку, вследствие чего ее индуктивное сопротивление возрастает и сила тока регулировочной обмотки снижается; уменьшается и ток возбуждения ТГ. Таким образом исключается ситуация, при которой мощность тягового генератора превышает мощность дизеля, что вызвало бы снижение частоты вращения коленчатого вала и, следовательно, дальнейшее уменьшение мощности дизеля.

В случае отключения вспомогательного оборудования (тормозного компрессора или вентилятора охлаждения) регулятор уменьшает подачу топлива, якорь индуктивного датчика выдвигается, индуктивное сопротивление его катушки уменьшается, возрастают сила тока регулировочной обмотки, сила тока возбуждения ТГ и его мощность.

Таким образом удастся полностью использовать свободную мощность дизеля для нужд тяги, т. е. регулировочная обмотка обеспечивает ограничение передачи по мощности дизеля. Характеристику генератора, состоящую из участков ограничения по силе тока ТГ, мощности дизеля и напряжению ТГ, называют внешней характеристикой тягового генератора (см. рис. 4).

Стабилизирующая обмотка (ОС) подключается ко вторичной обмотке стабилизирующего трансформатора ТС, первичная обмотка которого подсоединена к возбuditелю (рис. 6).

Поскольку возбудитель представляет собой генератор постоянного тока, ЭДС во вторичной обмотке трансформатора будет индуцироваться только при изменении напряжения возбuditеля (при изменении частоты вращения коленчатого вала дизеля, нагрузки, при разгоне, замедлении поезда), причем эта ЭДС будет тем выше, чем быстрее изменяется напряжение.

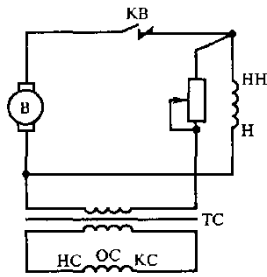


Рисунок 6 - Упрощенная схема подключения стабилизирующей обмотки амплитата возбуждения тепловоза М62:

В - возбудитель; КВ - контактор возбудителя; Н и НН - соответственно начало и конец обмотки возбуждения тягового генератора; ОС - стабилизирующая обмотка амплитата возбуждения; НС, КС - начало и конец стабилизирующей обмотки амплитата возбуждения; ТС - стабилизирующий трансформатор.

Магнитный поток этой обмотки направлен таким образом, что при росте напряжения возбудителя он противоположен потоку, создаваемому задающей обмоткой, а при снижении напряжения возбудителя - однонаправлен с ним.

Таким образом обеспечивается более плавное протекание переходных процессов. При постоянном напряжении возбудителя сила тока в обмотке равна нулю.

Схема автоматического регулирования тяговой передачи тепловоза 2ТЭ116.

Наиболее современные отечественные тепловозы оборудованы передачей переменного-постоянного тока. В настоящее время эксплуатируется три серии таких тепловозов: грузовой двухсекционный 2ТЭ116 (2х3060 л. с), пассажирский односекционный ТЭП70 (4000 л. с.) и маневрово-вывозной с кузовом капотного типа ТЭМ7А (2000 л. с).

Тяговый генератор тепловоза с передачей переменного-постоянного тока представляет собой синхронную шестифазную машину с равномерным сдвигом фаз в 60°.

Шесть фаз соединяются в две звезды, каждая из которых подключена к своему выпрямительному трехфазному мосту; со стороны постоянного тока мосты соединены параллельно, к их общим выводам подключаются якорные цепи ТЭД (рис. 7). Такая схема обеспечивает минимизацию пульсаций напряжения, подводимого к ТЭД, поскольку пульсации напряжения двух мостов, соединенных параллельно и подключенных к звездам, сдвинутым друг относительно друга на 30°, находятся в противофазе и в значительной мере компенсируют друг друга. Два трехфазных моста, соединенных вместе, называют выпрямительной установкой (ВУ).

Возбудитель тепловоза переменного-постоянного тока представляет собой однофазный генератор переменного тока. Обмотка возбуждения ТГ получает питание от управляемого выпрямителя, преобразующего синусоидальное напряжение возбудителя.

Отличие управляемого выпрямителя от обычного мостового заключается в наличии в двух его плечах управляемых вентилей - тиристоров. Тиристор, обладающий в отличие от диода третьим, так называемым управляющим электродом, не открывается при приложении к нему прямого напряжения до тех пор, пока не будет приложено напряжение между управляющим электродом и анодом. Таким образом, открывая тиристоры раньше или позже, можно изменять среднее значение выпрямительного напряжения за период.

Обмотка возбуждения возбудителя получает питание от стартер-генератора, напряжение которого в процессе работы поддерживается постоянным (ПО В), т. е. амплитуда напряжения возбудителя определяется практически только частотой вращения коленчатого вала дизеля.

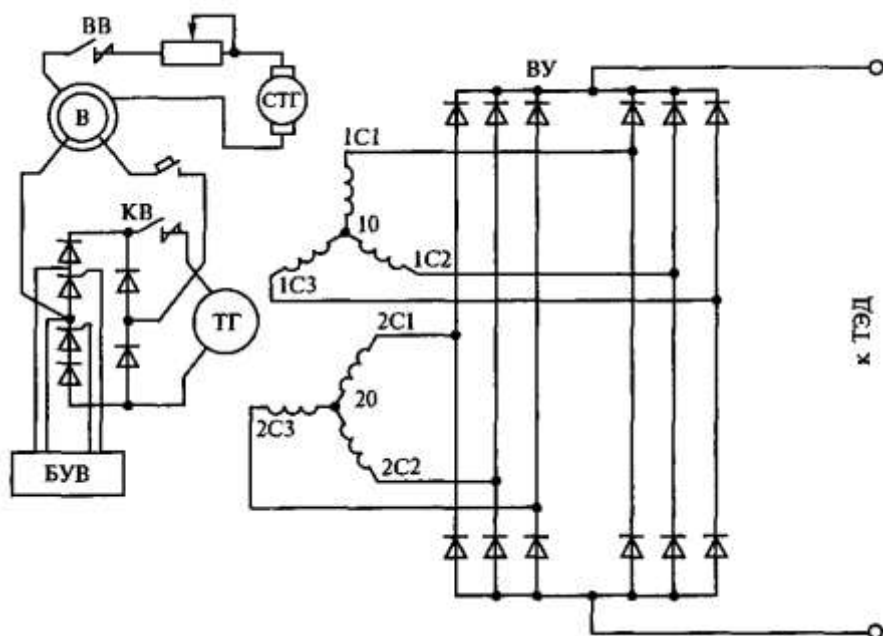


Рисунок 7 - Упрощенная схема тяговой передачи переменного-постоянного тока:

ВВ - контактор возбуждения возбудителя; В - возбудитель; СТГ - стартер-генератор; КВ - контактор возбудителя; ТГ - тяговый генератор; БУВ - блок управления возбуждением; ТЭД - тяговые электродвигатели; ВУ - выпрямительная установка; 10-1C1, 10-1C2, 10-1C3 - три фазы 1-й звезды; 20-2C1, 20-2C2, 20-2C3 - три фазы 2-й звезды.

Величина тока возбуждения ТГ, а следовательно, и напряжение, приложенное к ТЭД, регулируется блоком управления возбуждением (БУВ) посредством изменения моментов открытия тиристоров управляемого выпрямителя.

БУВ выполняет ту же функцию, что и амплистат возбуждения на тепловозах постоянно-постоянного тока, т.е. формирует внешнюю

характеристику ТГ с ограничениями по силе тока ТГ, мощности дизеля и напряжению ТГ. Напряжения, пропорциональные силе тока ТГ, его напряжению, мощности дизеля и частоте вращения коленчатого вала получают таким же образом, как и на тепловозах постоянно-постоянного тока, - с использованием ТПТ, ТПН, индуктивного датчика и тахометрического блока, однако питание цепей переменного тока осуществляется от возбудителя, так как подвозбудитель на тепловозах переменного-постоянного тока отсутствует.

Отметим также особенность получения напряжения, пропорционального якорному току ТЭД, на современных тепловозах.

На тепловозах 2ТЭ116, ТЭП70 и ТЭМ7А устанавливается не один ТПТ, а четыре, сквозь сердечник каждого из которых пропущен кабель одного или двух ТЭД. Выпрямительные мосты всех ТПТ соединены параллельно. В случае развития боксования сила якорного тока боксующего двигателя существенно снижается, вследствие чего уменьшается амплитуда напряжения, подводимого к мосту того ТПТ, сквозь сердечник которого пропущен кабель боксующего ТЭД, и диоды моста этого ТПТ перестают открываться.

Таким образом, для исключения воздействия на схему автоматического регулирования боксующего двигателя к БУВ всегда подводится напряжение, пропорциональное силе якорного тока небоксующих ТЭД.

Схема управления ослаблением поля тяговых двигателей. Схемы управления ослаблением поля практически аналогичны для всех тепловозов с электрической передачей. При дальнейшем изложении для определенности будем полагать, что шунтирование обмоток возбудителя ТЭД осуществляется двумя контакторами - ВШ1 и ВШ2 - по одному на каждую ступень. Сборка цепи катушки контактора ослабления поля осуществляется контактом соответствующего реле перехода РП1 и РП2 (рис. 8).

Реле перехода оборудованы двумя катушками, к одной из которых (катушка напряжения) подводится напряжение, пропорциональное напряжению ТГ, а к другой (токовая) - напряжение, пропорциональное силе тока ТГ. Такое реле с двумя катушками называется дифференциальным.

Сердечники катушек притягивают якорь реле в противоположные стороны. Контакт реле замыкается при притяжении якоря к катушке напряжения.

После трогания тепловоза с места, при начале разгона, сила тока ТГ велика, а его напряжение мало, якорь реле при этом притянут к сердечнику токовой катушки, и контакт реле разомкнут. При таком положении якоря расстояние от него до сердечника катушки напряжения велико, и для переброса якоря к сердечнику катушки напряжения необходимо, чтобы сила тока в ней существенно превысила силу тока в токовой катушке. Последнее происходит при разгоне тепловоза до скорости, при которой напряжение становится близким к максимальному. После переброса якоря контакт реле замыкается и собирает цепь катушки контактора ослабления поля первой ступени, после чего напряжение ТГ падает, а сила его якорного тока

возрастает. Если после этого поезд вступит на подъем и скорость его начнет снижаться, что сопровождается ростом силы тока и падением напряжения ТГ, обратного переброса якоря реле не произойдет, поскольку в данном случае якорь удален от токовой катушки, и для обратного переброса якоря необходимо, чтобы сила тока в ней существенно превысила силу тока в катушке напряжения. Последнее произойдет в том случае, если скорость поезда упадет настолько, что сила тока ТГ станет близка к максимальному значению. Таким образом, скорость, при которой замыкается контактор ослабления поля (или, как говорят, происходит прямой переход), всегда выше скорости обратного перехода, при котором контактор размыкается (у маневровых тепловозов - на 3. 7 км/ч, у грузовых - на 10. 12 км/ч, у пассажирских - на 15. 30 км/ч). Это обеспечивает устойчивость работы схемы; при отсутствии этой разницы была бы возможна «звонковая» работа схемы - периодическое замыкание - и размыкание контактора.

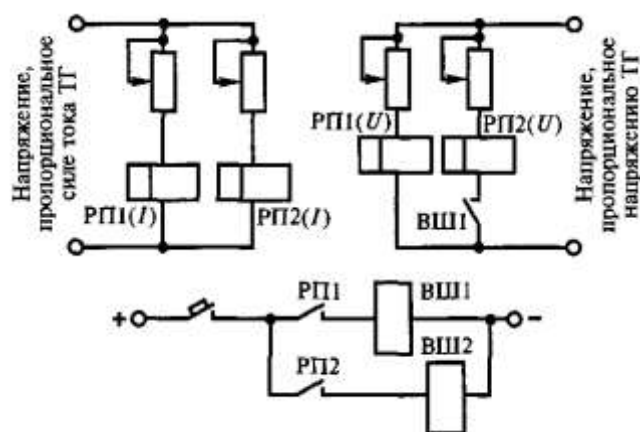


Рисунок 8 - Упрощенная схема управления ослаблением поля ТЭД:

РП1(I), РП2(I) - токовые катушки реле переходов первой и второй ступеней; РП1(U), РП2(U) - катушки напряжения реле переходов первой и второй ступеней; ВШ1, ВШ2 - контакторы шунтирования первой и второй ступеней; РП1, РП2 - контакты реле переходов первой и второй ступеней.

После замыкания контактора первой ступени его замыкающий блок-контакт собирает цепь катушки напряжения реле перехода второй ступени. После первого прямого перехода сила тока ТГ велика, а его напряжение мало. Если скорость поезда продолжает возрастать, то сила тока ТГ снижается, а напряжение возрастает, и по достижении им значения, близкого к максимальному, происходят переброс якоря реле, замыкание его контакта и замыкание контактора ослабления поля второй ступени. В случае снижения скорости обратный переброс якоря происходит при достижении силы тока ТГ, близкой к максимальной, после чего контактор второй ступени размыкается, сила тока ТГ уменьшается, а его напряжение возрастает.

Отметим, что для реальных тепловозов схемы управления ослаблением поля несколько сложнее; усложнения связаны с необходимостью повышения устойчивости работы схемы, а также с коррекцией скоростей, на которых происходит замыкание и размыкание контакторов при работе дизеля на промежуточных позициях контроллера машиниста.

На тепловозах серии ТЭП70 возможна подача питания на электропневматические вентили контакторов ослабления поля включением соответствующего тумблера в кабине управления. Такая возможность предусмотрена для обеспечения нормального ведения поезда в случае выхода из строя реле перехода или при разрегулировке схемы управления ослаблением поля.

Контрольные вопросы:

1. Что представляет из себя тяговый генератор тепловоза с передачей переменного-постоянного тока?
2. Что представляет из себя возбудитель тепловоза переменного-постоянного возбуждения?
3. От чего получает питание обмотка возбуждения возбудителя тепловоза 2ТЭ116?
4. Чем обеспечивается поддержание постоянной мощности тягового генератора ТГ тепловозов постоянного-постоянного возбуждения? Дать пояснения.
5. Какую функцию выполняет блок БУВ тепловоза переменного-постоянного возбуждения? Дать пояснения.